



การประเมินสภาพเขื่อนด้วยเทคนิคการวัดความเร็วคลื่นผิวแบบหลายช่องสัญญาณ Dam Assessment by Multi-channel Analysis of Surface Wave Technique, MASW

ณรงค์ชัย วิวัฒนาช่าง^{1*} ชนระบ วิชาลัย² อรรรรณ จันทสุทโธ¹ และณรงค์เดช ยังสุขเกษม³

Received: May, 2017; Accepted: June, 2017

บทคัดย่อ

การใช้คลื่นผิวแบบหลายช่องสัญญาณ (MASW) เพื่อตรวจสอบสภาพเขื่อนดินบดอัดนับเป็นวิธีสมัยใหม่ที่ถูกนำมาใช้เพื่อประหยัดเวลาและงบประมาณในงานสำรวจบำรุงรักษาเขื่อน กรณีศึกษาของบทความนี้ใช้เขื่อนกระเสียว อำเภอด่านช้าง จังหวัดสุพรรณบุรี เป็นสถานที่ทำการศึกษา เริ่มต้นจากการสร้างจุดกำเนิดคลื่นเนื่องด้วยการทุบฆ้อนเพื่อส่งคลื่นสัญญาณสะท้อนผ่านชั้นดินแล้วจะถูกตรวจจับด้วยตัวรับสัญญาณ จากนั้นข้อมูลจะถูกส่งผ่านไปตามสายเคเบิลเพื่อเข้าสู่อุปกรณ์บันทึกผล ประมวลผลข้อมูลด้วยโปรแกรม Seisimager/SW ที่สามารถแปลงข้อมูลดิบจากลักษณะเส้นคลื่นให้อยู่ในรูปภาพตัดของชั้นดินแบบ 2 มิติ ผลลัพธ์แสดงให้เห็นถึงโครงสร้างธรณีวิทยาบริเวณที่ดำเนินการสำรวจ ผลการศึกษาพบว่า ความเร็วคลื่นเฉือนที่ได้จากการสำรวจ มีค่าอยู่ระหว่าง 100 - 850 เมตร/วินาที ความเร็วคลื่นเฉือนสามารถจำแนกความหนาแน่นรวมถึงประเภทชั้นดิน โดยแบ่งชั้นดินออกได้เป็น 4 กลุ่ม คือ กลุ่ม B ถึงกลุ่ม E จุดที่มีความเร็วคลื่นเฉือนต่ำอาจแสดงให้เห็นถึงบริเวณที่มีความชันสูงและความหนาแน่นต่ำ ดังนั้นผู้เกี่ยวข้องในการบำรุงรักษาเขื่อนจึงควรเฝ้าระวังจุดดังกล่าวเป็นพิเศษเพราะอาจเกิดการรั่วซึมของน้ำได้ การศึกษานี้แสดงให้เห็นถึงประโยชน์ของการใช้ MASW เพื่อลดระยะเวลาการทำงาน ประหยัดงบประมาณในการสำรวจ และมีความแม่นยำในการประเมินสภาพเขื่อนดินบดอัดอยู่ในเกณฑ์ที่น่าเชื่อถือได้

คำสำคัญ : คลื่นผิวแบบหลายช่องสัญญาณ; เขื่อนดินบดอัด; จุดกำเนิดคลื่นเฉือน; ภาพตัดของชั้นดิน

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

² Geo-physics Geo-physics Co., Ltd.

³ Faculty of Industrial Technology, Buriram Rajabhat University

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

Abstract

Multi-channel surfing for monitoring dams is a modernised technological approach that saves time and money in dam maintenance. A Case study of the Krasio-Dam project located in Aumpoe Dan-Chang Suphan-Buri province. The starting from the generate shear wave source by beat the hammer to get the signal, then reflected signal go through the ground surface, then the receiver can get the signal. The receiver transforms into the data and go to recording station by cable. The recording station process data with seismager S/W. This program transforms wave signal to 2 D-crosssection photo of geological structure of the surveyed section. The results showed that the speed of shear wave penetration travels between 100 and 850 meters per second. It is able to classify the densities and types of soil layer into four classes (labelled B to E). A low shear wave indicates high humidity with low density. These are critical areas of weakness that need monitoring and fast maintenance of the dam. The study showed the reductions in exploration working time as well as budget reductions and improved accuracy of dam assessment.

Keywords: Multi-Channel Analysis of Surface Wave; Earth Fill Dam; Shear Wave Source; Pseudo-section

บทนำ

เขื่อนเป็นสิ่งก่อสร้างขนาดใหญ่สำหรับกั้นทางน้ำ เพื่อใช้ในการเก็บกักน้ำและป้องกันอุทกภัยรวมถึงรองรับการผลิตกระแสไฟฟ้า ประโยชน์ที่สำคัญของเขื่อน คือการเก็บน้ำจากช่วงฤดูน้ำหลากและปล่อยน้ำใช้ในการเกษตรกรรม อุปโภคบริโภคในช่วงขาดแคลนน้ำ เขื่อนยังคงใช้สำหรับป้องกันน้ำท่วมฉับพลันในฤดูที่น้ำไหลหลากอีกทางหนึ่ง โดยเขื่อนจะทำหน้าที่ชะลอความเร็วของน้ำเพื่อควบคุมอัตราการไหลให้อยู่ในปริมาณที่เหมาะสม ปัจจุบันเขื่อนมีหน้าที่หลักอีกด้านคือการผลิตกระแสไฟฟ้า โดยพลังงานไฟฟ้าส่วนหนึ่งในประเทศไทยมาจากการปั่นไฟจากเขื่อน นอกจากนี้เขื่อนบางแห่งใช้เป็นสถานที่ท่องเที่ยวและกิจกรรมนันทนาการต่าง ๆ เช่น การล่องเรือหรือการตกปลา อย่างไรก็ตามจากกฎหมายมนุษยธรรมระหว่างประเทศกำหนดให้เขื่อนเป็น “สิ่งก่อสร้างที่มีปัจจัยอันตราย” เนื่องจากมีความเป็นไปได้ว่าเมื่อเขื่อนแตกจะส่งผลกระทบต่ออย่างใหญ่หลวงต่อการทำลายล้างชีวิตพลเรือนและสิ่งแวดล้อมได้อย่างฉับพลัน เหตุการณ์เขื่อนแตกนั้น เมื่อเปรียบเทียบกับอุบัติเหตุอื่น ๆ แล้ว จัดได้ว่าเกิดขึ้นได้น้อยมาก แต่เมื่อเกิดแล้วจะก่อให้เกิดความเสียหายต่อทั้งชีวิตและทรัพย์สินอย่างใหญ่หลวง ดังนั้นการศึกษาวิจัยเพื่อตรวจสอบและบำรุงรักษาเขื่อนเป็นเรื่องจำเป็นที่ไม่ควรมองข้าม

การตรวจสอบสภาพเขื่อนเก่าที่ได้ผลดีที่สุด คือการเจาะหลุมเก็บตัวอย่างดินบดอัดแกนเขื่อนและทำการทดสอบหาค่าสำคัญทางวิศวกรรมในหลุมเจาะ แต่เนื่องจากเป็นวิธีที่รบกวนโครงสร้างเขื่อน ดังนั้นการเลือกใช้วิธีธรณีฟิสิกส์ที่ปราศจากการรบกวนโครงสร้างเขื่อนจึงเริ่มเป็นที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายมากขึ้น [1] ทั้งนี้เพื่อให้ผลการศึกษาแม่นยำมากขึ้นอาจเลือกใช้วิธีการอื่นที่เหมาะสมกับสภาพทางธรณินั้น ๆ

มาเป็นข้อมูลประกอบรวมกันได้ [2] ยกตัวอย่างเช่น วิธีการสำรวจด้วยคลื่นผิวแบบหลายช่องสัญญาณ (MASW) [3] วิธีการใช้เรดาร์ทะลุมวล (GPR) [4] วิธีการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้า [5] - [6] รวมทั้งวิธีการสำรวจด้วยคลื่นหักเห [7] ซึ่งสามารถให้ข้อสรุปเชิงวิชาการถึงสภาพเงื่อนไขที่เป็นปัจจุบันและข้อเสนอแนะเบื้องต้นต่อผู้ใช้ข้อมูล ในด้านความปลอดภัยเงื่อนไขและความเป็นไปได้ในการดำเนินการใด ๆ ต่อเนื่องในขั้นตอนต่อไป

MASW (Multi-channel analysis of surface wave) เป็นวิธีหนึ่งในการสำรวจด้วยคลื่นไหวสะเทือน (Seismic methods) ข้อแตกต่างก็คือ MASW จะนำคลื่นผิวดิน (Surface wave) ชนิดคลื่นเรลีย์ (Rayleigh wave) มาใช้ในการวิเคราะห์แล้วทำการแปลงคลื่นผิวดินให้เป็นความเร็วคลื่นเฉือนอีกทีหนึ่ง คลื่นผิวดินนั้นมักจะถูกจัดให้เป็นคลื่นรบกวน (Noise) ในการสำรวจคลื่นไหวสะเทือนทั่ว ๆ ไป และจะต้องกำจัดออกในขั้นการประมวลผล แต่ในวิธี MASW นั้นคลื่นผิวดินจะถูกจัดให้เป็นสัญญาณที่ต้องการ ในปัจจุบันได้มีการนำเอาวิธี MASW มาใช้ประโยชน์ในงานสำรวจทางวิศวกรรมอีกหลาย ๆ ด้าน อย่างเช่น การสำรวจหารอยแตก หรือรอยเลื่อนของชั้นหิน การสำรวจหาตำแหน่งของหลุมยุบ เป็นต้น ข้อดีของวิธี MASW เหนือวิธีการสำรวจอื่น ๆ ก็คือ ราคาถูก และสามารถทำได้รวดเร็ว [8]

การศึกษานี้เลือกใช้เขื่อนกระเสียว ซึ่งเป็นเขื่อนดินบดอัดตั้งอยู่ที่ อำเภอด่านช้าง จังหวัดสุพรรณบุรี เป็นกรณีศึกษา เนื่องจากพิจารณาแล้วเห็นว่า เขื่อนกระเสียวมีความเหมาะสมในทุกด้าน ประกอบกับการได้รับความสนับสนุนช่วยเหลือจาก ผู้บริหาร วิศวกร และเจ้าหน้าที่ผู้เกี่ยวข้องทุกฝ่ายในการให้ข้อมูล เช่น แบบก่อสร้าง ประวัติการซ่อมบำรุง พร้อมทั้งอำนวยความสะดวกในการดำเนินการศึกษาเป็นอย่างดี วัตถุประสงค์ของการศึกษาเพื่อนำเสนอเทคนิคและรูปแบบการตรวจสอบสภาพเขื่อนทางธรณีฟิสิกส์ ด้วย MASW ซึ่งสามารถตรวจสอบโครงสร้าง รวมถึงฐานรากเขื่อนในระดับตื้น พร้อมทั้งแสดงให้เห็นถึงสภาพโครงสร้างเขื่อนที่เป็นปัจจุบัน ตลอดจนชั้นวัสดุต่าง ๆ ที่ได้ทำการก่อสร้างขึ้น เช่น วัสดุตัวเขื่อน ชั้นวัสดุเดิม ที่ได้รับการซ่อมปรับปรุงรวมถึงชั้นหินฐาน เป็นต้น

ข้อมูลเบื้องต้น

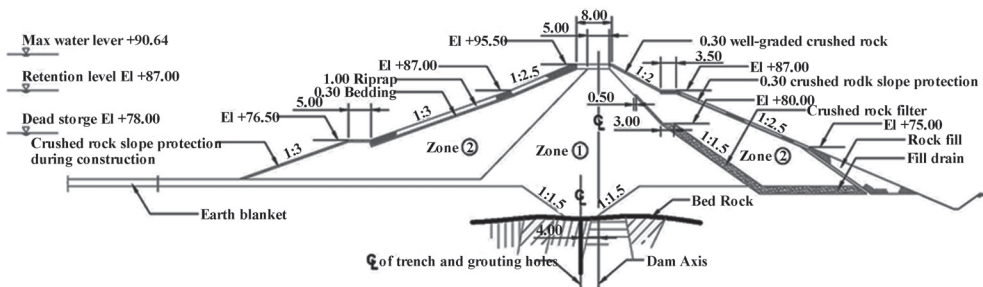
เขื่อนกระเสียวใช้ระยะเวลาในการก่อสร้าง 16 ปี เริ่มจากปีพุทธศักราช 2509 - 2524 เป็นเขื่อนดินที่ใช้ในการกักเก็บน้ำโดยสร้างกันลำห้วยกระเสียว ยาว 4,250 เมตร สูง 32.5 เมตร ความกว้างที่สันเขื่อน 8 เมตร พื้นที่ผิวหน้า 35 ตารางกิโลเมตร ปริมาณน้ำในการกักเก็บสูงสุด 240 ล้านลูกบาศก์เมตร ที่ระดับ +87.00 เมตร รทก. ปริมาตรสูงสุด 390 ล้านลูกบาศก์เมตร ที่ระดับ +90.64 เมตร รทก. พื้นที่รับประโยชน์ 350,000 ไร่ โดยมีลักษณะทางธรณีวิทยาและลักษณะทางด้านวิศวกรรมดังนี้

1. ลักษณะทางธรณีวิทยา

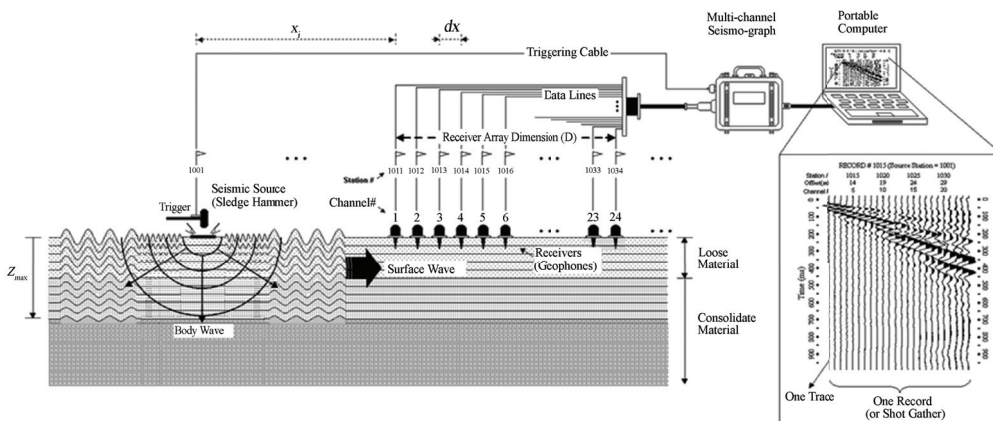
เขื่อนกระเสียวตั้งอยู่ในพื้นที่ลักษณะภูเขา (Mountainous terrain) มีแกนสันเขื่อนด้านทิศตะวันออกเป็นหินปูนยุคออร์โดวิเซียนทางด้านตะวันตกเป็นหินทราย - หินควอร์ตไซต์ยุคไซลูเรียน - ดีโวเนียน ซึ่งส่วนหนึ่งเป็นหินต้นกำเนิดของตะกอนยุคปัจจุบันที่สะสมตัวในบริเวณที่ราบลุ่มบริเวณพื้นที่ของเขื่อนกระเสียว [9] ข้อมูลทางธรณีวิทยาที่ได้จากแบบรายละเอียดทางวิศวกรรมของเขื่อนกระเสียวพบว่าพื้นที่ก่อสร้างเขื่อนประกอบด้วย หินและดินหลายชนิด โดยส่วนใหญ่เป็นหินปูนและตะกอนทรายเป็นองค์ประกอบ

2. ลักษณะทางด้านวิศวกรรม

เขื่อนกระเสียวเป็นเขื่อนที่ถูกสร้างขึ้นจากการบดอัดดิน แกนกลางของสันเขื่อน (Dam axis) ดังรูปที่ 1 คือ บริเวณ Zone 1 รวมทั้งปีกทั้งสองข้าง (Embankment) แสดงในบริเวณ Zone 2 โครงสร้างเขื่อนทั้งหมดตั้งอยู่บนชั้นหินฐาน (Bed rock) ซึ่งถือว่าเป็นรูปแบบการสร้างเขื่อนที่เหมาะสมตามหลักวิศวกรรม [10], [11] ในระหว่างการก่อสร้างโครงสร้างฐานรากด้านใต้ของแกนกลางจะได้รับการปรับปรุงคุณภาพของชั้นดินและหินด้วยการอัดน้ำปูน (Grouting) เพื่อลดช่องว่างที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติหรืออาจเกิดขึ้นได้ในระหว่างการก่อสร้าง



รูปที่ 1 รูปตัดแสดงโครงสร้างเขื่อนกระเสียว



รูปที่ 2 รูปแบบการเก็บข้อมูล MASW โดย Park, C. B., Miller, R. D., and Xia, J. [3]

ทฤษฎี

การสำรวจด้วย MASW ได้มีการศึกษาและพัฒนาจากอดีตมาอย่างต่อเนื่อง เพื่อก้าวข้ามข้อจำกัดในด้านคลื่นรบกวนจากภายนอกที่ไม่สามารถแบ่งแยกได้ วิธีการนี้ถูกนำเสนอโดย Park, C. B., Xia, J., and Miller, R. D. [12] และ Foti, S. [13]

MASW เป็นที่รู้จักครั้งแรกในทางวิศวกรรมธรณี เมื่อปี ค.ศ. 1999 โดย Park, C. B., Miller, R. D., and Xia, J. [3] เป็นวิธีการสำรวจคลื่นไหวสะเทือนโดยต้องมีตัวกำเนิดคลื่น เช่น ใช้ค้อนปอนด์ (Sledge hammer) เป็นตัวกำเนิดคลื่น และวางตัวรับสัญญาณหลาย ๆ ตัว โดยทั่วไปใช้ตัวรับสัญญาณ จำนวน 24 ตัว วางเป็นแนวเส้นตรงบนพื้นดินในระยะห่างที่เท่ากัน และตัวรับสัญญาณ

ทุกตัวจะถูกเชื่อมต่อกับเครื่องบันทึกข้อมูล (Seismograph) เมื่อมีสัญญาณที่ตรวจวัดได้ ตัวรับสัญญาณจะส่งคลื่นสัญญาณมายังเครื่องบันทึกข้อมูล และส่งไปเก็บในเครื่องคอมพิวเตอร์ (รูปที่ 2) แสดงการเก็บข้อมูลในสนาม เครื่องมือที่ใช้ในการสำรวจด้วยเทคนิค MASW ประกอบไปด้วย 1. เครื่องรับสัญญาณ (Seismograph) 2. เครื่องคอมพิวเตอร์ (Computer) 3. ตัวรับสัญญาณ (Geophone) และ 4. เครื่องกำเนิดสัญญาณ (Source)

การวิเคราะห์ข้อมูลจากการสร้างโค้งกระจายคลื่นด้วยวิธี F - K transform โดยใช้วิธี Two dimensional fast fourier transform (2DFFT) ซึ่งเป็นวิธีคำนวณทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้วิเคราะห์ข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบของ Time - space domain เป็น Frequency - Wave number domain โดยใช้สมการที่ (1)

$$P(f, k) = \iint p(x, t) e^{-2\pi i(ft+kx)} dx dt \quad (1)$$

เมื่อ $p(x, t)$ คือ ฟังก์ชันของคลื่นที่ตรวจวัดที่อยู่ในรูปของ Time domain (x, t)

จากสมการที่ (1) จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ (Frequency, f) กับเลขคลื่น (Wave number, k) ซึ่งสามารถคำนวณหาค่าความสัมพันธ์ของความยาวคลื่นกับเลขคลื่นได้จากสมการที่ (2)

$$\lambda = \frac{V}{f} \quad (2)$$

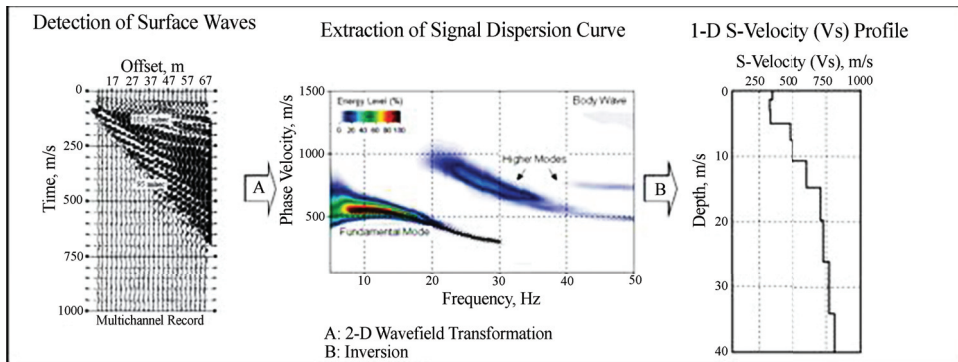
$$\lambda = \frac{2\pi}{k} \quad (3)$$

แทนค่าสมการที่ (3) ในสมการที่ (2) จะสามารถที่จะคำนวณความเร็วคลื่น (V) ได้จากความสัมพันธ์ของความถี่กับเลขคลื่นได้จากสมการที่ (4)

$$V = \frac{2\pi}{k} \quad (4)$$

วิธีดำเนินการวิจัย

การประเมินสภาพเขื่อนด้วยวิธี MASW ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนสำคัญ ตามแบบแผนของ Park, C. B., Miller, R. D., and Xia, J. [3] ดังแสดงในรูปที่ 3 โดยขั้นตอนแรก เป็นการนำข้อมูลที่ได้จากการสำรวจมาผ่านกระบวนการเบื้องต้นในการกำหนดค่าตัวแปรต่าง ๆ ให้เหมาะสมสำหรับข้อมูลแต่ละชุด ขั้นตอนต่อมาทำการเปลี่ยนข้อมูลให้อยู่ในกราฟระหว่างความถี่กับความยาวคลื่นพื้นผิวโดยกระบวนการ Fourier transform กราฟดังกล่าวเรียกว่า Dispersion curve ซึ่งสำหรับวิธี MASW นี้จะพิจารณาเฉพาะ Fundamental Mode ของคลื่นพื้นผิวเท่านั้น ขั้นตอนสุดท้ายเป็นการหาความเร็วคลื่นเฉือนจาก Dispersion curve ในขั้นที่ 2 ด้วยวิธีการคำนวณย้อนกลับ (Inversion) ผลที่ได้คือกราฟที่แสดงค่าความเร็วคลื่นเฉือนเทียบกับความลึก [8]



รูปที่ 3 ขั้นตอน Data Acquisition และ Data Processing ของวิธีการสำรวจ MASW โดย Park, C. B., Miller, R. D., and Xia, J. [3]

1. การเก็บข้อมูลภาคสนาม (Data Acquisition)

การสำรวจภาคสนามได้ดำเนินการในระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ - มีนาคม พ.ศ. 2558 โดยได้ดำเนินการเก็บข้อมูลภาคสนาม ได้แก่ การรังวัดแนวสำรวจ (Line survey) ตลอดความยาวเส้นเขื่อนเป็นระยะทาง 4,250 เมตร ดังรูปที่ 4 ซึ่งเป็นการรังวัดแนวสำรวจเพื่อกำหนดตำแหน่งของตัวรับสัญญาณคลื่น (Geophone) ดังรูปที่ 5 และจุดกำเนิดคลื่น (Shot point) การติดตั้งเครื่องมือ (Wiring) เป็นการติดตั้งตัวรับสัญญาณกับชุดสายสัญญาณบก (Land streamer) จากนั้นเชื่อมต่อสัญญาณกับอุปกรณ์บันทึกผล (Geode24) ดังรูปที่ 6

การเก็บข้อมูล MASW มีความใกล้เคียงกับการเก็บข้อมูลด้วยวิธีสำรวจคลื่นไหวสะเทือนทั่ว ๆ ไป แต่มีความแตกต่างกัน คือวิธีนี้จะใช้ตัวรับสัญญาณที่มีความถี่ต่ำอยู่ในช่วง 4 - 8 Hz ดังนั้น เมื่อทำการทุบก้อนน้ำหนัก 20 ปอนด์ ลงบนแผ่นเหล็กดังรูปที่ 7 คลื่นสัญญาณสะท้อนผ่านชั้นดินแล้วจะถูกตรวจจับด้วยตัวรับสัญญาณ จากนั้นจะถูกส่งไปตามสายเคเบิลเข้าสู่อุปกรณ์บันทึกผล เมื่อสิ้นสุดขั้นตอนทั้งหมดแล้วจึงทำการย้ายไปยังจุดกำเนิดคลื่นที่อยู่ถัดไป การบันทึกสัญญาณคลื่นนี้จะพยายามหลีกเลี่ยงคลื่นเสียงรบกวนคลื่นสั่นสะเทือนชนิดอื่น เช่น สัญญาณคลื่นจากคนเดิน การเคลื่อนที่ของรถ ลมพัดแรง การก่อสร้างบริเวณใกล้เคียง เป็นต้น การศึกษาจึงเลือกช่วงเวลาทดสอบที่ปราศจากการรบกวนดังกล่าว ซึ่งจะเป็นอุปสรรคต่อการประมวลผล [14]



รูปที่ 4 แนวการสำรวจตลอดความยาวของสันเขื่อนเป็นระยะทาง 4,250 เมตร



รูปที่ 5 อุปกรณ์รับสัญญาณคลื่น (Geophone)



รูปที่ 6 การเชื่อมต่อสัญญาณบันทึกผลกับชุดสาย Land Streamer



รูปที่ 7 การกำเนิดคลื่นสั่นสะเทือนด้วยการทุบหมอน น้ำหนัก 20 ปอนด์

2. การวิเคราะห์ข้อมูล (Dispersion Analysis)

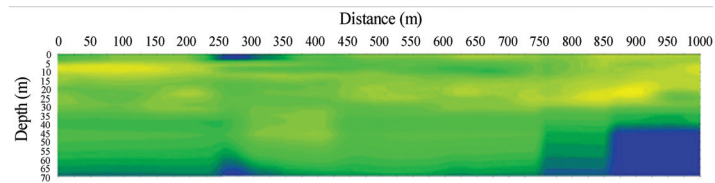
ขั้นตอนนี้เป็น การนำข้อมูลมาแปลงเป็นกราฟการกระจายตัวของความถี่และความเร็วของคลื่น การศึกษาครั้งนี้ใช้โปรแกรม Seisimager/SW [15] ในการประมวลผล ซึ่งเป็นขั้นตอนการเปลี่ยนข้อมูลดิบที่มีลักษณะเป็นเส้นคลื่นให้อยู่ในรูปตัดของชั้นดิน สามารถนำไปแปลความหมายเพื่อหาโครงสร้างลักษณะทางธรณีวิทยา [16] โดยกระบวนการต่าง ๆ ของขั้นตอนในแต่ละขั้นตอนจะมีความสำคัญในการกรองคลื่นรบกวนและการปรับแก้ต่าง ๆ เพื่อให้ได้ผลที่ชัดเจนที่สุด

3. การคำนวณย้อนกลับ (Inversion)

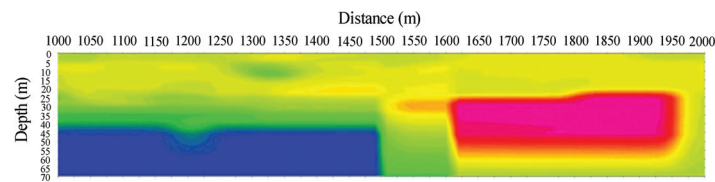
เพื่อให้ได้ค่าความเร็วคลื่นเฉือนที่ระดับความลึกแตกต่างกัน การประมวลผลข้อมูลจะใช้คลื่น Rayleigh หรือที่รู้จักกันอีกอย่างว่า “Ground Roll” ทำได้โดยการรวมข้อมูลตำแหน่งของตัวรับสัญญาณ และจุดกำเนิดคลื่นเข้ากับผลข้อมูลเส้นคลื่น ประมวลผลข้อมูลด้วยการสร้างกราฟระหว่างความถี่ (Frequency) กับความเร็วเฟส (Phase velocity) เพื่อการลากเส้นแนวโน้มบนกราฟ จากนั้นประมวลผลข้อมูลย้อนกลับ โดยขั้นตอนนี้จะได้จุดข้อมูลความเร็วการสำรวจจำนวน 1 จุด หรือเรียกว่าข้อมูล 1 มิติ เพื่อรวบรวมผลข้อมูลทั้งหมดเข้าเป็นภาพตัดความเร็ว โดยเรียงลำดับข้อมูลแต่ละจุดตามพิกัดของข้อมูลนั้น ๆ เพื่อให้ได้ข้อมูลแบบ 2 มิติ ผลที่ได้คือกราฟที่แสดงค่าความเร็วคลื่นเฉือนเทียบกับความลึก สำหรับการแปลผลข้อมูลการสำรวจ ผลการสำรวจมีลักษณะเป็นภาพตัดแสดงลักษณะทางโครงสร้างธรณีวิทยา อันเกิดจากค่าความเร็วที่ได้จากการประมวลผลย้อนกลับ โดยค่าความเร็วที่ได้สามารถเทียบเคียงได้กับค่าของความเร็ววัสดุตามตารางที่ 1 [17] โดยค่า P wave velocity คือ ความเร็วคลื่นปฐมภูมิ และค่า S wave velocity คือ ความเร็วคลื่นทุติยภูมิ

ตารางที่ 1 ความเร็วคลื่นปฐมภูมิ (P wave velocity) และคลื่นทุติยภูมิ (S wave velocity) ของวัสดุทางธรณีวิทยาชนิดต่าง ๆ [17]

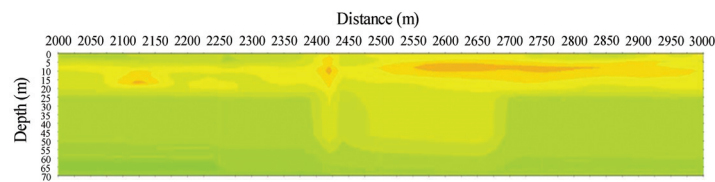
Type of formation	P wave velocity (m/s)	S wave velocity (m/s)	Density (g/cm ³)	Density ent crystal (g/cm ³)
Scree, vegetal soil	300-700	100-300	1.7-2.4	-
Dry sands	400-1200	100-500	1.5-1.7	2.65 quartz
Wet sands	1500-2000	400-600	1.9-2.1	2.65 quartz
Saturated shales and clays	1100-2500	200-800	2.0-2.4	-
Marls	2000-3000	750-1500	2.1-2.6	-
Saturated shale and sand	1500-2200	500-750	2.1-2.4	-
Porous and saturated sandstones	2000-3500	800-1800	2.1-2.4	2.65 quartz
Limestones	3500-6000	2000-3300	2.4-2.7	2.71 calcite
Chalk	2300-2600	1100-1300	1.8-3.1	2.71 calcite
Salt	4500-5500	2500-3100	2.1-2.3	2.1 halite
Anhydrite	4000-5500	2200-3100	2.9-3.0	-
Dolomite	3500-6500	1900-3600	2.5-2.9	(Ca, Mg) CO ₃ 2.8-2.9
Granite	4500-6000	2500-3300	2.5-2.7	-
Basalt	5000-6000	2800-3400	2.7-3.1	-
Coal	2200-2700	1000-1400	1.3-1.8	-
Water	1450-1500	-	1	-
Oil	1200-1250	-	0.6-0.9	-



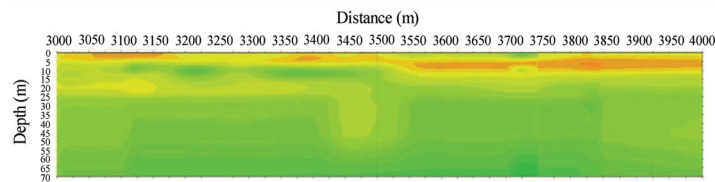
(ก) ผลการสำรวจด้วยคลื่นผิว MASW ที่ระยะ 0 + 000 เมตร ถึง 1 + 000 เมตร



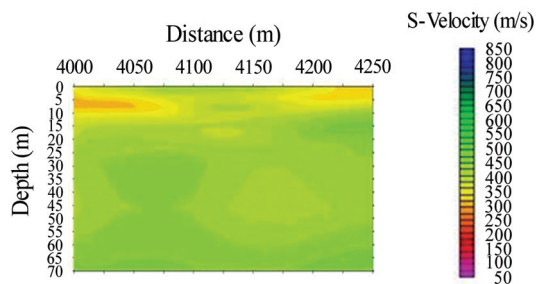
(ข) ผลการสำรวจด้วยคลื่นผิว MASW ที่ระยะ 1 + 000 เมตร ถึง 2 + 000 เมตร



(ค) ผลการสำรวจด้วยคลื่นผิว MASW ที่ระยะ 2 + 000 เมตร ถึง 3 + 000 เมตร



(ง) ผลการสำรวจด้วยคลื่นผิว MASW ที่ระยะ 3 + 000 เมตร ถึง 4 + 000 เมตร



(จ) ผลการสำรวจด้วยคลื่นผิว MASW ที่ระยะ 4 + 000 เมตร ถึง 4 + 250 เมตร

รูปที่ 8 ความเร็วคลื่นเฉือนแบบ 2 มิติ ตลอดแนวสันเขื่อนระยะทาง 4,250 เมตร

ผลการศึกษา

การประเมินสภาพเขื่อนด้วยเทคนิค MASW มีข้อดีคือ สามารถระบุความแน่นของดินถม โดยพิจารณาร่วมกับ ตารางที่ 1 รวมถึงสามารถจำแนกชนิดของดินตาม NEHRP Provisions [18] ดังตารางที่ 2 ซึ่งแสดง นัยของความแข็งแรงและเสถียรภาพของตัวเขื่อน

จากผลการศึกษาที่แสดงไว้ในรูปที่ 8 พบว่าความเร็วคลื่นเฉือนอยู่ระหว่าง 100 - 850 เมตร/วินาที โดยสังเกตได้จากแถบสีที่แสดงความเร็วคลื่นทุติยภูมิ (S-velocity) ซึ่งจะปรากฏเป็นสีต่าง ๆ บนรูปภาพ เมื่ออ้างอิงจากตารางที่ 2 [18] สามารถจำแนกประเภทชั้นดินได้เป็น 4 กลุ่ม ดังนี้

1. กลุ่ม B คือ หิน (Rock) มีความเร็วคลื่นอยู่ระหว่าง 760 - 1,500 เมตร/วินาที

จากพื้นที่สีน้ำเงินเข้ม ในรูปที่ 8(ก) - (ข) (ความเร็วคลื่นเฉือนอยู่ระหว่าง 800 - 850 เมตร/วินาที) แสดงให้เห็นชั้นหินฐานตั้งแต่ระยะ 0 + 000 เมตร จนถึง 1 + 500 เมตร ที่ความลึกมากกว่า 40 เมตร เป็นต้นไป

2. กลุ่ม C คือ ดินแน่นมาก/หินอ่อน (Very dense soil/soft rock) มีความเร็วคลื่นอยู่ระหว่าง 360 - 760 เมตร/วินาที

พิจารณาจากรูปที่ 8(ก) - (จ) พบว่าความเร็วคลื่นเฉือนของโครงสร้างเขื่อนส่วนใหญ่จะปรากฏเป็นพื้นที่สีเหลืองและสีเขียว มีความเร็วคลื่นเฉือนอยู่ระหว่าง 360 - 600 เมตร/วินาที อยู่ในเขตที่ดินแน่นมาก (Very dense soil) ซึ่งตรงกับคุณลักษณะของเขื่อนกระเสียวที่ก่อสร้างจากดินบดอัดแน่น ดังรูปที่ 1

3. กลุ่ม D คือ ดินแน่น (Stiff soil) มีความเร็วคลื่นอยู่ระหว่าง 180 - 360 เมตร/วินาที

รูปที่ 8(ค) แสดงให้เห็นถึงความเร็วคลื่นเฉือนอยู่ระหว่าง 200 - 300 เมตร/วินาที แสดงให้เห็นด้วยพื้นที่สีส้มอ่อนที่ระยะ 2 + 500 เมตร ถึง 2 + 950 เมตร ปรากฏที่ความลึกไม่เกิน 10 เมตร เช่นเดียวกับรูปที่ 8(ง) - (จ) ที่ระยะ 3 + 550 เมตร ถึง 4 + 050 เมตร

4. กลุ่ม E คือ ดินอ่อน (Soft soil) มีความเร็วคลื่นต่ำกว่า 180 เมตร/วินาที

รูปที่ 8(ข) แสดงให้เห็นถึงบริเวณที่เกิดชั้นดินอ่อน มีความเร็วคลื่นเฉือน ประมาณ 100 - 180 เมตร/วินาที แสดงด้วยพื้นที่สีแดงระยะ 1 + 600 เมตร ถึง 1 + 970 เมตร ความลึกประมาณ 20 - 55 เมตร จากระดับผิวการสำรวจ ทั้งนี้การเกิดสภาวะดินอ่อนอาจเกิดจากปัญหาการรั่วซึมของน้ำ (Water leaks) ทำให้ดินตรงจุดนั้นมีความชื้นสูง

ตารางที่ 2 การจำแนกชนิดของหินและดินตาม NEHRP Provisions [18]

Soil Profile Type	Rock/Soil Description	Average S-wave Velocity (m/s) top 30 m
A	Hard rock	> 1,500
B	Rock	760 - 1,500
C	Very dense soil/soft rock	360 - 760
D	Stiff soil	180 - 360
E	Soft soil	< 180
F	Special soils requiring site-specific evaluation	

อภิปรายผลการศึกษา

ผลการศึกษาสามารถอธิบายถึงความเร็วคลื่นเฉือนด้วยสีที่แตกต่างกัน ดังรูปที่ 8 ที่มีค่าอยู่ระหว่าง 100 - 850 เมตร/วินาที ซึ่งอยู่ในกลุ่ม B ถึง E แสดงให้เห็นถึงโครงสร้างเขื่อนซึ่งยังคงสภาพดินบดอัดแน่นมาก (Very dense soil) คงมีบางจุดของโครงสร้างเขื่อนเท่านั้นที่อยู่ในกลุ่ม E คือ สภาพดินอ่อน (Soft soil) ทั้งนี้บริเวณดังกล่าวอาจเกิดการรั่วซึมของน้ำได้สันเขื่อนที่บริเวณ 1 + 600 เมตร ถึง 1 + 970 เมตร ทำให้ดินบริเวณนี้เกิดความชื้นสูงกว่าปกติ ซึ่งอาจส่งผลให้ความเร็วคลื่นเฉือนมีค่าลดลง

จากประวัติการซ่อมเขื่อนกระเสียวบริเวณ 1 + 600 เมตร พบว่าจุดที่อยู่ในกลุ่ม E เคยเกิดการรั่วซึมของน้ำและได้ดำเนินการซ่อมบำรุงด้วยวิธีการฉีดน้ำปูนเข้าไปแทนที่ช่องว่างภายในโครงสร้างมาแล้ว แต่ยังคงเกิดสภาวะความชื้นสะสมและดินอ่อนผิดปกติได้ ดังนั้นการดูแลรักษาเขื่อนจะต้องกำหนดให้บริเวณดังกล่าว เป็นจุดเฝ้าระวังที่จะต้องตรวจสอบอยู่เสมอ เพื่อเป็นการเฝ้าระวังการขยายตัวของรอยรั่วที่อาจเกิดขึ้นซ้ำได้อีกในอนาคต และเพื่อเป็นการยืนยันความถูกต้องของผลสำรวจอาจใช้วิธีการสำรวจอื่นร่วมกับ MASW ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความจำเป็นและเหตุผลประกอบอื่นในแผนการดูแลรักษาเขื่อน

สรุปผลการศึกษา

การประยุกต์ใช้เทคนิคคลื่นผิวแบบหลายช่องสัญญาณ MASW ในการประเมินสภาพเขื่อน สามารถนำไปใช้เพื่อเป็นแนวทางเบื้องต้นในการประเมินความแน่นของชั้นดินร่วมกับตารางที่ 1 และ 2 หรือจุดที่คาดว่าอาจเกิดการรั่วไหลของน้ำ ทั้งบริเวณสันเขื่อนตลอดจนฐานรากของเขื่อนได้ในเบื้องต้น

ข้อจำกัดของ MASW ผู้นำวิธีการนี้ไปใช้อาจต้องคำนึงถึงขอบเขตความลึกของจุดที่สำรวจว่าไม่มากนักเกินไป เนื่องจากพลังงานจากแหล่งกำเนิดที่ต่ำอาจส่งผลให้เกิดความผิดพลาดต่อการแปลผลสำรวจได้อยู่เสมอ อย่างไรก็ตามการสำรวจทางธรณีฟิสิกส์เป็นวิธีการศึกษาทางอ้อมที่ประหยัดงบประมาณและสะดวกรวดเร็ว ดังนั้นเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ชัดเจนยิ่งขึ้นควรใช้การตรวจสอบร่วมกับวิธีอื่นด้วย เช่น การสำรวจด้วยเทคนิคการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าและความต่างศักย์ธรรมชาติเขื่อนกระเสียว [6] พบว่า ณ ตำแหน่ง 1 + 600 เมตร มีค่าความต้านทานไฟฟ้าและความต่างศักย์ธรรมชาติต่ำกว่าเกณฑ์ปกติ โดยมีค่าต่ำกว่า 3 โอห์มเมตร และต่ำกว่า 250 มิลลิโวลต์ ซึ่งมีความเป็นไปได้ที่จะเกิดการรั่วซึมของน้ำแบบผิดปกติ เห็นได้ว่าผลที่ได้มีความสอดคล้องกับ MASW ที่ใช้เขื่อนกระเสียวเป็นกรณีศึกษาเช่นเดียวกัน ดังนั้นวิธี MASW จึงเป็นเทคนิคที่ใช้ประเมินสภาพเขื่อนดินบดอัดได้อยู่ในเกณฑ์ที่มีความน่าเชื่อถือได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของแผนงานวิจัย เรื่อง “การบูรณาการวิธีตรวจสอบเสถียรภาพแหล่งผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานน้ำ” ขอขอบคุณ ผู้บริหาร วิศวกร และเจ้าหน้าที่ โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษากระเสียว กรมชลประทาน ที่สนับสนุนข้อมูลทางด้านวิศวกรรมและสถานที่ในการวิจัย และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ที่สนับสนุนทุนวิจัยประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558 เป็นอย่างสูง

References

- [1] Noppadon, P. (2016). **Inspection of Dam with Modern Technology**. Access (10 December 2016). Available (http://water.rid.go.th/damsafety/downloads_dam.php)
- [2] Young-Chul, O. H., Hae-Sang, Jeong, Young-Kyu, Lee, and Howoong, Shon. (2003). Safety Evaluation of Rock-Fill Dam by Seismic (MASW) and Resistivity Methods. **Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems 2003**. pp. 1377-1386
- [3] Park, C. B., Miller, R. D., and Xia, J. (1999). Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW). **Geophysics**. Vol. 64, No. 3, pp. 800-808
- [4] Mario, C. and Jutta, H. (2007). Combined Ground Penetrating Radar and MASW Surveys to Locate Dam Seeps. **Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems 2008**. pp. 997-1006
- [5] Dwain, K. B., Jose, L. L., and Charles, M. D. (1989). **Comprehensive Geophysical Investigation of an Existing Dam Foundation Part 1**. Geophysics: The Leading Edge of Exploration. pp.10-18
- [6] Narongchai, W., Chanarop, V., and Orawan, J. (2017). Dam Stability Analysis by Electrical Resistivity Imaging and Natural Electric Potential Technique. **RMUTI JOURNAL Science and Technology**. Vol. 10, No. 1, pp. 35-48 (in Thai)
- [7] Julian, I., Carole, D. J, John, W. L., Richard, D. M., and Drew, C. (2009). Near-surface Evaluation of Ball Mountain Dam, Vermont, Using Multi-channel Analysis of Surface Waves (MASW) and Refraction Tomography Seismic Methods on Land-streamer Data SEG Houston 2009. **International Exposition and Annual Meeting**. pp. 1454-1458
- [8] Thanop, T., Nungnuch, L., Prapaporn, J., and Angkasiri, H. (2008). Determination of Shear-wave Velocity of Bangkok Subsoils by the MASW Method. **Research and Development Journal**. Vol. 19, No. 4, pp. 58-70 (in Thai)
- [9] Department of Mineral Resources. (2007). **Geological Information of Suphanburi Province**. Access (25 December 2016). Available (<http://www.dmr.go.th>)
- [10] Sherer, S. G. (1996). Geotechnical Investigations for Safety of Dams Study. **U. S. Army Corps of Engineers**. p. 116
- [11] URS Corporation. (2003). Success Dam Geophysical Investigation. **U. S. Army Corps of Engineers**. Vol. 205, p. 68
- [12] Park, C. B., Xia, J., and Miller, R. D. (1998). Imaging Dispersion Curves of Surface Waves on Multi-channel Record. **SEG Expanded Abstracts**. pp. 1377-1380
- [13] Foti, S. (2000). **Multi Station Methods for Geotechnical Characterisation Using Surface Waves**. Ph.D Diss. Politecnico di Torino, p. 229

- [14] Brian, J. E. and William, H. D. (1997). A Handbook for Seismic Data Acquisition in Exploration. **Society of Exploration Geophysicists**. p. 305
- [15] Geometrics. (2016). **Surface Wave Analysis Software**. Access (20 December 2016). Available (<http://www.geometrics.com>)
- [16] Yilmaz, O. (1987). Seismic Data Processing. Society of Exploration of Geophysics-Investigations in Geophysics. Vol. 2, p. 526
- [17] Ted, A., Bethany, L. B., Michael, H. P., Brian, R., Paul, B., and Lewis, H. (2007). Electrical Characterization of Success Dam in Porterville. **Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems**. pp. 41-60
- [18] Building Seismic Safety Council. (1997). NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings. **Federal Emergency Management Agency**. p. 290