

การหาความเร็วคลื่นเฉือนของชั้นดินกรุงเทพฯจากการวิเคราะห์คลื่นพื้นผิว

Determination of Shear-wave Velocity of Bangkok Subsoils by the MASW Method

ฐานบ ธิติมากร¹ นื่องนุช เหลืองสุนทรกุล¹ ประภาพร จันทมาต¹ และอังคศิริ หาญศิริ¹

Thanop Thitimakorn, Nungnuch Luangthavornkul, Prapaporn Juntamat, and Angkasiri Harnsiri

¹ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330

โทร 0-22185442 โทรสาร 0-22185445

E-mail thanop.t@chula.ac.th

บทคัดย่อ

ความเร็วคลื่นเฉือนของดินเป็นตัวแปรหนึ่งที่สำคัญในงานวิศวกรรมธรณีเทคนิคโดยเฉพาะอย่างยิ่งงานวิศวกรรมแผ่นดินไหว โดยทั่วไปข้อมูลความเร็วคลื่นเฉือนมักจะได้มาจากการวัดในหลุมเจาะสำรวจ แต่เนื่องจากวิธีดังกล่าวมีราคาแพง และมีขั้นตอนที่ยุ่งยากจึงทำให้วิธีการวัดความเร็วคลื่นเฉือนจากหลุมเจาะไม่เหมาะสมในการเก็บข้อมูลในปริมาณมาก ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาวิธีการใหม่เรียกว่าวิธีการวัดคลื่นพื้นผิวแบบหลายช่องรับสัญญาณ หรือ MASW โดยวิธีนี้เป็นวิธีการสำรวจบนผิวดิน ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องมีหลุมเจาะสำรวจ รวมทั้งสามารถทำได้รวดเร็ว และราคาถูก การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อประเมินศักยภาพของวิธีการวัดคลื่นพื้นผิวแบบหลายช่องรับสัญญาณเพื่อการหาความเร็วคลื่นเฉือนของดินกรุงเทพฯ จากข้อมูลและผลวิเคราะห์ที่ได้จากงานวิจัยครั้งนี้สรุปได้ว่าวิธี MASW สามารถใช้ในการหาความเร็วคลื่นเฉือนของชั้นดินในกรุงเทพฯได้ และสามารถทำได้รวดเร็ว ความเร็วคลื่นเฉือนจากวิธี MASW มีความใกล้เคียงมากเมื่อเปรียบเทียบกับความเร็วคลื่นเฉือนจากการวัดในหลุมเจาะ

Abstract

Shear-wave velocity of soils is a very important parameter in geotechnical engineering works especially in site-response analysis. The shear-wave velocity is normally determined by borehole measurements. However, these borehole techniques are quite expensive and time consuming. Recently, there is a newly-developed method called the multi-channel analysis of surface waves or MASW. This technique is a non-invasive and less

expensive than the borehole methods. Therefore, the main objective of this study is to evaluate the capabilities of the multi-channel analysis of surface wave (MASW) technique in order to determine the shear-wave velocity of the Bangkok subsoils. The results from this study demonstrated that the MASW technique could be used to determine shear-wave velocity of the Bangkok subsoils with acceptable accuracy and confidence.

1. บทนำ

แม้ว่ากรุงเทพมหานคร และพื้นที่ใกล้เคียงจะตั้งอยู่ห่างไกลจากแหล่งกำเนิดคลื่นแผ่นดินไหว แต่อย่างไรก็ตามโอกาสที่กรุงเทพมหานคร และปริมณฑลจะได้รับผลกระทบจากแผ่นดินไหวระยะไกลก็ยังมีความเป็นไปได้ สาเหตุก็เนื่องมาจากกรุงเทพมหานครนั้นวางตัวอยู่บนชั้นดินอ่อน ซึ่งชั้นดินอ่อนนี้มีคุณสมบัติที่สามารถจะขยายแรงแผ่นดินไหวให้มีความรุนแรงมากขึ้นได้ [6] คุณสมบัติของดินดังกล่าวนี้เรียกว่า “Soil Amplification” คุณสมบัติของดินดังกล่าวนี้สามารถทำการประมาณได้จากค่าความเร็วคลื่นเฉือน (Shear-wave Velocity) ของดิน

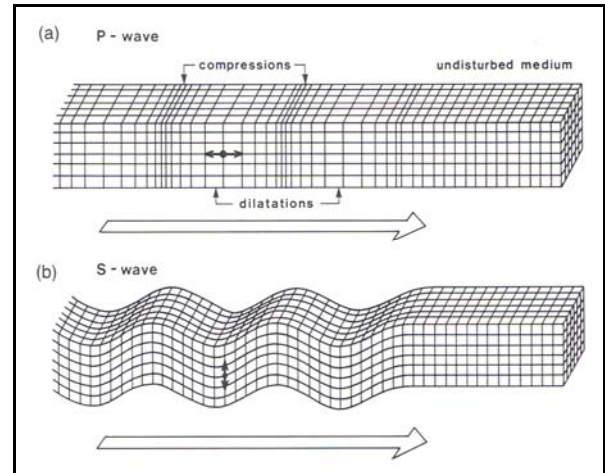
ในปัจจุบันความเร็วคลื่นเฉือนของดินสามารถหาได้จากหลายวิธีทั้งในสนาม และในห้องปฏิบัติการ ซึ่งมักจะใช้เวลาและค่าใช้จ่ายที่สูง อย่างไรก็ตามเมื่อไม่นานมานี้ได้มีการพัฒนาวิธีการวัดความเร็วคลื่นเฉือนของดินในสนามที่มีราคาถูก และสามารถทำได้รวดเร็ว วิธีนี้เรียกว่า การสำรวจคลื่นไหวสะเทือนพื้นผิวแบบหลายช่องรับสัญญาณ (Multi-channel Analysis of Surface Wave (MASW)) [4] ซึ่งเป็นวิธีที่กำลังได้รับความนิยมในหมู่วิศวกร และนักธรณีฟิสิกส์วิศวกรรมในต่างประเทศ แต่วิธีนี้ยังไม่แพร่หลายใน

ประเทศไทยมากนัก โดยเฉพาะการหาค่าความเร็วคลื่นเฉือนของดินกรุงเทพฯ และดินในพื้นที่เสี่ยงภัยจากแผ่นดินไหวในจังหวัดอื่นๆ

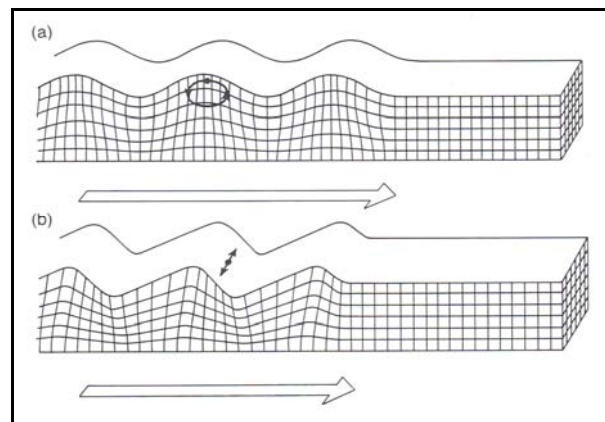
การศึกษาครั้งนี้มีเป้าหมายเพื่อประเมินศักยภาพของวิธีการวัดคลื่นพื้นผิวแบบหลายช่องรับสัญญาณเพื่อการหาค่าความเร็วคลื่นเฉือนของดินกรุงเทพฯ โดยทั่วไปข้อมูลความเร็วคลื่นเฉือนมักจะได้มาจากการวัดในหลุมเจาะสำรวจ แต่เนื่องจากวิธีนี้มีราคาแพง จึงทำให้วิธีการวัดความเร็วคลื่นเฉือนจากหลุมเจาะไม่เหมาะสมในการเก็บข้อมูลในปริมาณมากๆ ดังนั้นเพื่อให้เห็นถึงศักยภาพของวิธี MASW ความเร็วคลื่นเฉือนที่ได้จากวิธีนี้จำเป็นต้องทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการวัดในหลุมเจาะ ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ข้อมูลจากวิธี Downhole Seismic ถูกเลือกมาใช้ในการเปรียบเทียบ เนื่องจากในพื้นที่กรุงเทพฯ มีข้อมูลความเร็วคลื่นเฉือนที่ได้จากวิธีนี้อยู่พอสมควร ทำให้สะดวกในการหาข้อมูลดังกล่าว

2. คลื่นไหวสะเทือน

คลื่นไหวสะเทือนคือคลื่นที่เคลื่อนที่ภายในโลกซึ่งโดยทั่วไปมักจะเกิดจากเคลื่อนตัวของเปลือกโลก แผ่นดินไหว หรือบางครั้งเกิดจากน้ำมือมนุษย์เช่นการระเบิดหิน การทดลองระเบิดทางทหาร นอกจากนั้นแล้วก็ยังเกิดจากการซัดของคลื่นเข้าสู่ฝั่ง หรือเกิดจากพัดของลม คลื่นไหวสะเทือนสามารถแบ่งออกได้เป็นสองกลุ่มใหญ่ๆ คือ คลื่นตัวกลาง (Body waves) (รูปที่ 1) และคลื่นพื้นผิว (Surface waves) (รูปที่ 2) คลื่นตัวกลางยังแบ่งออกได้เป็นสองประเภทโดยอาศัยลักษณะการเคลื่อนที่ของอนุภาคในตัวกลางได้แก่คลื่นปฐมภูมิ (Primary wave; P-wave) ซึ่งมีการเคลื่อนที่ของอนุภาคขนานไปกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น (รูป 1a) และคลื่นทุติยภูมิ (Secondary wave; S-wave) ซึ่งอนุภาคจะเคลื่อนที่ตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น (รูป 1b) ส่วนคลื่นผิวดินก็แบ่งออกได้เป็นสองประเภทเช่นกันคือ คลื่นเรลีย์ (Rayleigh wave) และคลื่นเลฟ (Love wave) คลื่นเรลีย์นั้นจะเคลื่อนที่เป็นลักษณะหมุนหรือกลิ้งไปบริเวณผิวดิน (รูป 2a) ส่วนคลื่นเลฟนั้นจะมีการเคลื่อนที่ตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของคลื่น คลื่นเรลีย์เป็นคลื่นที่ใช้ในการหาค่าความเร็วคลื่นเฉือนของดิน และเป็นคลื่นที่บันทึก และวิเคราะห์โดยวิธี MASW



รูปที่ 1 คลื่นตัวกลาง (a) P-wave (b) S-wave [3]



รูปที่ 2 คลื่นพื้นผิว (a) Rayleigh wave (b) Love wave [3]

3. วิธีการวัดคลื่นพื้นผิวแบบหลายช่องสัญญาณ หรือ MASW

MASW เป็นวิธีหนึ่งในการสำรวจคลื่นไหวสะเทือนบนพื้นผิว (Surface Seismic Methods) ข้อแตกต่างก็คือวิธีนี้จะนำคลื่นพื้นผิวชนิดคลื่นเรลีย์มาใช้ในการวิเคราะห์ แล้วทำการแปลงคลื่นพื้นผิวให้เป็นความเร็วคลื่นเฉือนอีกทีหนึ่ง โดยปกติคลื่นพื้นผิวจะถูกจัดให้เป็นคลื่นรบกวน (Noise) ในการสำรวจคลื่นไหวสะเทือนทั่วไป และจะต้องกำจัดออกในขั้นการประมวลผล แต่ในวิธี MASW คลื่นพื้นผิวจะถูกจัดให้เป็นสัญญาณที่ต้องการ

คลื่นพื้นผิวมีคุณสมบัติเด่นหลายประการที่ทำให้เหมาะสมสำหรับการสำรวจทางวิศวกรรม และสามารถใช้ได้ในพื้นที่ซึ่งวิธีธรณีฟิสิกส์อื่นๆ ใช้ไม่ได้ผล อย่างแรกก็คือคลื่นพื้นผิวสามารถให้กำเนิดได้ง่าย อย่างที่สอง คือคลื่นพื้นผิวมีพลังงานของคลื่นมากเมื่อเทียบกับคลื่นชนิดอื่นๆ จึง

ทำให้สามารถตรวจจับ และแยกแยะได้ง่าย ด้วยคุณสมบัติเหล่านี้ทำให้วิธี MASW มีความเหมาะสมอย่างมากในการสำรวจทางวิศวกรรม รวมไปถึงมีค่าใช้จ่ายที่ถูกลง และทำได้รวดเร็ว

3.1 วิธีการเก็บข้อมูล MASW

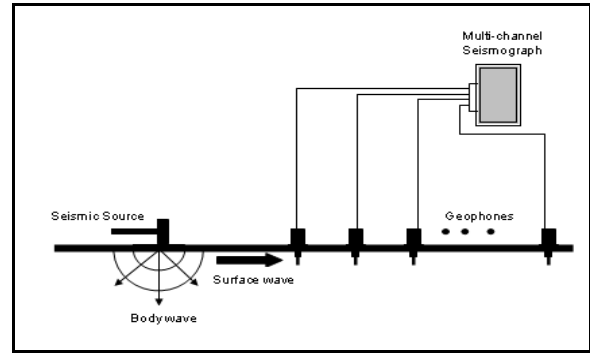
การเก็บข้อมูล MASW มีความใกล้เคียงกับการเก็บข้อมูลการสำรวจคลื่นไหวสะเทือนทั่วไป ความแตกต่างก็คือวิธี MASW จะใช้ตัวรับสัญญาณที่มีความถี่ต่ำอยู่ในช่วง 4 – 10 Hz ซึ่งเป็นช่วงความถี่ที่สอดคล้องกับความถี่ของคลื่นพื้นผิวที่มักจะมีความต่ำกว่าคลื่นชนิดอื่นๆ รูปที่ 3 แสดงการเก็บข้อมูล MASW ในสนาม เครื่องมือที่ใช้ในการสำรวจประกอบไปด้วย:

1. เครื่องรับสัญญาณ (Seismograph)
2. เครื่องคอมพิวเตอร์ (Computer)
3. ตัวรับสัญญาณ (Geophone)
4. เครื่องกำเนิดสัญญาณ (Source)

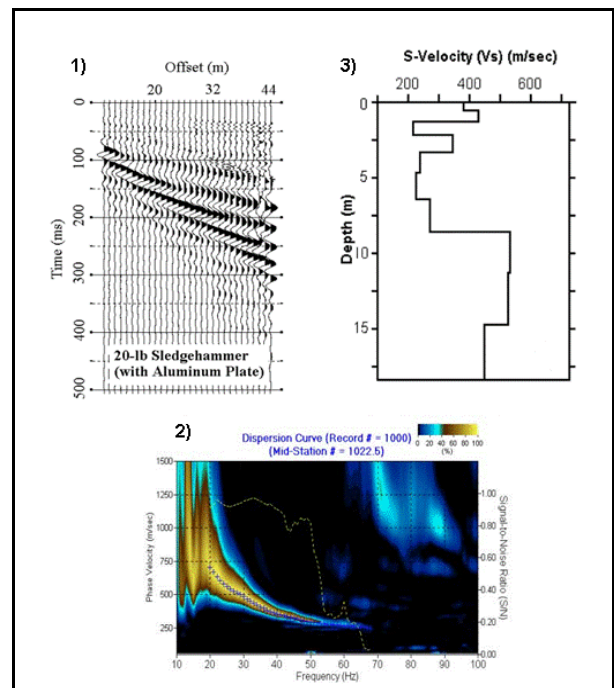
การเก็บข้อมูลเริ่มจากการวางตัวรับสัญญาณหลายๆตัวลงบนพื้นดินเป็นแนวเส้นตรงที่ระยะห่างเท่าๆกันหลังจากนั้น จะทำการกำเนิดคลื่นพื้นผิวในระยะห่างที่เหมาะสมจากตัวรับสัญญาณตัวที่ 1 สัญญาณที่ถูกตรวจวัดได้จากตัวรับสัญญาณทุกตัวจะถูกส่งไปที่เครื่องบันทึกสัญญาณ แล้วส่งไปเก็บไว้ในเครื่องคอมพิวเตอร์ [5]

3.2 การประมวลผลข้อมูลคลื่นพื้นผิว

การประมวลผลข้อมูล MASW นั้นไม่ยุ่งยากเหมือนกับการประมวลผลข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนชนิดอื่น ขั้นตอนโดยทั่วไปจะประกอบไปด้วย 3 ขั้นตอน ดังแสดงในรูปที่ 4 ขั้นตอนที่ 1 เป็นการนำข้อมูลที่ได้ออกจากการสำรวจมาผ่านกระบวนการเบื้องต้นในการกำหนดค่าตัวแปรต่างๆให้เหมาะสมสำหรับข้อมูลแต่ละชุด หลังจากนั้นทำการเปลี่ยนข้อมูลในขั้นที่ 1 ให้อยู่ในกราฟระหว่างความถี่ กับ ความเร็วของคลื่นพื้นผิวโดยกระบวนการ Fourier Transform กราฟดังกล่าวเรียกว่า Dispersion curve ซึ่งสำหรับวิธี MASW นี้จะพิจารณาเฉพาะ Fundamental mode ของคลื่นพื้นผิวเท่านั้น ในขั้นที่ 3 เป็นการหาความเร็วคลื่นเฉือนจาก Dispersion curve ในขั้นที่ 2 ด้วยวิธีการคำนวณย้อนกลับ (Inversion) ผลที่ได้คือกราฟที่แสดงค่าความเร็วคลื่นเฉือนเทียบกับความลึก



รูปที่ 3 แสดงการเก็บข้อมูลคลื่นพื้นผิวด้วยวิธี MASW

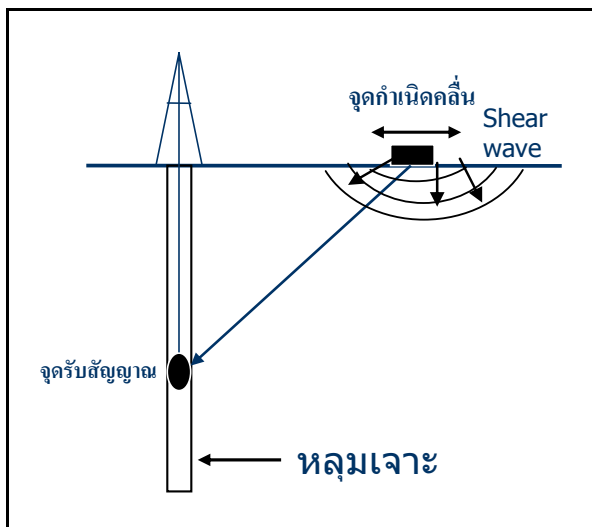


รูปที่ 4 ขั้นตอนการประมวลผลข้อมูลคลื่นพื้นผิวแบบ MASW

4. การสำรวจโดยคลื่นไหวสะเทือนในหลุมเจาะ

วิธี Downhole seismic เป็นวิธีการวัดค่าความเร็วคลื่นเฉือนในหลุมเจาะสำรวจ โดยการนำเอาตัวรับสัญญาณไปไว้ในหลุมเจาะ แล้วทำการกำเนิดคลื่นเฉือนบนพื้นดินใกล้กับบริเวณหลุมเจาะ โดยทั่วไปจะสมมุติให้คลื่นเดินทางในแนวตั้ง รูปที่ 5 แสดงการสำรวจโดยวิธี Downhole Seismic ในการทดสอบจะทำการวัดระยะเวลาที่คลื่นเคลื่อนที่มาถึงตัวรับสัญญาณแล้วคำนวณความเร็วของคลื่นตามตำแหน่งของจุดกำเนิด และจุดรับสัญญาณ

วิธี Downhole seismic นี้สามารถทำการหาความเร็วคลื่นเฉือนของชั้นดินที่มีความเร็วต่ำ ซึ่งแทรกอยู่ระหว่างชั้นดินที่มีความเร็วสูง ถ้าตัวรับสัญญาณในหลุมเจาะมีระยะห่างไม่มากนัก ตัวกำเนิดคลื่นที่ใช้ในวิธีนี้มีลักษณะใกล้เคียงกันกับที่ใช้ในการสำรวจคลื่นไหวสะเทือนทั่วไป ทั้งนี้ขนาดของตัวกำเนิดคลื่นจะขึ้นอยู่กับความลึกของการสำรวจ ในการสำรวจระดับตื้นตัวกำเนิดคลื่นอาจจะเป็นก้อนปูนขนาด 5 ถึง 10 กิโลกรัม ส่วนการสำรวจในระดับลึกตัวกำเนิดคลื่นจะมีขนาดใหญ่ สามารถกำเนิดคลื่นที่มีพลังงานมาก



รูปที่ 5 แสดงการสำรวจด้วยวิธี Downhole seismic

5. การทดลองหาค่าความเร็วคลื่นเฉือนสำหรับชั้นดินบริเวณกรุงเทพมหานคร

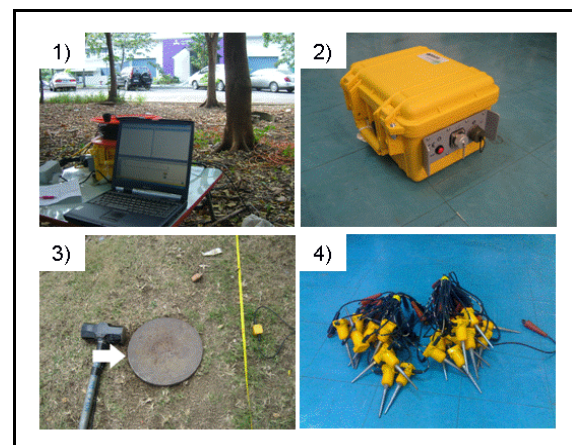
ในการทดลองครั้งนี้จุดประสงค์หลักก็เพื่อทำการประเมินประสิทธิภาพของวิธี MASW ในการหาข้อมูลความเร็วคลื่นเฉือนของชั้นดินกรุงเทพ ข้อมูลคลื่นพื้นผิวได้ถูกเก็บรวบรวมจากบริเวณสนามหน้าลานพระบรมรูปทรงเรือจักรกลภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ตารางที่ 1 แสดงถึงลักษณะชั้นดินภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ระดับความลึกจากผิวดินถึงประมาณ 13.5 เมตรเป็นชั้นดินเหนียวอ่อน ชั้นดินเหนียวแข็งชั้นแรกมีความหนาประมาณ 10.5 เมตร ชั้นทรายชั้นแรกอยู่ที่ระดับความลึก 24 เมตร ชั้นดินอ่อนในกรุงเทพมหานครเป็นชั้นดินที่มีความสามารถในการขยายพลังงานของคลื่นแผ่นดินไหวได้ 3 ถึง 4 เท่า [6] จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาคุณสมบัติทางพลศาสตร์ของชั้นดินนี้อย่างละเอียด

ตารางที่ 1 ลักษณะของชั้นดินบริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Depth (meter)	Lithology
0.0 – 13.5	Soft clay
13.5 – 24.0	First stiff clay
24.0 – 38.0	First sand layer
38.0 – 48.0	Stiff clay
48.0 – 57.0	Second sand layer
57.0 – 61.0	Very stiff clay

5.1 การเก็บข้อมูลบริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในการเก็บข้อมูลคลื่นพื้นผิวครั้งนี้ได้ใช้ก้อนปูนขนาด 14 ปอนด์เป็นตัวกำเนิดคลื่นไหวสะเทือน ใช้ตัวรับสัญญาณที่มีความถี่ธรรมชาติเท่ากับ 10 Hz จำนวน 24 ตัว ระยะห่างของตัวรับสัญญาณแต่ละตัวเท่ากับ 1.5 เมตร ระยะห่างจากจุดกำเนิดคลื่นถึงตัวรับสัญญาณตัวแรกเท่ากับ 5 เมตร เครื่องบันทึกสัญญาณที่ใช้คือ Geode Seismograph ของบริษัท Geometrics รูปที่ 6 แสดงอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการเก็บข้อมูลคลื่นพื้นผิว

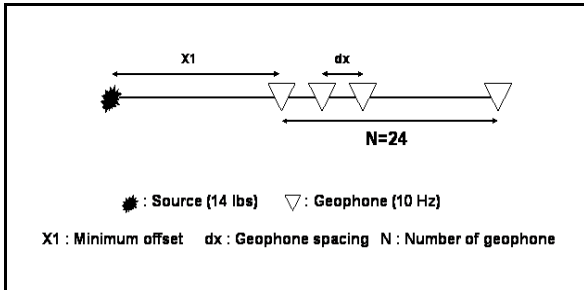


รูปที่ 6 เครื่องมือสำรวจคลื่นไหวสะเทือนพื้นผิว

1) Microcomputer 2) Seismograph 3) Sledgehammer and metal place 4) Geophone

รูปที่ 7 แสดงแผนผังของการเก็บข้อมูลคลื่นพื้นผิวบริเวณ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งคลื่นผิวดินจะถูกให้

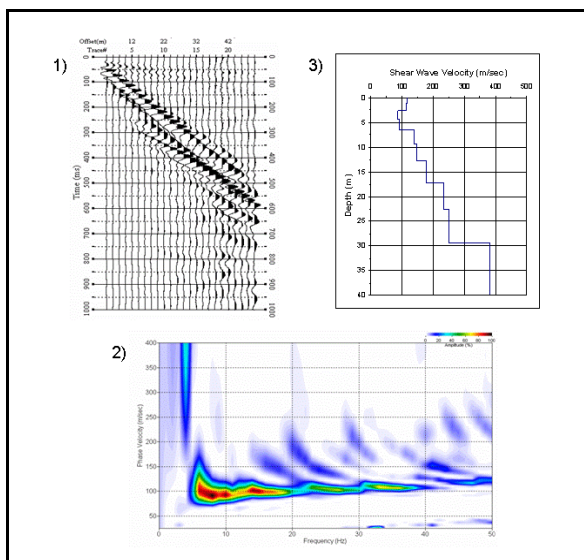
กำหนด 5 ครั้งแล้วรวมเข้าด้วยกันเป็น 1 ข้อมูลเพื่อเป็นการเพิ่มคุณภาพให้กับข้อมูลคลื่นพื้นผิว รวมถึงเป็นการกำจัดคลื่นรบกวนอื่นๆ



รูปที่ 7 รูปแบบการเก็บข้อมูลคลื่นพื้นผิวบริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2 การประมวลผลข้อมูลคลื่นพื้นผิวบริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข้อมูลคลื่นพื้นผิวที่ได้จากการเก็บข้อมูลภาคสนามจะถูกนำมาประมวลผลในห้องปฏิบัติการ รูปที่ 8 แสดงขั้นตอนการประมวลผลข้อมูลคลื่นพื้นผิวดังกล่าว จาก dispersion curve จะเห็นได้ว่าช่วงความถี่ของ Fundamental mode ของคลื่นพื้นผิวจะอยู่ระหว่าง 4 – 22 Hz ความถี่สูงสุดของการสำรวจจากความถี่ที่ได้จะอยู่ที่ประมาณ 35 เมตร

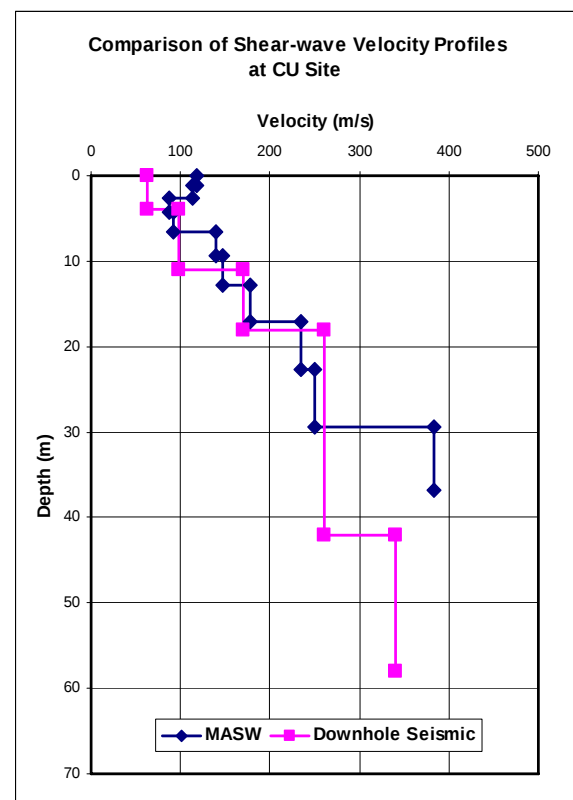


รูปที่ 8 ขั้นตอนการประมวลผลข้อมูลคลื่นพื้นผิวจากบริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 1) Seismic data 2) Dispersion curve และ 3) Shear-wave velocity

6. การเปรียบเทียบความเร็วคลื่นเฉือนจากวิธี MASW กับ วิธี Downhole seismic

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการเปรียบเทียบข้อมูลความเร็วคลื่นเฉือนที่ได้จากวิธี MASW ข้อมูลที่ได้จากวิธีวัดจากหลุมเจาะสำรวจ (Downhole Seismic) ซึ่งข้อมูลดังกล่าวเป็นข้อมูลความเร็วคลื่นเฉือนจากการการสำรวจของ Ashford และคณะ [1] ภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยที่ความลึกสูงสุดของข้อมูลอยู่ที่ประมาณ 60 เมตร ตำแหน่งของหลุมเจาะดังกล่าวอยู่ห่างจากบริเวณที่ทำการเก็บข้อมูล MASW ประมาณ 100 เมตร

เหตุผลที่ต้องทำการเปรียบเทียบข้อมูล MASW กับข้อมูลจากวิธี Downhole Seismic ก็เนื่องจากว่าความเร็วคลื่นเฉือนที่ได้จากการวัดในหลุมเจาะนั้นถือได้มีความถูกต้องมากกว่าวิธีอื่นๆ เนื่องจากวิธีนี้ได้มีการนำตัวรับสัญญาณไปไว้ในหลุมเจาะ ทำให้สามารถเก็บข้อมูลได้ถูกต้องเนื่องจากตัวรับสัญญาณนั้นอยู่ในชั้นดิน ณ ตำแหน่งที่ต้องการวัดค่าความเร็วคลื่นเฉือน



รูปที่ 9 การเปรียบเทียบความเร็วคลื่นเฉือนจากทั้งสองวิธีบริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 9 แสดงผลการเปรียบเทียบข้อมูลความเร็วคลื่นเฉือนที่ได้จากทั้งสองวิธี จากรูปจะเห็นว่าที่ความลึกระหว่าง 5 ถึง 30 เมตร ความเร็วคลื่นเฉือนจากทั้งสองวิธีมีความใกล้เคียงกันมาก ความแตกต่างของข้อมูลในระดับตื้นน้อยกว่า 5 เมตรเป็นผลเนื่องจากชั้นดินระดับตื้นนี้มีคุณสมบัติแปรปรวนมากทำให้ข้อมูลที่ได้จากทั้งสองวิธีมีความแตกต่างกัน และเป็นผลเนื่องมาจากข้อจำกัดของความถี่สูงของข้อมูล MASW ซึ่งไม่สูงพอที่จะให้ข้อมูลในระดับตื้นได้ ส่วนความแตกต่างของข้อมูลตั้งแต่ 30 เมตรลงไปมาจากการที่ข้อมูลความถี่ต่ำของ MASW มีไม่มากพอที่จะให้ข้อมูลที่ถูกต้องได้จากกระบวนการคำนวณย้อนกลับ แต่ถ้าพิจารณาโดยรวมแล้วข้อมูลทั้งสองชุดมีความใกล้เคียงกันพอสมควร

นอกเหนือจากการเปรียบเทียบความเร็วคลื่นเฉือนของทั้งสองวิธีด้วยสายตาแล้วการศึกษาค้างนี้ยังได้ทำการเปรียบเทียบความเร็วคลื่นเฉือนโดยใช้ตัวแปรต่างๆ ได้แก่ 1. $V_{s(30)}$ 2. NEHRP Site Class 3. Average Relative Difference โดยที่ $V_{s(30)}$ คือค่าเฉลี่ยของความเร็วคลื่นเฉือนจากผิวดินถึงความลึก 30 เมตร ส่วน NEHR Site Class คือ ชนิดของดินที่แบ่งโดยใช้ความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยจากผิวดินถึงระดับความลึก 30 เมตร ซึ่งกำหนดโดยหน่วยงาน National Earthquake Hazard Reduction Program [2] ตารางที่ 2 เป็นการแบ่งชนิดของดินโดยใช้ความเร็วคลื่นเฉือน และ Average Relative Difference นั้นคือความแตกต่างโดยเฉลี่ยของความเร็วคลื่นเฉือนของทั้งสองวิธี [7]

ตารางที่ 2 การแบ่งชนิดของดินโดยใช้ความเร็วคลื่นเฉือน [2]

Soil type NEHRP	General Description	Average V_s (m/s) top 30 m
A	Hard rock	> 1500
B	Rock	$760 < V_s \leq 1500$
C	Very dense soil and soft rock	$360 < V_s \leq 760$
D	Stiff soil	$180 \leq V_s \leq 360$
E	Soft soil	< 180
F	Soils requiring site- specific evaluations	-

จากผลการเปรียบเทียบตามตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่า ค่า $V_{s(30)}$ ของทั้งสองวิธีใกล้เคียงกันมากโดยมีความแตกต่างกันเพียง 3.85% เท่านั้น ส่วน ชนิดของดิน (Site class) ก็อยู่ใน class เดียวกันจากทั้งสองวิธี ค่าความต่างเฉลี่ยของทั้งสองวิธีอยู่ที่ประมาณ 13 % ซึ่งอยู่ในช่วงดี และยอมรับได้ [7]

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบความเร็วคลื่นเฉือนที่ได้จากวิธี MASW และ Downhole Seismic

Parameters	MASW	Downhole	% Difference
$V_{s(30)}$	250	260	3.85
NEHRP Site Class	D	D	-
Ave. Relative difference	-	-	12.81

7. สรุป

จากการศึกษาในครั้งนี้ทำให้เห็นถึงศักยภาพของวิธี MASW ในการหาความเร็วคลื่นเฉือนของดินว่ามีความรวดเร็วและราคาถูก รวมทั้งมีความถูกต้องในระดับที่ยอมรับได้ วิธี MASW จึงเป็นวิธีที่เหมาะสมอย่างมากในการเก็บข้อมูลความเร็วคลื่นเฉือนของดินในปริมาณมาก

ข้อดีของวิธีนี้มีอยู่หลายกรณีสามารถจำแนกออกได้ดังต่อไปนี้

(1) มีราคาถูกเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการสำรวจในหลุมเจาะ เพราะไม่จำเป็นต้องทำการเจาะหลุม สามารถทำได้ในปริมาณมาก และเสียค่าใช้จ่ายน้อยกว่า

(2) มีความรวดเร็วกว่าการสำรวจในหลุมเจาะ ในแต่ละจุดสำรวจสามารถเก็บข้อมูลความเร็วคลื่นเฉือนได้ทันที ถ้าหากสามารถเข้าถึงพื้นที่ที่จะทำการเก็บข้อมูลได้โดยไม่มีอุปสรรคใดๆ การประมวลผลข้อมูลสามารถทำได้ทันทีในสนามโดยอาศัยคอมพิวเตอร์แบบพกพา

(3) ความถูกต้องแม่นยำของวิธีนี้ในการหาความเร็วคลื่นเฉือนของดินเมื่อเทียบกับวิธีวัดในหลุมเจาะนั้นมีความถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

(4) วิธี MASW เป็นวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย ดังนั้นจึงไม่ทำให้เกิดความเสียหายต่อพื้นที่สำรวจ

อย่างไรก็ตามข้อเสียของวิธีนี้ก็มีอยู่หลายกรณีที่ผู้ใช้ต้องระมัดระวังอย่างเช่น

(1) ความเร็วคลื่นเฉือนที่ได้นั้นเป็นความเร็วเฉื่อยจากการเคลื่อนที่ของคลื่นจากตัวกำเนิดสัญญาณไปถึงตัวรับสัญญาณทุกตัวในแนวสำรวจ

(2) ความถูกต้องต้องแม่นยำของความเร็วคลื่นเฉือนขึ้นอยู่กับคุณภาพของคลื่นพื้นผิว ถ้าหากคลื่นพื้นผิวมีคุณภาพดีก็จะส่งผลให้การคำนวณหาความเร็วคลื่นเฉือนมีความถูกต้องแม่นยำตามไปด้วย

(3) ความเร็วคลื่นเฉือนที่ได้จากวิธีการคำนวณย้อนกลับในบางกรณีอาจไม่ใช่ความเร็วคลื่นเฉือนที่เป็นตัวแทนของชั้นดินบริเวณนั้นอันเนื่องมาจากข้อจำกัดของสมการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการคำนวณย้อนกลับ ดังนั้นผู้ใช้วิธี MASW จึงควรพิจารณาถึงสภาพความเป็นจริงของผลที่ได้ด้วย

8. กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ได้รับการสนับสนุนด้านงบประมาณจากทุนพัฒนาอาจารย์ใหม่ กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ขอขอบคุณส่วนสำรวจและวิเคราะห์ทางธรณีวิทยา กรมทางหลวง ที่ได้อนุเคราะห์ให้ยืมเครื่องบันทึกคลื่นไหวสะเทือน และอุปกรณ์ประกอบ ขอขอบคุณภาควิชาธรณีศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล และสาขาวิชาวิทยาศาสตร์พื้นพิภพ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ได้อนุเคราะห์ให้ยืมอุปกรณ์ต่างๆในการทำวิจัยในครั้งนี้ สุดท้ายขอขอบคุณ Professor Neil L. Anderson จาก Missouri University of Science and Technology ที่อนุเคราะห์โปรแกรมในการประมวลผลข้อมูลคลื่นพื้นผิว

เอกสารอ้างอิง

[1] S.A. Ashford, W. Jakrapiyanun, and P. Lukkunaprasit, "Amplification of earthquake ground motions in Bangkok", Proceedings of the 12th World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand, Paper no. 1466, 2000.

[2] Building Seismic Safety Council, NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures, Part 1: Provisions, FEMA 368, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C., 2003.

[3] P. Kearey, and M. Brooks, An Introduction to Geophysical Exploration, 2nd ed, Blackwell Science, 1991.

[4] R.D. Miller, J. Xia, C.B. Park, and J. Ivanov, "Multichannel analysis of surfaces waves to map bedrock", The Leading Edge, v. 18, n. 12, 1999, pp 1392-1396.

[5] C. B. Park, R.D. Miller, and H. Miura, "Optimum field parameters of an MASW survey", [Exp. Abs.]: SEG-J, Tokyo, May 22-23, 2002.

[6] P. Warnitchai, C. Sangarayakul, and S.A. Ashford, "Seismic hazard in Bangkok due to long-distance earthquakes", Proceeding of 12th World Conference on Earthquake Engineering, Madrid, Balkema, 2000, pp. 2145-2153.

[7] J. Xia, R.D. Miller, C.B. Park, J.A. Hunter, and J.B. Harris, "Comparing shear-wave velocity profiles from MASW with borehole measurements in unconsolidated sediments, Fraser River Delta, B.C., Canada", Journal of Environmental and Engineering Geophysics, v. 5, n. 3, 2000, p. 1-13.