

การหาค่าความเร็วคลื่นเฉือนของชั้นดินของกรุงเทพฯ

ด้วยวิธี พาสซีฟ ริโมท เอ็ม เอ เอส ดับเบิลยู

นายอาทิตย์ ตรีบุญล้น

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาธรณีวิทยา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2552

วันที่ส่ง/...../.....

วันที่อนุมัติ/...../.....

.....
(อาจารย์ ดร. อ.ดร.ฐานบ ธิติมากร)

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

หัวข้อภาษาไทย	การหาค่าความเร็วคลื่นเฉือนของชั้นดินของกรุงเทพฯด้วยวิธี พาสซีฟ รีโมท เอ็ม เอ เอส ดับเบิลยู
หัวข้อภาษาอังกฤษ	DETERMINING SHEAR-WAVE VELOCITY OF BANGKOK SUBSOILS USING PASSIVE REMOTE MASW TECHNIQUE
ชื่อนิสิต	นายอาทิตย์ ดรบุญล้น 4932736523
อาจารย์ที่ปรึกษา	อ.ดร.ฐานภ ธิติมากร
ภาควิชา	ธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา	2552

บทคัดย่อ

ปัจจุบันการการศึกษาธรณีวิทยาใต้ผิวดินระดับตื้นใช้การวิเคราะห์คลื่นผิวดินซึ่งแบ่งออกเป็นหลายวิธี ได้แก่ วิธีวัดจากหลุมเจาะ (Downhole seismic) วิธี Microtremors และวิธีการวิเคราะห์คลื่นผิวดินแบบหลายช่องรับสัญญาณ MASW (Multichannel analysis of surface wave) ซึ่งวิธีวัดจากหลุมเจาะนั้นค่อนข้างแม่นยำแต่ยุ่งยากมีหลายขั้นตอนอีกทั้งยังเสียเวลาและค่าใช้จ่ายจำนวนมากในการเก็บข้อมูล และวิธีอื่นยังให้ผลคาดเคลื่อน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาวิธีการหาค่าความเร็วคลื่นเฉือนด้วยวิธีใหม่คือ Passive Remote MASW โดยใช้แหล่งกำเนิดคลื่นจากการจราจรบริเวณรอบๆ พื้นที่ศึกษาคือสนามหน้าพระบรมรูปสองรัชกาล และศึกษารูปแบบการวางตัวรับสัญญาณโดยวางตัวรับสัญญาณ 3 แบบ ได้แก่ วงกลม สามเหลี่ยมและกากบาท โดยทั้ง 3 แบบให้ข้อมูลคลื่นผิวดินที่ดีไม่ต่างกัน เมื่อนำไปเข้าสู่กระบวนการคำนวณย้อนกลับทำให้ได้ความเร็วคลื่นเฉือนที่ดีด้วยเช่นกัน จากนั้นนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับวิธีวัดจากหลุมเจาะ Microtremors และ Active MASW โดยใช้เกณฑ์ในการเปรียบเทียบคือ การหาค่าความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยตั้งแต่ 0 ถึง 30 เมตร ($V_s(30)$) แล้วนำไปเทียบกับตารางการจำแนกชนิดของดินโดยใช้ NEHRP soil classification โดยผลที่ได้คือ ค่าความเร็วคลื่นเฉือนของวิธี Passive Remote MASW ได้ 173.6 เมตรต่อวินาที วิธี Active MASW ได้ 178 เมตรต่อวินาที วิธีวัดจากหลุมเจาะได้ 133.4 เมตรต่อวินาที และวิธี Microtremors ได้ 142 เมตรต่อวินาทีจัดอยู่ใน type E ทั้งหมด ส่วนการเปรียบเทียบด้วยวิธีหาค่าความแตกต่างเฉลี่ย (Average relative difference) เปรียบเทียบกับวิธี Active MASW มีค่าต่างกันน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบกับวิธีวัดจากหลุมเจาะมีค่าต่างกันน้อยกว่า 6 เปอร์เซ็นต์และเปรียบเทียบกับวิธี Microtremors มีค่าต่างกันน้อยกว่า 3 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าค่าความเร็วคลื่นเฉือนที่ได้จากวิธี Passive Remote MASW นั้นมีความน่าเชื่อถือดี ดังนั้นวิธีนี้จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการหาค่าความเร็วคลื่นเฉือน ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้เวลาและค่าใช้จ่ายน้อยมากในการเก็บข้อมูล คลื่นผิวดิน

Project title (Thai)	การหาค่าความเร็วคลื่นเฉือนของชั้นดินของกรุงเทพฯด้วยวิธี พาสซีฟ รีโมท เอ็ม เอ เอส ดับเบิลยู
Project title (English)	DETERMINING SHEAR-WAVE VELOCITY OF BANGKOK SUBSOILS USING PASSIVE REMOTE MASW TECHNIQUE
Researcher	Mr. Atit Dornboonlon 4932736523
Advisor	Dr. Thanop Thitimakorn
Department	Geology, Faculty of Science, Chulalongkorn University
Academic year	2009

Abstract

Nowadays, the shear-wave velocity (V_s) of shallow subsurface can be determined by several techniques such as measured by downhole, microtremors or analysis of multi-channel surface waves (MASW). The downhole method is relatively accurate but it has many difficult steps and also time consuming. Therefore, this research is to study how to determine the V_s by a new method called Passive Remote MASW. The study area is a Chulalongkorn University field. The receiver pattern used in the study includes a circle, triangle and cross arrays. This method uses traffic or cultural noise as a source.

The V_s derived from this method were compared with V_s from the downhole seismic, microtremor and active MASW methods. The criteria used in comparison consist of NEHRP soil classification and the average relative difference. The NEHRP soil class of passive remote MASW, active MASW, downhole and microtremor was all fell in soil type E. The average relative difference of V_s profiles from passive remote MASW method was less than 1 percent when compared with the active MASW and less than 6 percent with downhole seismic, as well as less than 3 percent with microtremor. The result of comparison had shown that the passive remote MASW method was reliable. Therefore, the passive remote MASW can be used to estimate the V_s profile of Bangkok a soil which saving time and cost.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร.ฐานบ ธิติมากร อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ซึ่งกรุณาสละเวลาให้ความรู้และคำแนะนำตลอดการทำโครงการ รวมทั้งเชื้อเพื่ออุปกรณ์ที่จำเป็นในการทำโครงการ และความช่วยเหลืออื่นๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการ

ขอขอบพระคุณอาจารย์ ภาควิชารรณวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ รวมถึงประสบการณ์ต่างๆ และให้ความช่วยเหลือตลอดมา

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาวิทยาศาสตร์พื้นกภพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ได้ให้ยืมอุปกรณ์บางส่วนในการทำโครงการนี้

ขอขอบคุณ เพื่อนๆ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการเก็บข้อมูลทำโครงการ และขอขอบคุณห้องสมุดสำหรับหนังสือ แหล่งข้อมูลอันมีค่าสำหรับโครงการนี้

ท้ายที่สุด ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อและคุณแม่ ผู้เป็นที่รัก ผู้ให้กำลังใจและให้โอกาสการศึกษาอันมีค่ายิ่ง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฅ
สารบัญภาพ	ญ
บทที่ 1: บทนำ	1
1.1 ข้อความเบื้องต้น	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
1.4 ธรณีวิทยาที่ราบลุ่มภาคกลางตอนล่าง	3
บทที่ 2: กรอบทฤษฎีวิเคราะห์และหลักการ	6
2.1 กรอบทฤษฎีวิเคราะห์และหลักการ	6
2.2 นิยามศัพท์	14
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	15
บทที่ 3: ขั้นตอนการวิจัย	20
3.1 ลำดับขั้นตอนการปฏิบัติงาน	20
3.2 ศึกษาข้อมูลจากงานวิจัยเก่า	20
3.3 จัดเตรียมอุปกรณ์ในการวิจัย	20
3.4 เก็บข้อมูลภาคสนาม	22
3.5 ประมวลผลข้อมูลโดยใช้โปรแกรม SurfSeis 2.0	26
3.6 รวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล	27

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 4: การวิเคราะห์และประมวลผล	28
4.1 วิธี Active MASW	28
4.2 วิธี Passive Circular	29
4.3 วิธี Passive Cross	30
4.4 วิธี Passive Triangular	31
บทที่ 5: การอภิปรายและสรุปผล	32
5.1 เปรียบเทียบข้อมูล Active MASW และ Passive MASW	33
5.2 เปรียบเทียบข้อมูล Downhole และ Passive MASW	34
5.3 เปรียบเทียบข้อมูล Microtremors และ Passive MASW	35
5.4 สรุปผล	37
บทที่ 6: ปัญหาและข้อเสนอแนะ	38
6.1 ปัญหาและอุปสรรค	38
6.2 ข้อเสนอแนะ	38
บรรณานุกรม	39

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 1 ลำดับชั้นดินระดับต้นบริเวณกรุงเทพฯ	5
ตารางที่ 2 การจำแนกดิน (soil classification) โดยวิธี NEHRP	18
ตารางที่ 3 แสดงข้อมูลการเก็บข้อมูลคลื่นผิวดิน	23
ตารางที่ 4 เปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากวิธี Passive Circular, Passive Cross และ Passive Triangular	32
ตารางที่ 5 เปรียบเทียบค่าความเร็วคลื่นเฉือนด้วยวิธี Vs (30) วิธีการจำแนกชนิดดินด้วย NEHRP และวิธีหาค่าความแตกต่างเฉลี่ย	36

สารบัญญภาพ

ภาพที่	หน้า
รูปที่ 1 สนามหน้าพระบรมรูปสองรัชกาล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	4
รูปที่ 2 แผนที่ธรณีวิทยาของตะกอนยุคควอเทอร์นารี บริเวณที่ราบลุ่มภาคกลางตอนล่าง	4
รูปที่ 3 ลำดับความต่อเนื่องของชั้นตะกอนที่ยังไม่แข็งตัวในบริเวณที่ราบลุ่มภาคกลางตอนล่าง	5
รูปที่ 4 คลื่นปฐมภูมิหรือคลื่นอัด (P wave)	6
รูปที่ 5 คลื่นทุติยภูมิหรือคลื่นเฉือน (S-wave)	7
รูปที่ 6 คลื่นเลิฟ	7
รูปที่ 7 คลื่นเรย์ลี	8
รูปที่ 8 Active MASW	10
รูปที่ 9 Passive Remote MASW และ Passive Roadside MASW	10
รูปที่ 10 การวางตัวรับสัญญาณของวิธี passive remote MASW	11
รูปที่ 11 ข้อมูลจากการวางตัวรับสัญญาณ 3 ประเภท (ซ้าย) roadside (กลาง) circle (ขวา) random	12
รูปที่ 12 กราฟแสดงข้อมูลความเร็วคลื่นเฉือนเทียบกับความลึก	13
รูปที่ 13 การเก็บข้อมูล Downhole seismic	14
รูปที่ 14 ค่าความเร็วคลื่นเฉือนของชั้นดินกรุงเทพฯที่ได้จากวิธี Microtremors บริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	16
รูปที่ 15 ค่าความเร็วคลื่นเฉือนของชั้นดินกรุงเทพฯที่ได้จากวิธี Downhole seismic บริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	17
รูปที่ 16 ค่าความเร็วคลื่นเฉือนเทียบกับขงลึกของวิธี Active MASW และ Down seismic	19
รูปที่ 17 อุปกรณ์ที่ใช้ในภาคสนาม	21
รูปที่ 18 แสดงการเก็บข้อมูลคลื่นผิวดิน	22
รูปที่ 19 ข้อมูลคลื่นไหวสะเทือน (seismic data) ของวิธี Active MASW	24
รูปที่ 20 ข้อมูลคลื่นไหวสะเทือน (seismic data) ของวิธี Passive Circular	24
รูปที่ 21 ข้อมูลคลื่นไหวสะเทือน (seismic data) ของวิธี Passive Triangular	25
รูปที่ 22 ข้อมูลคลื่นไหวสะเทือน (seismic data) ของวิธี Passive Cross	25
รูปที่ 23 ขั้นตอนการประมวลผลข้อมูล	26

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
รูปที่ 24 กราฟการกระจายที่แสดง fundamental mode, 1 st mode, 2 nd mode และ 3 rd mode	27
รูปที่ 25 กราฟการกระจายและความลึกของวิธี Active MASW	28
รูปที่ 26 กราฟการกระจายและความลึกของวิธี Passive Circular	29
รูปที่ 27 กราฟการกระจายและความลึกของวิธี Passive Cross	30
รูปที่ 28 กราฟการกระจายและความลึกของวิธี Passive Triangular	31
รูปที่ 29 เปรียบเทียบข้อมูล Active MASW และ Passive MASW	33
รูปที่ 30 เปรียบเทียบข้อมูล Downhole และ Passive MASW	34
รูปที่ 31 เปรียบเทียบข้อมูล Microtremors และ Passive MASW	35

บทที่ 1: บทนำ

1.1 ข้อความเบื้องต้น

ปัจจุบันการศึกษาถึงโครงสร้างทางธรณีวิทยาใต้ผิวดินได้นำวิธีการสำรวจทางด้านธรณีฟิสิกส์มาใช้มากขึ้น เช่น การสำรวจแหล่งปิโตรเลียม การสำรวจแร่ เป็นต้น เพื่อใช้วิเคราะห์และตีความถึงสิ่งที่อยู่ใต้ดินในระดับลึก การสำรวจทางธรณีฟิสิกส์มีหลายประเภท เช่น การสำรวจคลื่นไหวสะเทือน (seismic survey) การสำรวจวัดความต้านทานไฟฟ้า (resistivity survey) การสำรวจความโน้มถ่วง (gravity survey) การสำรวจแบบหลายช่องรับสัญญาณ (MASW) เป็นต้น แต่การสำรวจคลื่นไหวสะเทือน (seismic survey) เป็นวิธีการที่นิยมใช้อย่างแพร่หลาย อันเนื่องมาจากลักษณะงานที่ รวดเร็ว ง่าย ประหยัด มีความถูกต้องแม่นยำ ในระดับที่ยอมรับได้ เมื่อเทียบกับปริมาณงานต่อหน่วยพื้นที่ ขนาด โครงการ และงบประมาณการสำรวจ ส่วนใหญ่นิยมใช้ในขั้นตอนเริ่มแรกของการทำงาน เพื่อให้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการกำหนดแนวทางการสำรวจวิธีอื่น ๆ หรือ ใช้กำหนดขอบเขตของพื้นที่ที่มีศักยภาพก่อนขั้นตอนของการสำรวจอย่างละเอียด อย่างไรก็ตามการสำรวจด้วยวิธี การสำรวจคลื่นไหว สะเทือน (seismic survey) เพียงวิธีเดียวไม่ใช่สิ่งที่ยืนยันถึงความถูกต้องของลักษณะทางธรณีวิทยาใต้ผิวดินอย่างถูกต้อง 100 เปอร์เซ็นต์ ด้วยเหตุที่ทุกวิธีการล้วนมีขีดจำกัดในบางประการแตกต่างกัน จึงควรดำเนินการตรวจสอบความถูกต้องโดยการสำรวจซ้ำด้วยวิธีอื่นด้วย เช่น การสำรวจวัดความต้านทานไฟฟ้า หรือการสำรวจความโน้มถ่วง จึงจะทำให้ผลการแปลความหมายชัดเจน และสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

การสำรวจระดับตื้นใช้การวิเคราะห์คลื่นผิวดินแบบหลายช่องรับสัญญาณ (Multichannel analysis of surface wave: MASW)(Park et al., 1999) คือวิธีการวิเคราะห์คลื่นผิวดิน (surface wave) โดยใช้ข้อมูลจากหลายช่องรับสัญญาณ เพื่อให้ได้ข้อมูลความเร็วคลื่นเฉือน (shear-wave velocity; V_s) ข้อดีของการวิเคราะห์โดยใช้คลื่นผิวดิน คือ เป็นวิธีที่ง่ายและสะดวก และเป็นคลื่นที่มีพลังงานมากที่สุด ให้ข้อมูลคลื่นไหวสะเทือน (seismic data) ชัดเจน เหมาะสำหรับการสำรวจชั้นดินในกรุงเทพฯที่มีความลึกไม่มากนัก โดยเกี่ยวเนื่องกับงานวิศวกรรมธรณีและสิ่งแวดล้อม เช่น การสำรวจหาความลึกของชั้นหินทราย เพื่อวางเสาเข็ม เป็นต้น

MASW สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ Active และ Passive โดยที่วิธี Active MASW ต้องมีตัวกำเนิดคลื่น ส่วน Passive MASW ใช้คลื่นจากบริเวณรอบๆจุดสำรวจ ซึ่งอาจเป็นคลื่นจากการจราจร บริเวณถนนใกล้เคียง หรือเครื่องจักรจากโรงงานอุตสาหกรรมบริเวณรอบๆ สาเหตุที่ผู้ศึกษาได้เลือกการ

สำรวจแบบ Passive Remote MASW ในการศึกษาชั้นดินกรุงเทพฯ เนื่องจากกรุงเทพฯ เป็นเมืองที่มีการจราจรหนาแน่นคาดว่าสามารถเป็นแหล่งกำเนิดคลื่นได้ดี ซึ่งคลื่นจากการจราจรถือว่าเป็นคลื่นรบกวนในการสำรวจคลื่นไหวสะเทือนทั่วไปรวมถึงวิธี Active MASW ด้วย

วิธีการสำรวจแบบ Passive Remote MASW ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนคือ 1. การเก็บข้อมูลในภาคสนาม (Data Acquisition) 2. การประมวลผลข้อมูล (Dispersion Analysis) 3. กระบวนการการคำนวณย้อนกลับ (Velocity Inversion) (Park et al., 1999)

การที่จะได้ข้อมูลความเร็วคลื่นเฉือนที่ตื้นๆ ต้องมีข้อมูลคลื่นผิวดินที่ละเอียดและถูกต้อง ในการศึกษาการสำรวจแบบ Passive MASW นี้ผู้ศึกษาต้องวางตัวรับสัญญาณหลายๆ แบบเพื่อศึกษาว่าการวางตัวรับสัญญาณอย่างไรจะให้ข้อมูลที่ดีที่สุด หรือเมื่อศึกษาแล้วอาจพบว่าวางตัวรับสัญญาณแบบใดก็ให้ข้อมูลไม่ต่างกัน เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับวิศวกรหรือนักวิทยาศาสตร์ที่ต้องการเก็บข้อมูลหรือใช้วิธี Passive MASW ในการหาค่าความเร็วคลื่นเฉือนของชั้นดินอ่อนบริเวณพื้นที่กรุงเทพฯ หรือพื้นที่ที่มีการคมนาคมหนาแน่น

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อประเมินความเป็นไปได้ในการใช้วิธีการสำรวจแบบ Passive Remote MASW ในการหาค่าความเร็วคลื่นเฉือน (Shear wave velocity; V_s) ของชั้นดินกรุงเทพฯ
2. เพื่อศึกษาว่าการวางตัวรับสัญญาณ (Receiver array) รูปแบบใดให้ข้อมูลดีที่สุดในการวิเคราะห์หาค่าความเร็วคลื่นเฉือน
3. เพื่อศึกษาว่าวิธี Passive Remote MASW ให้ข้อมูลความเร็วคลื่นเฉือนของชั้นดินกรุงเทพฯ ถูกต้องหรือใกล้เคียงกับวิธี Active MASW และ Downhole seismic

1.3 ขอบเขตการศึกษา

เพื่อประเมินการสำรวจด้วยวิธี Passive Remote MASW ในการหาค่าความเร็วคลื่นเฉือนของชั้นดินในพื้นที่กรุงเทพฯ พื้นที่ศึกษาคือบริเวณสนามหน้าพระบรมรูปสองรัชกาลของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (รูปที่ 1) เพราะเป็นบริเวณที่มีพื้นที่กว้าง ไม่มีสิ่งกีดขวาง ทำให้การปรับลักษณะการวางตัวรับสัญญาณทำได้สะดวกและมีถนนพญาไทอยู่บริเวณใกล้เคียง รอบๆ สนามหน้าพระบรมรูปสองรัชกาลซึ่งมีการจราจรหนาแน่นตลอดเวลา

1.4 ธรณีวิทยาที่ราบลุ่มภาคกลางตอนล่าง

ที่ราบลุ่มภาคกลางตอนล่างบริเวณที่อยู่ใกล้แม่น้ำเจ้าพระยาจะเห็นร่องรอยของการเคลื่อนที่ของแม่น้ำสายนี้จากลักษณะของทะเลสาบรูปแอก (oxbow lake) และรอยทางน้ำโค้งตัว (meander scar) ตั้งแต่จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ลงมาจนถึงกรุงเทพมหานคร ซึ่งอยู่ห่างจากปากแม่น้ำเจ้าพระยาประมาณ 21 กิโลเมตร มีระดับความสูงโดยเฉลี่ยประมาณ 1.5 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง โดยทั่วไปบริเวณนี้มีลักษณะแบนราบแผ่กระจายเป็นบริเวณกว้างเกิดจากการไหลป่าเข้ามาของทะเลโบราณ แล้วถอยร่นออกไปในช่วงเวลาต่อมา จากหลักฐานของชนิดตะกอนที่มาสะสมตัวและลักษณะภูมิประเทศพบว่าในที่ราบนี้ยังประกอบไปด้วยที่ลุ่มชื้นแฉะ (marsh) ที่ราบลุ่มน้ำท่วมถึง (tidal flat) ดินดอนสามเหลี่ยม (delta) เช่น ที่จังหวัดนครปฐมและทางทิศใต้ของจังหวัดพระนครศรีอยุธยา หาดทราย (beach) และสันดอนทราย (sand bar) ซึ่งส่วนใหญ่จะพบเห็นได้เด่นชัดในบริเวณจังหวัดพระนครศรีอยุธยาและบางบริเวณของกรุงเทพมหานคร เนื่องจากที่ราบลุ่มภาคกลางตอนล่างมีลักษณะเป็นแอ่งลึกระลอกยุคควอเทอร์นารีจึงค่อนข้างหนาตั้งแต่ 300 เมตรถึง 2,000 เมตร ความหนาของตะกอนขึ้นอยู่กับลักษณะภูมิประเทศของหินที่รองรับอยู่ด้านล่าง ซึ่งตะกอนเหล่านี้แบ่งออกเป็นสองกลุ่มใหญ่ คือ ตะกอนสมัยไพลสโตซีนและตะกอนสมัยโฮโลซีน (รูปที่ 2)

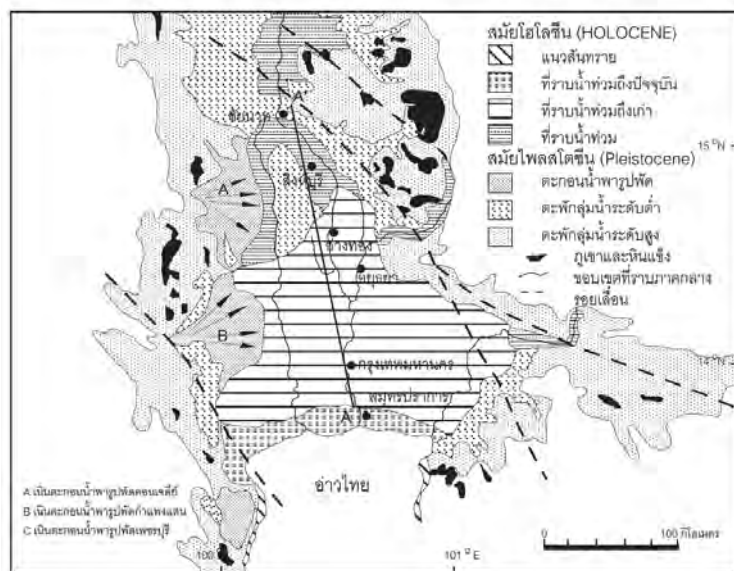
ตะกอนสมัยไพลสโตซีน ส่วนมากเป็นตะกอนที่เกิดจากการสะสมตัวโดยทางน้ำโดยตะกอนส่วนใหญ่ประกอบด้วย กรวด ทรายขนาดต่างๆและดินเคลย์ ซึ่งมีการสะสมตัวเป็นแนว เป็นชั้น และเป็นเลนส์บ่งบอกสภาพแวดล้อมการเกิดได้ว่าเกิดในแอ่งปัจจุบันพบอยู่ใต้ผิวดินในระดับลึก ข้อมูลส่วนมากจึงได้จากหลุมเจาะน้ำบาดาลความลึกตั้งแต่ 30 ถึง 600 เมตร

ตะกอนสมัยโฮโลซีน การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลเป็นกระบวนการสำคัญที่ทำให้ที่ราบลุ่มภาคกลางตอนล่างมีลักษณะราบเรียบแผ่เป็นบริเวณกว้าง ตะกอนที่มาสะสมตัวส่วนใหญ่เกิดจากกระบวนการนำขึ้นน้ำลงของน้ำทะเลเป็นหลักโดยตะกอนส่วนมากเป็นดินเคลย์และทรายแป้งสีเทา และเทาเขียว เรียกว่า ดินเคลย์ทะเล (marine clay) หรือดินเคลย์กรุงเทพฯ (Bangkok clay) เมื่อประมาณ 6,000 ปี น้ำทะเลขึ้นสูงสุดประมาณ 4 เมตรจากระดับน้ำทะเลปัจจุบันได้ท่วมเข้าไปถึงจังหวัดอยุธยา หลังจากนั้นน้ำทะเลย่ำขึ้นลงตลอดเวลาจนกระทั่งลดระดับลงมาอยู่ที่ระดับปัจจุบัน จากนั้นเมื่อน้ำหลากล้นตลิ่งและเกิดน้ำท่วมจึงมีตะกอนน้ำพาและตะกอนที่ราบน้ำท่วมถึงในสมัยปัจจุบันปิดทับตะกอนสมัยโฮโลซีนอีกชั้นหนึ่งดังที่พบเห็นในปัจจุบัน(รูปที่ 3) (กรมทรัพยากรธรณี, 2550) การลำดับชั้นดินบริเวณกรุงเทพฯ ระดับตื้น (Shibuya, 2003) เริ่มจากชั้นล่างสุดเป็นชั้นทราย (second sand layer) อยู่ที่ระดับความลึก 44 ถึง 70 เมตร ถัดขึ้นมาเป็นชั้นดินเคลย์เนื้อแน่น (second stiff clay) อยู่ที่ระดับความลึก 40 ถึง 44 เมตร ถัดมาเป็นชั้นทราย (first sand layer) อยู่ที่ระดับความลึก 25 ถึง 40 เมตร ถัดขึ้นมาเป็นชั้นดินเคลย์เนื้อแน่น (first

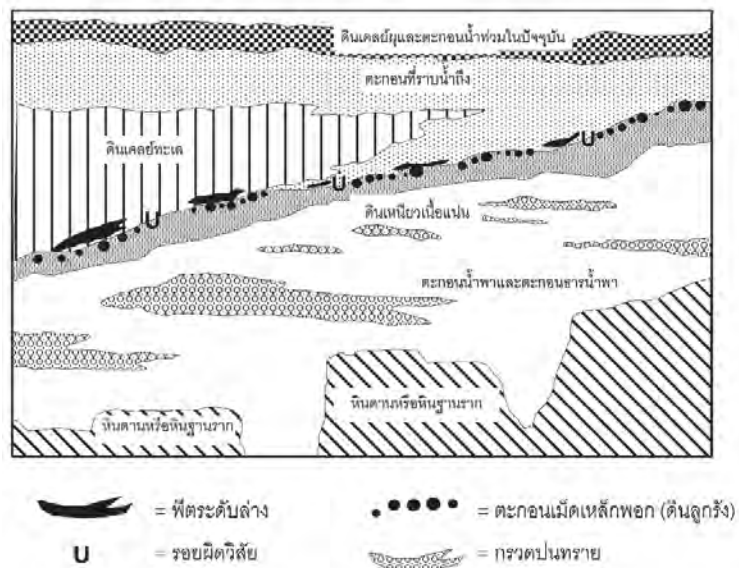
stiff clay) อยู่ที่ระดับความลึก 14 ถึง 25 เมตร และชั้นบนสุดเป็นชั้นดินเคลย์เนื้อนุ่ม (Bangkok soft clay) ที่อยู่ระดับพื้นผิวจนถึง 14 เมตร (ตารางที่ 1)



รูปที่ 1 สนามหน้าพระบรมรูปสองรัชกาล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2 แผนที่ธรณีวิทยาของตะกอนยุคควอเทอร์นารี บริเวณที่ราบลุ่มภาคกลางตอนล่าง (กรมทรัพยากรธรณี, 2550)



รูปที่ 3 ลำดับความต่อเนื่องของชั้นตะกอนที่ยังไม่แข็งตัวในบริเวณที่ราบลุ่มภาคกลางตอนล่าง
(กรมทรัพยากรธรณี, 2550)

ตารางที่ 1 ลำดับชั้นดิน (soil profile) ระดับดินบริเวณกรุงเทพฯ (Shibuya et al., 2003)

Depth (m)	Strata
0 to 14	Bangkok soft clay, dark grey highly compressible soft clay with 2m weathered zone forming a hard crust.
14 to 25	First stiff clay, light grey and brown fissure stiff clay.
25 to 40	First sand layer, dense alluvial non-uniform sand, occasionally interbedded with stiff clay
40 to 44	Second stiff clay, light grey and brown stiff often fissures silty clay.
44 to >70	Second sand layer, clean light grey silty sand.

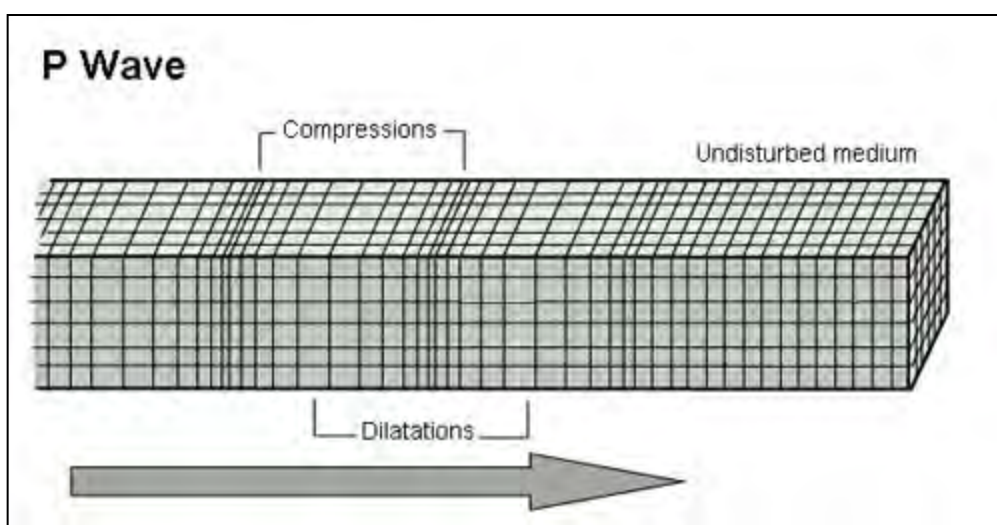
บทที่ 2: กรอบทฤษฎีวิเคราะห์และหลักการ

2.1 กรอบทฤษฎีวิเคราะห์และหลักการ

การสำรวจคลื่นไหวสะเทือน (Seismic survey) เป็นการสำรวจที่ประยุกต์ใช้คุณสมบัติด้านคลื่นยืดหยุ่น (elastic property) โดยทำการส่งคลื่นลงไปใต้พื้นผิวผ่านเข้าไปในตัวกลางและรอยต่อของชั้นดินหรือหิน หลังจากนั้นจึงรับสัญญาณคลื่นที่เดินทางกลับมายังพื้นผิวเพื่อนำไปประมวลผลและแปลความหมายต่อไป ซึ่งโดยทั่วไปคลื่นแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

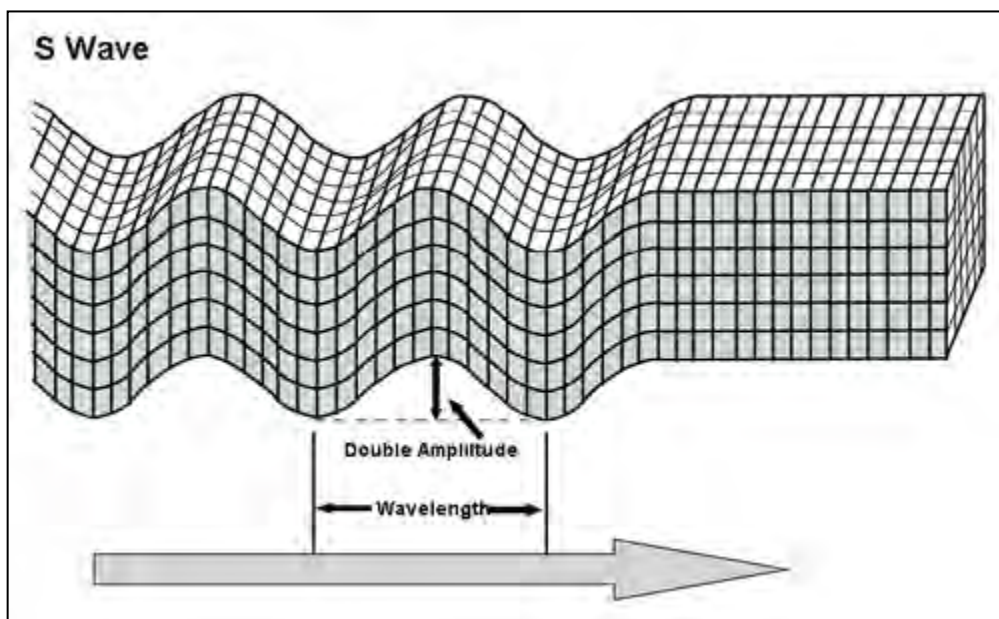
1. คลื่นในตัวกลาง (Body wave) เดินทางภายในวัตถุยืดหยุ่น

คลื่นปฐมภูมิ (Primary (P) wave) คลื่นที่ทำให้อนุภาคของตัวกลางมีการสั่นแบบอัดและขยายในทิศทางเดียวกับคลื่นที่เคลื่อนที่ไป เป็นคลื่นที่เคลื่อนที่ได้เร็วที่สุดสามารถเคลื่อนที่ผ่านของแข็งและของเหลวได้มีลักษณะการเคลื่อนที่ของคลื่นเป็นแบบ push and pull ในทิศทางเดียวกันกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น (รูปที่ 4)



รูปที่ 4 คลื่นปฐมภูมิหรือคลื่นอัด (P wave) (Abt, 2007)

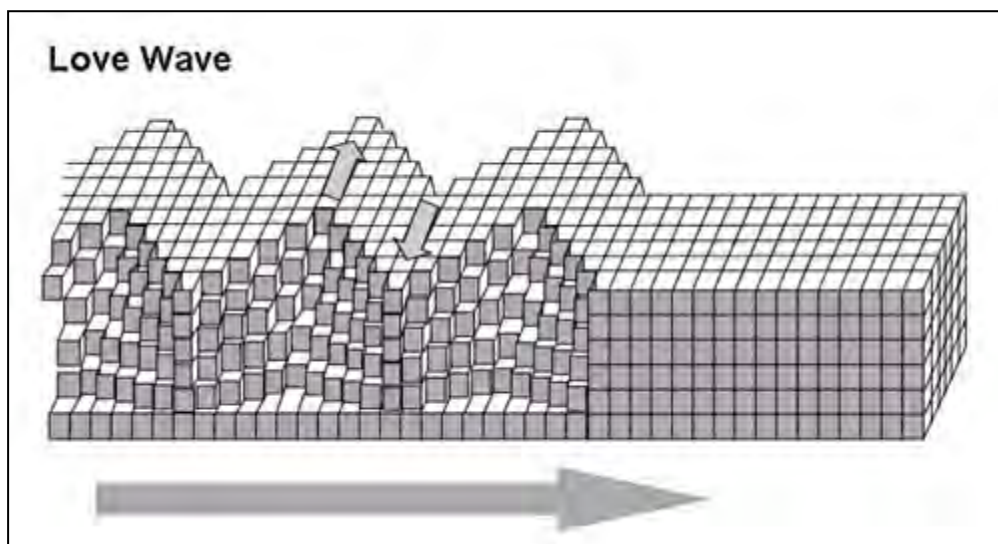
คลื่นทุติยภูมิ (Secondary หรือ Shear (S) wave) คลื่นที่ทำให้อนุภาคของตัวกลางมีการเคลื่อนที่ในแนวตั้งฉากกับทิศทางที่คลื่นเคลื่อนที่ไป โดยจะเคลื่อนที่ได้ช้ากว่า คลื่น P wave และสามารถเคลื่อนที่ผ่านได้เฉพาะในหินแข็งเท่านั้น ลักษณะการเคลื่อนที่ของคลื่น จะเคลื่อนที่ขึ้น-ลง และจาก side-to-side ในทิศทางที่ตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น (รูปที่ 5)



รูปที่ 5 คลื่นทุติยภูมิหรือคลื่นเฉือน (S-wave) (Abt, 2007)

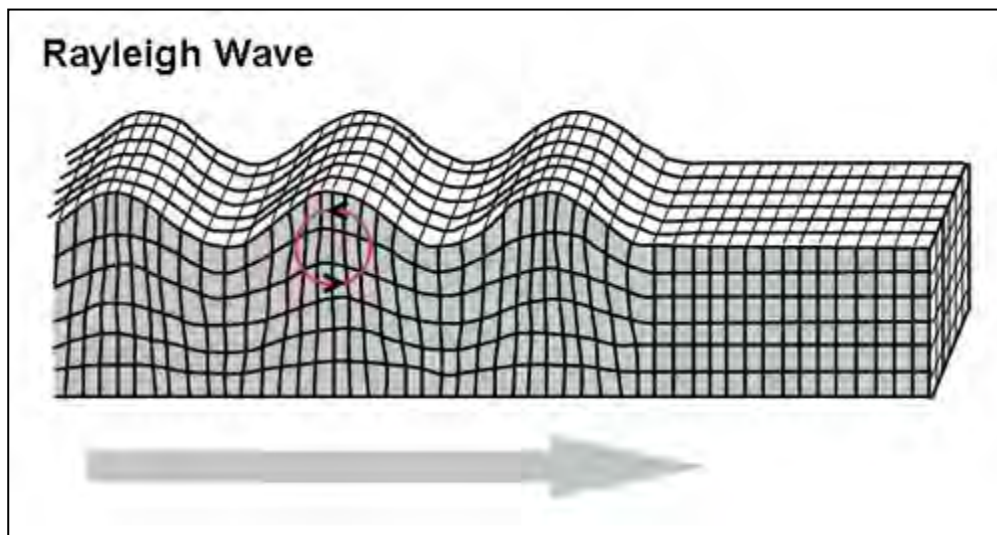
2. คลื่นพื้นผิว (Surface wave) เดินทางบริเวณพื้นผิว

Love wave เป็นคลื่นผิวดินที่เคลื่อนที่ได้เร็วที่สุด เคลื่อนที่ขนานไปกับชั้นดินและอากาศในลักษณะจาก side-to-side (รูปที่ 6)



รูปที่ 6 คลื่นเลิฟ (Abt, 2007)

Rayleigh wave (ground roll) คลื่นที่เคลื่อนที่ขนานไปกับผิวดิน อนุภาคเคลื่อนที่ม้วนเป็นวงรีขยับขึ้นลง เป็นคลื่นที่ก่อให้เกิดความเสียหายสูง (รูปที่ 7)



รูปที่ 7 คลื่นเรย์ลี (Abt, 2007)

โดยทั่วไปในการสำรวจคลื่นไหวสะเทือนส่วนใหญ่มักใช้คลื่นในตัวกลาง (Body wave) ซึ่งมีความถี่สูง ความยาวคลื่นต่ำ สามารถเดินทางผ่านตัวกลางคือชั้นดินหรือชั้นหินต่างๆ เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของความเร็วคลื่นอัด (V_p) และความเร็วคลื่นเฉือน (V_s) พบว่ามีความสัมพันธ์เป็นอัตราส่วนแบบปัวซองก์ (Poisson ratio) และนำไปสู่ค่าคุณสมบัติความยืดหยุ่น (Elastic properties) อื่นๆ ที่สำคัญ ได้แก่ Young's modulus, Bulk modulus, Shear modulus ซึ่งล้วนเป็นค่าที่สำคัญและใช้กันอย่างกว้างขวางโดยเฉพาะงานทางด้านวิศวกรรมธรณี ดังนั้นคุณสมบัติความยืดหยุ่น (Elastic properties) ซึ่งเป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวที่คำนวณได้จากการศึกษาความเร็วของคลื่นในตัวกลางจึงนับเป็นผลพลอยได้ที่มีประโยชน์อย่างมาก

ส่วนคลื่นพื้นผิว (Surface wave) ซึ่งมีความยาวคลื่นมาก ความถี่ต่ำ เคลื่อนที่อยู่บริเวณผิวดิน ซึ่งปกติกระทำตัวเป็นคลื่นรบกวนและบดบังสัญญาณของคลื่นในตัวกลาง (Body wave) ที่ใช้เป็นพลังงานและสัญญาณของข้อมูลจากใต้ดินถือเป็นอุปสรรคหนึ่งในการปฏิบัติงาน ของการสำรวจคลื่นไหวสะเทือน ปัจจุบันมีวิธีการใช้ประโยชน์จากคลื่นพื้นผิวมาวิเคราะห์เพื่อหาความเร็วคลื่นเฉือน (V_s) เรียกว่า MASW (Multichannel analysis of surface wave) ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 2 วิธี ได้แก่

1. Active MASW คือการสำรวจคลื่นพื้นผิว (Surface wave) เพื่อวิเคราะห์หาความเร็วคลื่นเฉือน (Vs) โดยต้องมีตัวกำเนิดคลื่น (รูปที่ 8)

2. Passive MASW คือการสำรวจคลื่นพื้นผิว (Surface wave) เพื่อวิเคราะห์หาความเร็วคลื่นเฉือน (Vs) โดยตัวกำเนิดคลื่นที่ใช้จะมาจากบริเวณรอบๆ ได้แก่ รถ เครื่องจักร เป็นต้น ซึ่งจะแบ่งย่อยออกเป็น Passive Remote และ Passive Roadside (รูปที่ 9)

ขั้นตอนของการสำรวจแบบ MASW โดยที่ทั้ง active และ passive MASW จะมีขั้นตอนเหมือนกัน คือ

1. การเก็บข้อมูลในภาคสนาม (Data Acquisition)
2. การประมวลผลข้อมูล (Dispersion Analysis)
3. กระบวนการการคำนวณย้อนกลับ (Velocity Inversion)

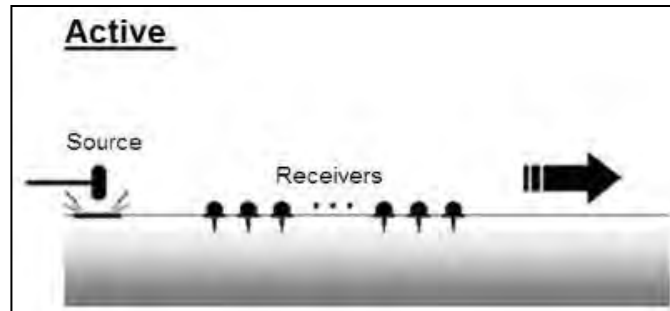
การเก็บข้อมูลแบบ Passive Remote MASW

อันดับแรกควรเลือกสถานที่ที่เหมาะสมสำหรับการเก็บข้อมูลคือ มีบริเวณกว้างและมีการจราจรหนาแน่น ซึ่งผู้ศึกษาได้เลือกบริเวณสนามรักบี้หน้าพระบรมรูปสองรัชกาล ส่วนการเก็บข้อมูลนั้นจะวางตัวรับสัญญาณแบบ 2 มิติเพื่อรับสัญญาณคลื่นไหวสะเทือน ซึ่งรูปแบบของการวางตัวรับสัญญาณนั้นจะเป็นแบบสมมาตรได้แก่ วงกลม (circle), กากบาท (cross), สี่เหลี่ยม (square), สามเหลี่ยม (triangular) และ แบบสุ่ม (random) (รูปที่ 10) ผู้ศึกษาต้องศึกษาว่าการจัดวางตัวรับสัญญาณแบบใดให้ข้อมูลที่ดีที่สุดเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับวิธี Active MASW และ Downhole seismic

การประมวลผลข้อมูล Passive Remote MASW

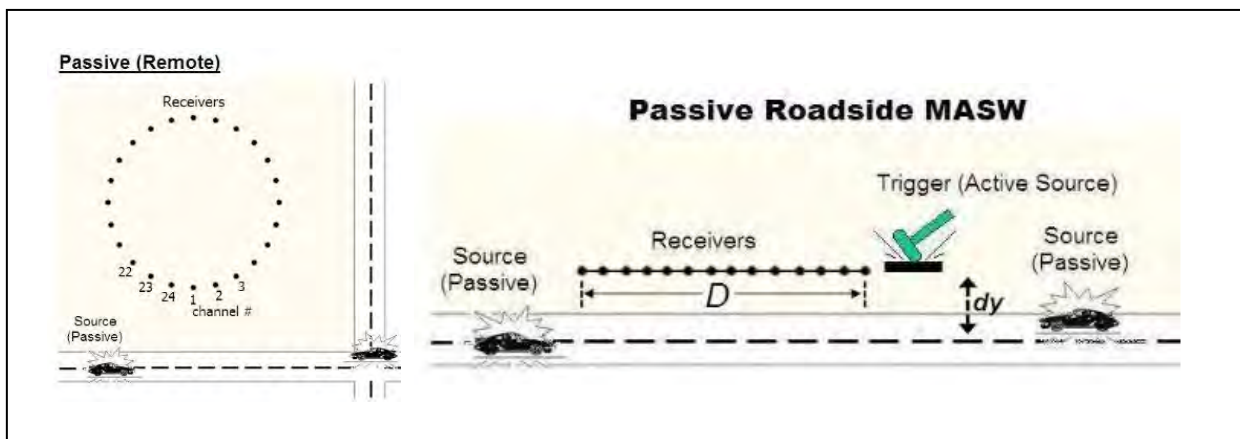
เมื่อจัดวางตัวรับสัญญาณตามรูปแบบที่ตั้งไว้แล้ว ข้อมูลในภาคสนามที่ได้ออกมาในรูปแบบของกราฟของเวลากับตำแหน่งของตัวรับสัญญาณ จากนั้นนำข้อมูลจากภาคสนามที่ได้มาใช้โปรแกรมแปลงค่าให้เป็นกราฟการกระจาย (Dispersion curve) ของการจัดวางตัวรับสัญญาณแต่ละแบบ (รูปที่ 11)

เมื่อได้กราฟการกระจายตัวแล้วต้องนำข้อมูลที่ได้ออกไปแปลงค่าเป็นกราฟความเร็วคลื่นเฉือนกับความถี่ (รูปที่ 12) เมื่อได้กราฟความเร็วคลื่นเฉือนของแต่ละรูปแบบการวางตัวรับสัญญาณมาแล้วสามารถนำข้อมูลที่ได้ออกมาเปรียบเทียบกับค่าความเร็วคลื่นเฉือนที่ได้จากวิธี Active MASW และ Downhole seismic



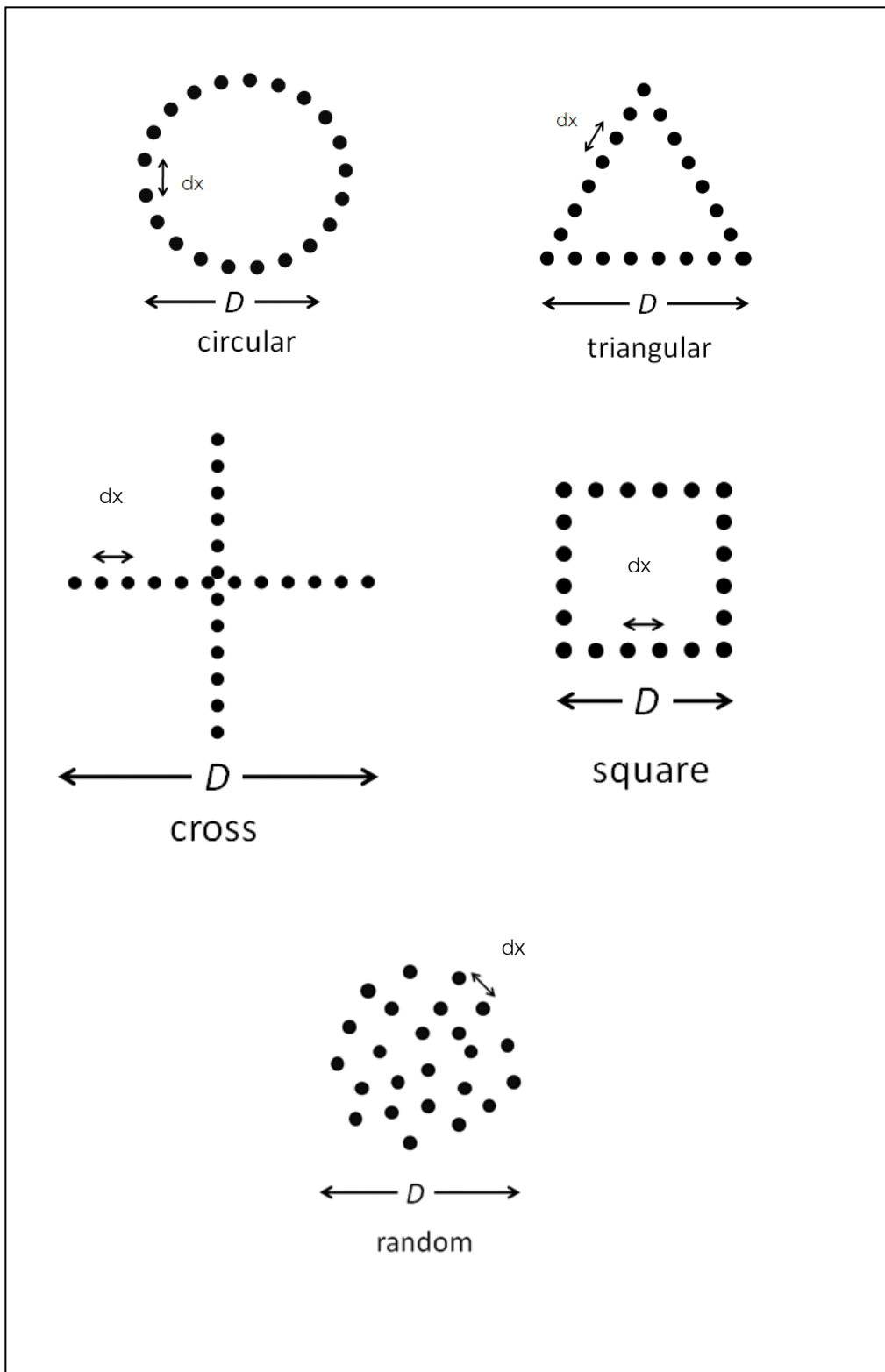
รูปที่ 8 Active MASW จะต้องมีตัวกำเนิดคลื่นเช่น sledge hammer

(<http://www.masw.com>)

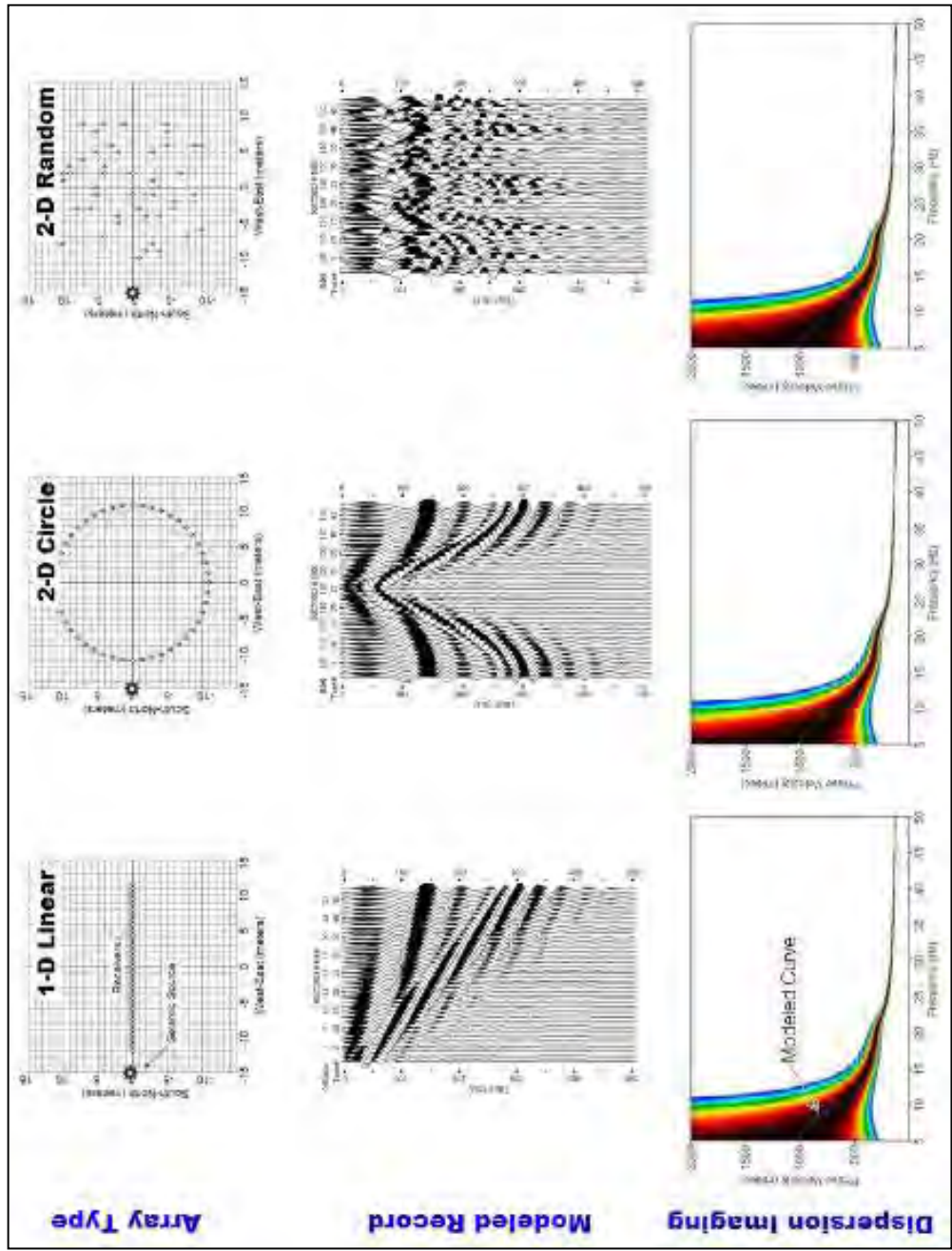


รูปที่ 9 Passive Remote MASW จะใช้คลื่นจากรถบริเวณรอบๆ ส่วน Passive Roadside MASW

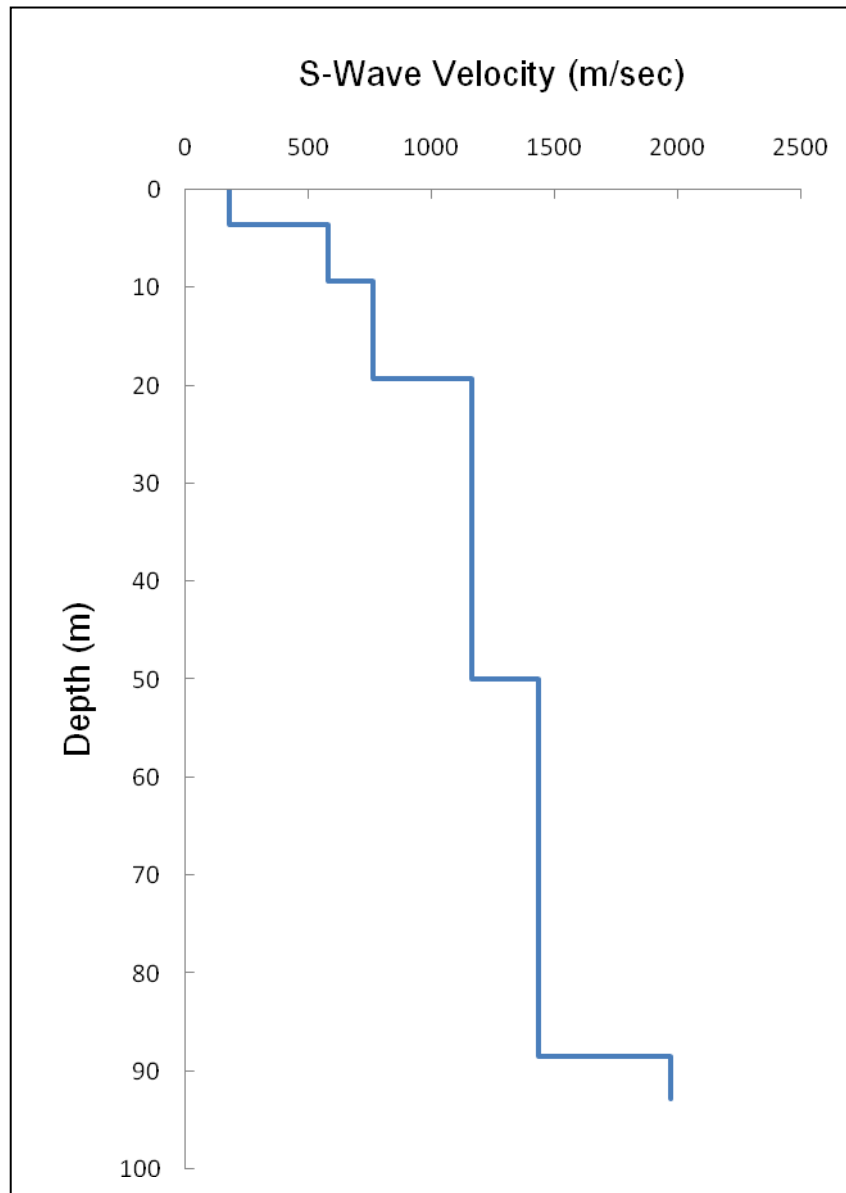
ใช้คลื่นจากรถและตัวกำเนิดคลื่นโดยตรงเช่น Sledge hammers (Park et al, 2008)



รูปที่ 10 การวางตัวรับสัญญาณของวิธี passive remote MASW



รูปที่ 11 ข้อมูลจากการวางตัวรับสัญญาณ 3 ประเภท (ซ้าย) roadside (กลาง) circle (ขวา) random
 (<http://www.masw.com>)



รูปที่ 12 กราฟแสดงข้อมูลความเร็วคลื่นเฉือนเทียบกับความลึก (<http://www.masw.com>)

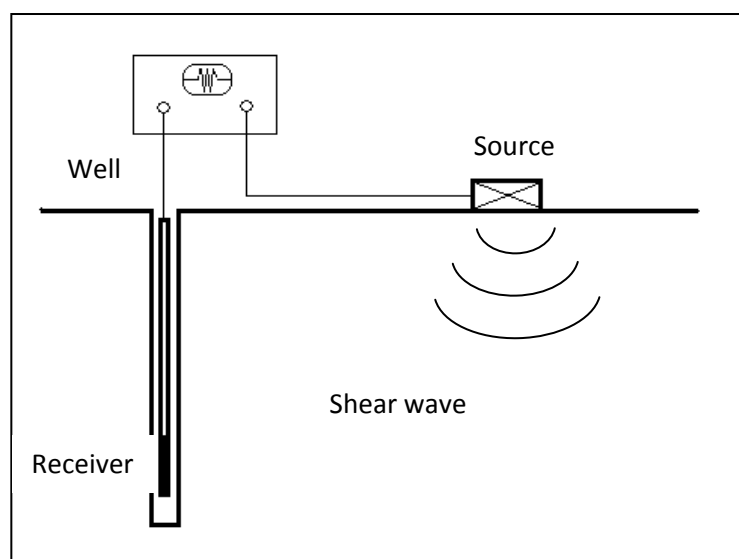
2.2 นิยามศัพท์

Passive MASW (Passive multichannel analysis of surface wave): วิธีการวิเคราะห์คลื่นพื้นผิว (surface wave) จากหลายช่องรับสัญญาณเพื่อให้ได้ข้อมูลความเร็วคลื่นเฉือน (shear-wave velocity; V_s) โดยใช้ตัวกำเนิดสัญญาณจากแรงสั่นสะเทือนของการจราจร การทำงานของเครื่องจักร และกิจกรรมอื่นๆที่มนุษย์สร้างขึ้น

Surface wave: คลื่นพื้นผิว คือ คลื่นที่มีความถี่ต่ำ มีพลังงานมาก เคลื่อนที่ช้ากว่าคลื่นในตัวกลาง (Body wave) โดยปกติแล้วทำตัวเป็นคลื่นรบกวน (noise) และบดบังสัญญาณของคลื่นตัวกลาง แบ่งเป็น 2 ประเภทคือ Rayleigh wave (ground roll) และ Love wave

Shear (S) wave: คลื่นเฉือนหรือคลื่นทุติยภูมิจัดเป็นคลื่นในตัวกลาง (body wave) ประเภทหนึ่งซึ่งอาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่ แต่การเคลื่อนที่ของอนุภาคนั้นจะตั้งฉากกับทิศทางของคลื่น คลื่นเฉือนเคลื่อนที่ช้ากว่าคลื่นปฐมภูมิ (P wave)

Downhole seismic: การตรวจวัดความเร็วคลื่นเฉือน (V_s) ในแนวตั้งตามความลึกของหลุมเจาะ โดยหย่อนตัวรับสัญญาณลงไปในหลุมเจาะซึ่งเราทราบความลึกและมีตัวกำเนิดคลื่นอยู่ที่พื้นผิว (รูปที่ 13) โดยทั่วไปมักสมมติให้คลื่นเคลื่อนที่ในแนวตั้ง (มุมตกกระทบมีค่า 0 องศา) แต่ถ้าในการตรวจวัดระดับต้นจะต้องพิจารณามุมตกกระทบเพราะคลื่นไม่ได้เคลื่อนที่ในแนวตั้งแล้ว จากการศึกษาพบว่าความเร็วคลื่นเฉือน (V_s) มีค่าเพิ่มขึ้นตามความลึกของชั้นดิน (สุพจน์ เตชวรสินสกุล, 2549)



รูปที่ 13 การเก็บข้อมูล Downhole seismic

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Park et al., 2004 ศึกษาว่า passive MASW ให้ผลอย่างไรเมื่อเทียบกับ active MASW โดยศึกษาบริเวณสนามฟุตบอลของ University of Kansas ใช้ตัวรับสัญญาณ 48 ตัววางแบบ cross-layout ระยะห่างของตัวรับสัญญาณ 5 เมตร ความถี่ของตัวรับสัญญาณ 4.5 เฮิรตซ์ ผลการทดสอบสรุปว่าสามารถหาค่าความเร็วคลื่นได้ลึกถึงประมาณ 90 เมตร ซึ่งมากกว่าการสำรวจแบบ Active MASW เกือบเท่าตัว

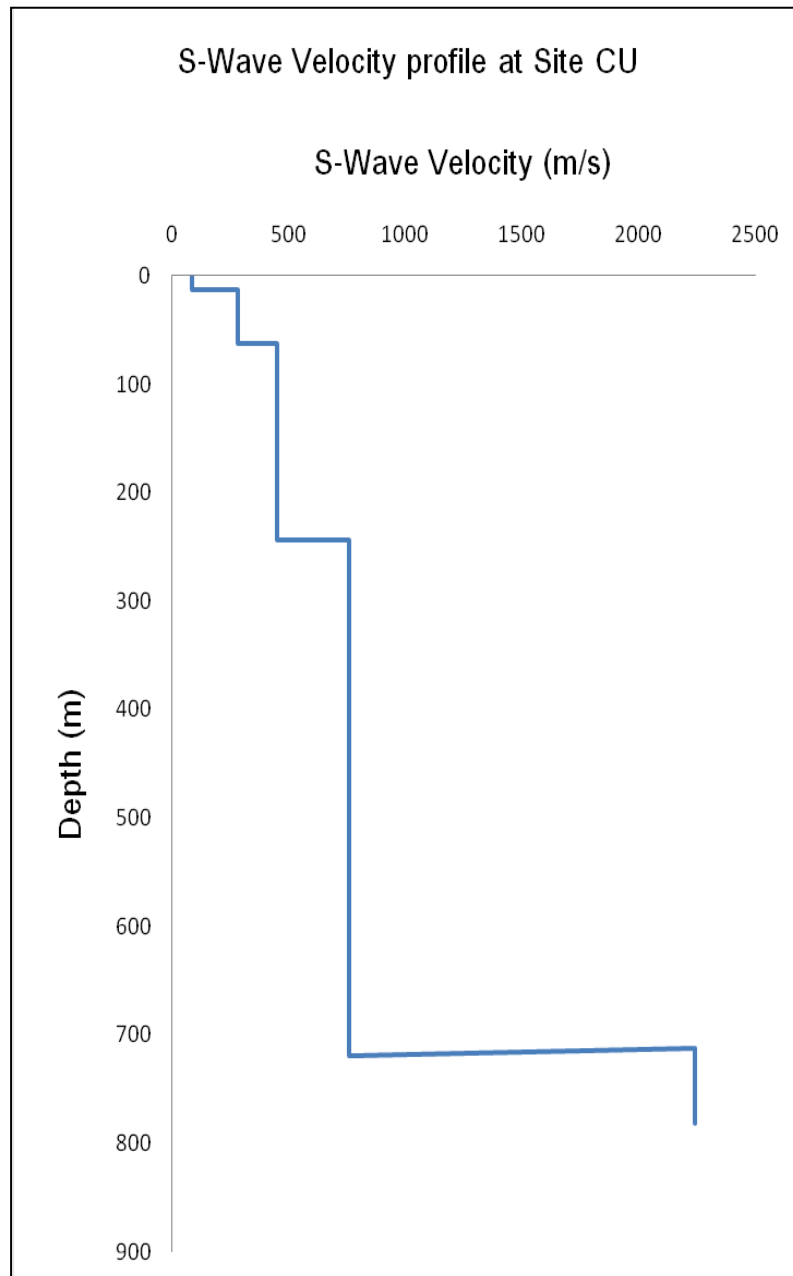
Arai et al., 2002 ศึกษาชั้นหินฐาน (Bed rock) ของที่ราบลุ่มเจ้าพระยา (Chao Phraya Plain) โดยใช้วิธีการสำรวจแบบ Microtremors ซึ่งมีวิธีการเก็บข้อมูลและการประมวลผลคล้ายคลึงกับวิธี passive remote MASW พื้นที่ศึกษาบริเวณสนามหน้าพระบรมรูปสองรัชกาล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้ข้อมูลความลึกสูงสุด 800 เมตร (รูปที่ 14)

Ashford et al., 1999 ศึกษาหาค่าความเร็วคลื่นเฉือนของชั้นดินกรุงเทพฯ ด้วยวิธี Downhole seismic เป็นความร่วมมือระหว่างจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและ University of California, San Diego (UCSD) พื้นที่ศึกษาได้แก่ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และสถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร (SIIT) โดยการเจาะหลุมและนำตัวรับสัญญาณหย่อนลงไปหลุมที่เราทราบความลึกเพื่อรับสัญญาณคลื่นผิวดินโดยตรงได้ความลึก 60 เมตร (รูปที่ 15)

Luangthavornkul, 2007 ศึกษาเกี่ยวกับตัวแปรที่เหมาะสมสำหรับการเก็บข้อมูลคลื่นผิวดินเพื่อการสำรวจแบบ MASW สำหรับชั้นดินของกรุงเทพฯ เนื่องจากตัวแปรที่เหมาะสมมีความสำคัญสำหรับการเก็บข้อมูลคลื่นพื้นผิวซึ่งส่งผลต่อลักษณะของกราฟการกระจาย (dispersion curve) ซึ่งผลลัพธ์ของกราฟการกระจาย (dispersion curve) นั้นส่งผลให้ค่าความเร็วคลื่นเฉือนมีความน่าเชื่อถือ จากการศึกษพบว่าตัวแปรที่ให้ค่าที่ดีที่สุดสำหรับชั้นดินกรุงเทพฯ ได้แก่ ค้อน 14 ปอนด์ ตัวรับสัญญาณ 10 เฮิรตซ์ 24 ตัว ระยะห่างระหว่างตัวรับสัญญาณ 1 ถึง 2 เมตร และระยะห่างจากตัวกำเนิดสัญญาณ 5 ถึง 10 เมตร

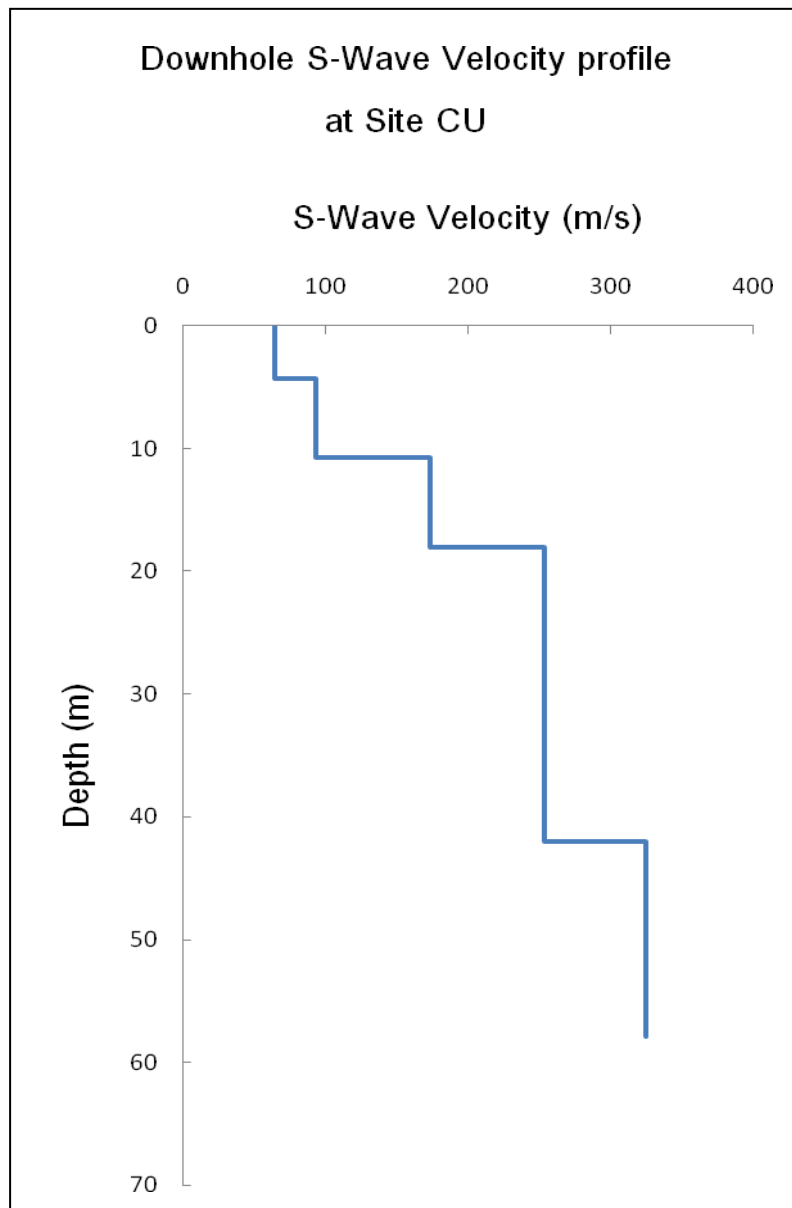
Juntamat, 2007 ศึกษาวิธีการหาค่าความเร็วคลื่นเฉือนจากวิธีการวิเคราะห์คลื่นผิวดินแบบหลายช่องสัญญาณเปรียบเทียบกับค่าความเร็วคลื่นเฉือนจากวิธี Downhole seismic โดยมีการเปรียบเทียบค่าความเร็วคลื่นเฉือนที่ได้จากทั้งสองวิธีใช้เกณฑ์ในการเปรียบเทียบคือ การจำแนกชนิดของดินโดยใช้ NEHRP site classification (BSSC, 2003) และค่าความต่างเฉลี่ย (Average relative difference) ผลการเปรียบเทียบพบว่าค่าความเร็วคลื่นเฉือนมีค่าต่างกันน้อยกว่า 13 เปอร์เซ็นต์ และผลการเปรียบเทียบจากการจำแนกชนิดดินมีค่าต่างกันน้อยมาก (รูปที่ 16) ดังนั้นการหาค่าความเร็วคลื่นเฉือนจากวิธีวิเคราะห์คลื่น

ผิวดินแบบหลายช่องสัญญาณจึงมีความน่าเชื่อถือ และวิธีนี้เป็นวิธีที่ง่ายสิ้นเปลืองเวลาและงบประมาณในการเก็บข้อมูลน้อยกว่าเมื่อเทียบกับวิธีวัดจากหลุมเจาะ



รูปที่ 14 ค่าความเร็วคลื่นเฉือนของชั้นดินกรุงเทพฯที่ได้จากวิธี Microtremors บริเวณจุฬาลงกรณ์

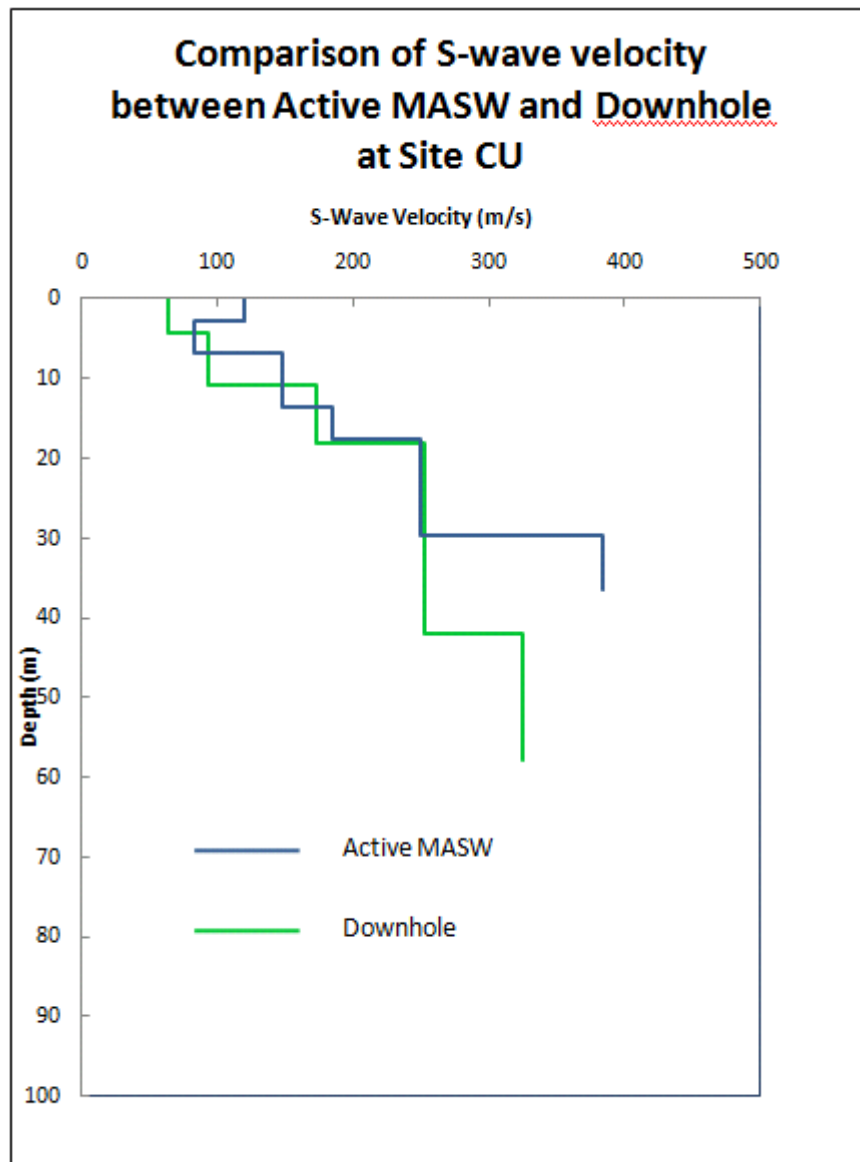
มหาวิทยาลัย (Arai et al., 2002)



รูปที่ 15 ค่าความเร็วคลื่นเฉือนของชั้นดินกรุงเทพฯที่ได้จากวิธี Downhole seismic บริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (Ashford et al., 1999)

ตารางที่ 2 การจำแนกดิน (soil classification) โดยวิธี NEHRP (BSSC, 2003)

Soil Type	General description	Vs (m/s)
A	Hard rock	$V_s > 1500$
B	Rock	$760 < V_s < 1500$
C	Hard/stiff/very stiff soils; most gravel	$360 < V_s < 760$
D	Sand silts or stiff/very stiff clays, some gravels. Having average blow counts of $15 \leq N \leq 50$ Or average Shear strength of $50\text{kPa} \leq S \leq 100\text{kPa}$	$180 < V_s < 360$
E	Having thickness lower than 3 meters and $PI > 20$, $w \geq 40\%$ and $s_u < 25 \text{ kPa}$ soft clay	$V_s < 180$
F	Need specific calculations	

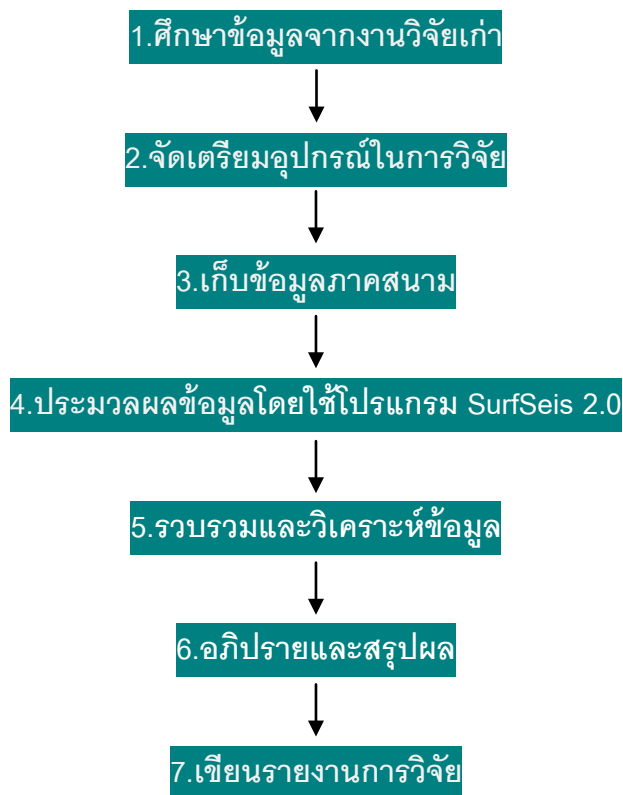


รูปที่ 16 ค่าความเร็วคลื่นเฉือนเทียบกับขงลึกของวิธี Active MASW และ Down seismic

(Juntamat, 2007)

บทที่ 3: ขั้นตอนการวิจัย

3.1 ลำดับขั้นตอนการปฏิบัติงาน

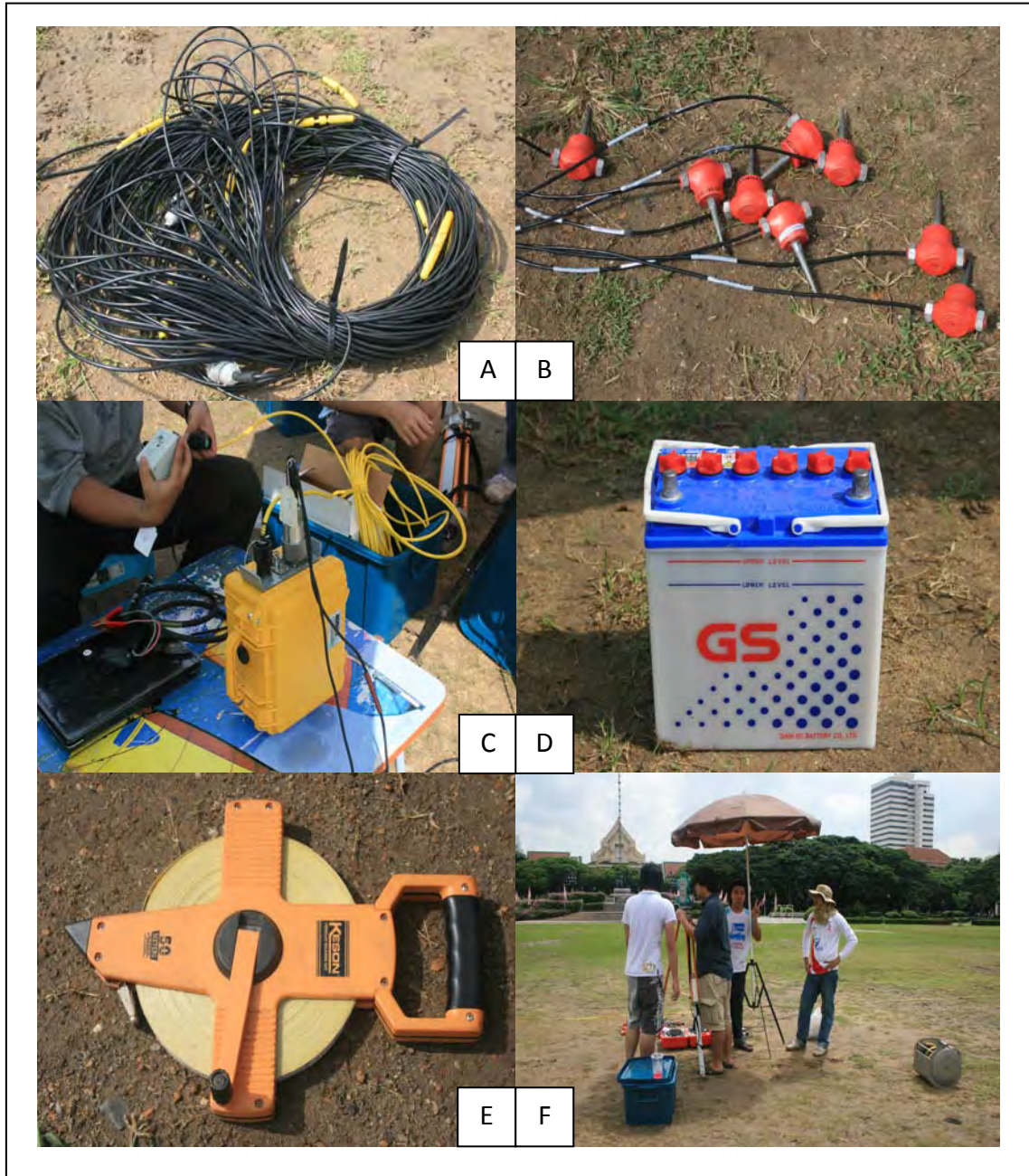


3.2 ศึกษาข้อมูลจากงานวิจัยเก่า

ศึกษาข้อมูลงานวิจัยเก่าและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเรื่อง Passive MASW ได้ข้อสรุปว่าพื้นที่ศึกษาควรเป็นพื้นที่โล่งกว้าง มีการจราจรหนาแน่น ควรใช้ตัวรับสัญญาณขนาด 4.5 เฮิร์ตซ์ และระยะห่างระหว่างตัวรับสัญญาณตั้งแต่ 5 ถึง 15 เมตร

3.3 จัดเตรียมอุปกรณ์ในการวิจัย

จัดเตรียมอุปกรณ์ในการเก็บข้อมูลภาคสนาม อุปกรณ์ที่ใช้ได้แก่ สายเคเบิลข้อต่อยาว 15 เมตร ซึ่งทางภาควิชามีสายเคเบิลที่มีความยาวแค่ 5 เมตร จึงต้องยืมสายเคเบิลจากภาควิชาวิทยาศาสตร์พื้นพิภพ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ตัวรับสัญญาณ 4.5 เฮิร์ตซ์จำนวน 24 ตัว เครื่องวัดความไหวสะเทือน (seismograph) และคอมพิวเตอร์ แบตเตอรี่ 12 โวลต์ ตลับเมตร 50 เมตรและกล้องสำรวจ (รูปที่ 17)



รูปที่ 17 a.สายเคเบิล b.ตัวรับสัญญาณ 4.5 เฮิรตซ์ c.เครื่องวัดความไหวสะเทือน (seismograph) และคอมพิวเตอรื d.แบตเตอรี่ 12 โวลต์ e.ตลับเมตร 50 เมตร f.กล่องสำรวจ

3.4 เก็บข้อมูลภาคสนาม

เก็บข้อมูลภาคสนามเมื่อวันที่ 22 ตุลาคม 2552 บริเวณสนามหน้าพระบรมรูปสองรัชกาล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (รูปที่ 18) เริ่มเก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 10.00 น. ถึงเวลา 13.00 น. โดยเริ่มจากการเก็บข้อมูลแบบ Active MASW เป็นอย่างแรก ตามด้วยวิธี Passive Circular, Passive Triangular และ Passive Cross



รูปที่ 18 แสดงการเก็บข้อมูลคลื่นผิวดิน

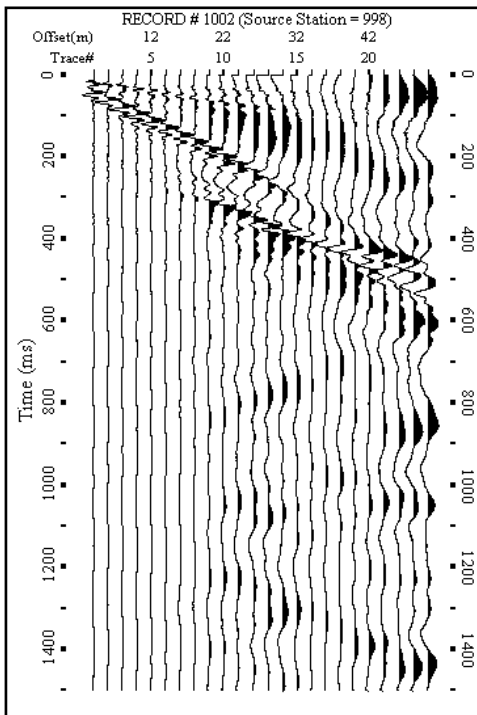
ผลการเก็บข้อมูลภาคสนาม (ตารางที่ 4) วันพฤหัสบดี ที่ 22 ตุลาคม 2552 บริเวณสนามหน้าพระบรม
รูปสองรัชกาล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เริ่มเก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 10.00 น. ถึงเวลา 13.00 น. โดยเริ่มจาก
การเก็บข้อมูลแบบ Active MASW ตามด้วยวิธี Passive Circular, Passive Triangular และ Passive
Cross

ตารางที่ 3 แสดงข้อมูลการเก็บข้อมูลคลื่นผิวพื้น (surface wave)

Survey type	Active MASW	Passive Circular	Passive Triangular	Passive Cross
Acquisition	24 channel	24 channel	24 channel	24 channel
Source	12-lb hammer	Traffic	Traffic	Traffic
Geophones	4.5Hz	4.5Hz	4.5Hz	4.5Hz
Receiver array	linear	circular	triangular	cross
Dimension	48 m	80 m	80 m	60 m
Receiver spacing	2 m	10.5 m	10 m	5 m
Sampling interval	4 ms	4 ms	4 ms	4 ms
Recording time	2 s	35 s	35 s	35 s
Record numbers	1000.dat - 1005.dat	2000.dat - 2007.dat	3000.dat - 3005.dat	4000.dat - 4005.dat

ข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูลภาคสนาม

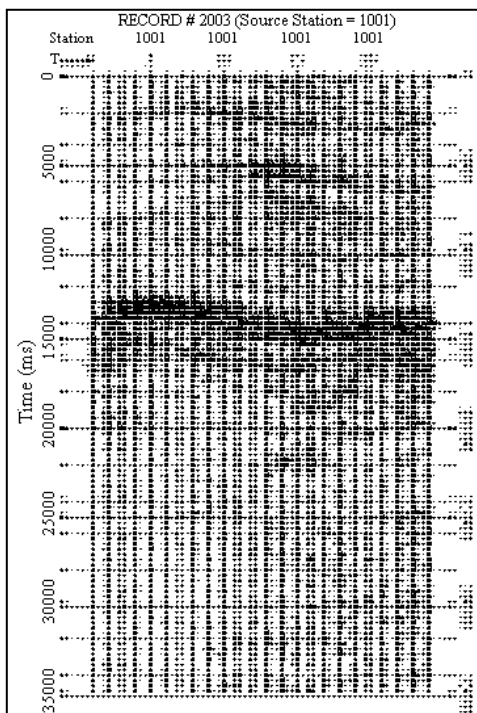
1) ข้อมูลที่ได้จากวิธี Active MASW (รูปที่ 19)



- ระยะห่างระหว่างตัวกำเนิดสัญญาณและตัวรับสัญญาณตัวแรก (offset) คือ 2, 5 และ 7 เมตร
- ตัวรับสัญญาณ 4.5 เฮิรตซ์ ระยะห่างระหว่างตัวรับสัญญาณ (spacing) คือ 2 เมตร จำนวน 24 ตัว
- ระยะเวลาที่เก็บข้อมูลต่อหนึ่งรอบ คือ 2 วินาที
- ไฟล์ข้อมูล 1000-1005
- * เก็บข้อมูล Active MASW เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับ Passive MASW ที่ทำการศึกษา

รูปที่ 19 ข้อมูลคลื่นไหวสะเทือน (seismic data) ของวิธี Active MASW

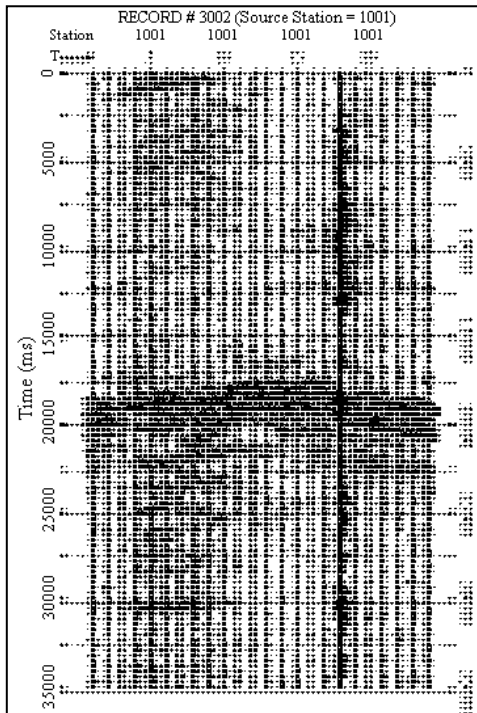
2) ข้อมูลที่ได้จากวิธี Passive Circular (รูปที่ 20)



- ตัวรับสัญญาณชนิดเดียวกัน จำนวนเท่ากัน แต่ละตัววางห่างกันทำมุม 15 องศา
- รัศมี 40 เมตร ระยะห่างระหว่างตัวรับสัญญาณ (spacing) คือ 10.5 เมตร
- ระยะเวลาที่เก็บข้อมูลต่อหนึ่งรอบ คือ 35 และ 100 วินาที
- ไฟล์ข้อมูล 2000-2007

รูปที่ 20 ข้อมูลคลื่นไหวสะเทือน (seismic data) ของวิธี Passive Circular

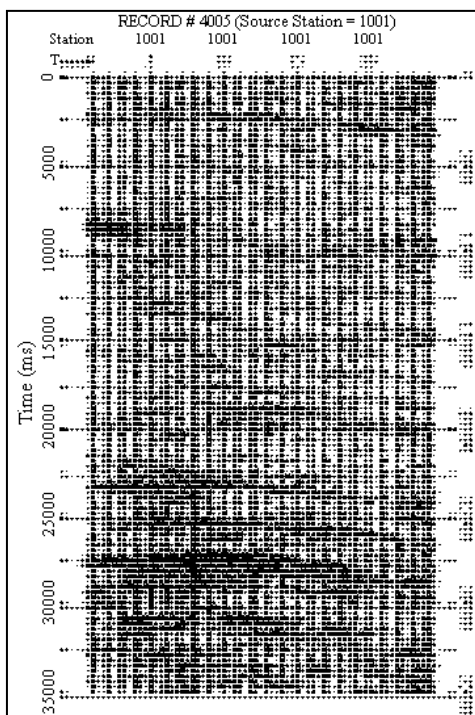
3) ข้อมูลที่ได้จากวิธี Passive Triangular (รูปที่ 21)



- ตัวรับสัญญาณชนิดเดียวกัน จำนวนเท่ากัน วางด้านละ 8 ตัว
- ความกว้างสูงสุด 80 เมตร ระยะห่างระหว่างตัวรับสัญญาณ (spacing) คือ 10 เมตร
- ระยะเวลาที่เก็บข้อมูลต่อหนึ่งรอบ คือ 35 และ 100 วินาที
- ไฟล์ข้อมูล 3000-3005

รูปที่ 21 ข้อมูลคลื่นไหวสะเทือน (seismic data) ของวิธี Passive Triangular

4) ข้อมูลที่ได้จากวิธี Passive Cross (รูปที่ 22)

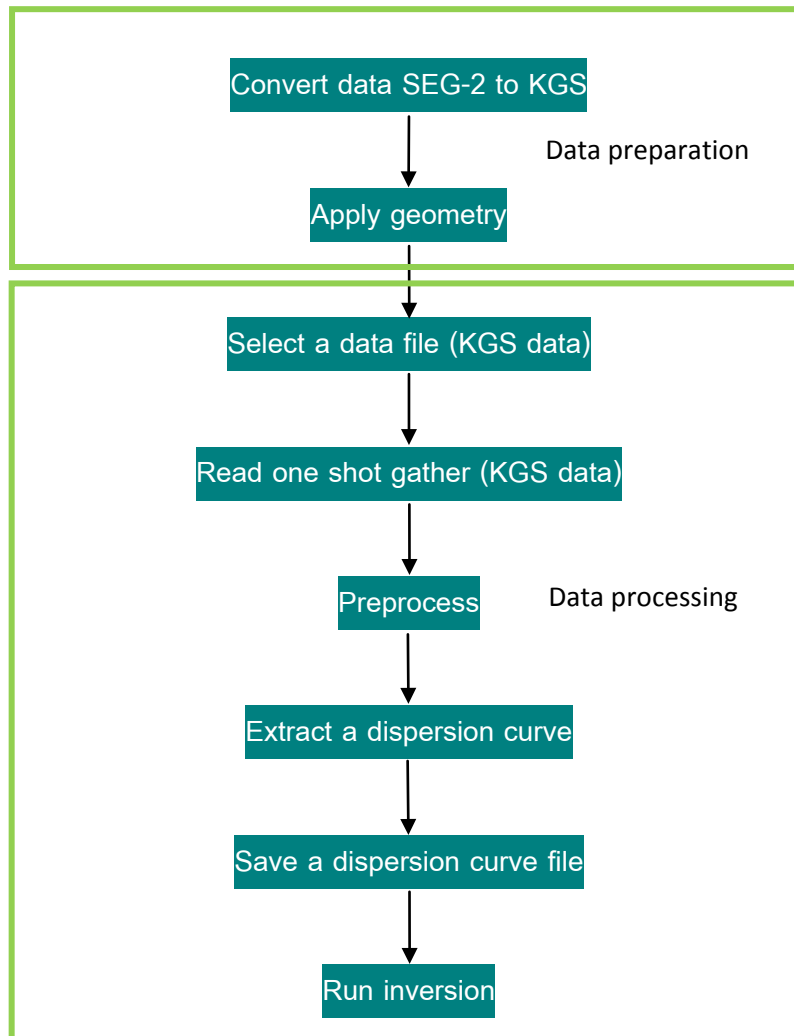


- ตัวรับสัญญาณชนิดเดียวกัน จำนวนเท่ากัน วางด้านละ 12 ตัว เป็นรูปตัว L
- ความกว้างสูงสุด 60 เมตร ระยะห่างระหว่างตัวรับสัญญาณ (spacing) คือ 5 เมตร
- ระยะเวลาที่เก็บข้อมูลต่อหนึ่งรอบ คือ 35 และ 100 วินาที
- ไฟล์ข้อมูล 4000-4006

รูปที่ 22 ข้อมูลคลื่นไหวสะเทือน (seismic data) ของวิธี Passive Cross

3.5 ประมวลผลข้อมูลโดยใช้โปรแกรม SurfSeis 2.0

ในขั้นตอนนี้สามารถจำแนกได้เป็น 2 ส่วนคือ การเตรียมข้อมูลและการประมวลผลข้อมูล (รูปที่ 23)

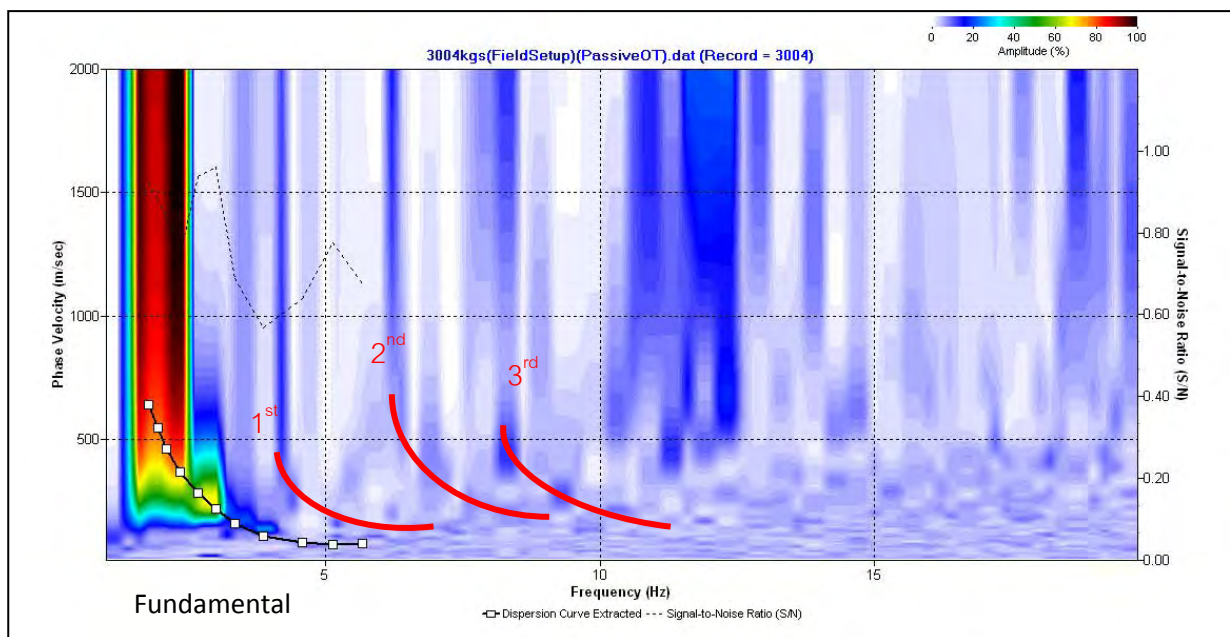


รูปที่ 23 ขั้นตอนการประมวลผลข้อมูล (Ivanov, 2000)

3.6 รวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล

ในการศึกษาหาค่าความเร็วคลื่นเฉือนนั้นควรจะต้องมีข้อมูลคลื่นผิวดินที่ชัดเจน โดยข้อมูลคลื่นผิวดินจะแสดงผลออกมาในรูปแบบกราฟการกระจาย(รูปที่ 24) เราต้องเลือกกราฟที่มีรูปแบบพื้นฐาน (Fundamental mode) ซึ่งลักษณะเฉพาะของ Fundamental mode ได้แก่

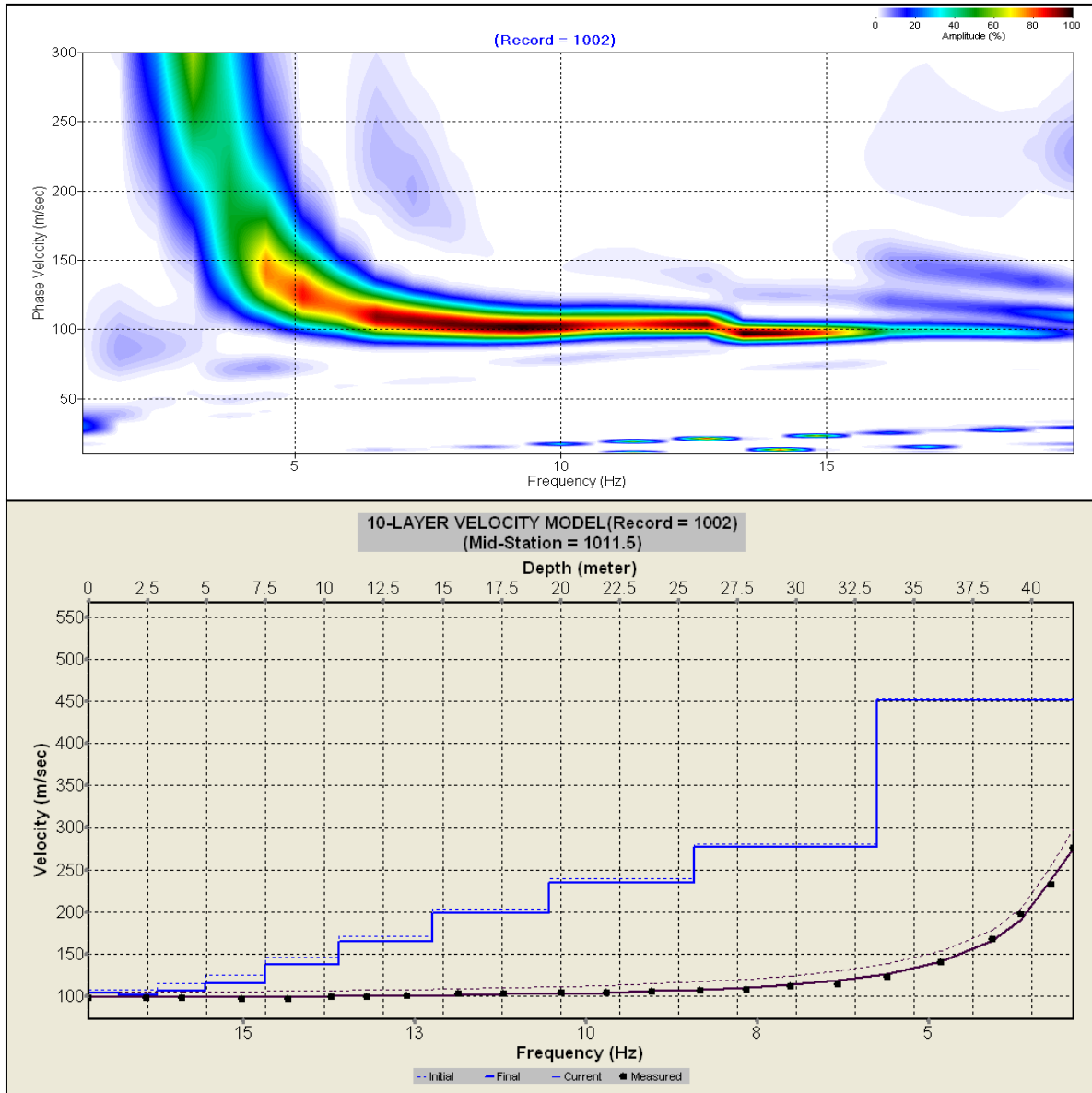
- 1).มีความคมชัดสูง (high amplitude)
- 2).ความถี่และความเร็วต่ำ (low frequency and low phase velocity)
- 3) มีความต่อเนื่องที่ดีและแยกออกจากโหมดอื่นชัดเจน



รูปที่ 24 กราฟการกระจายที่แสดง fundamental mode, 1st mode, 2nd mode และ 3rd mode

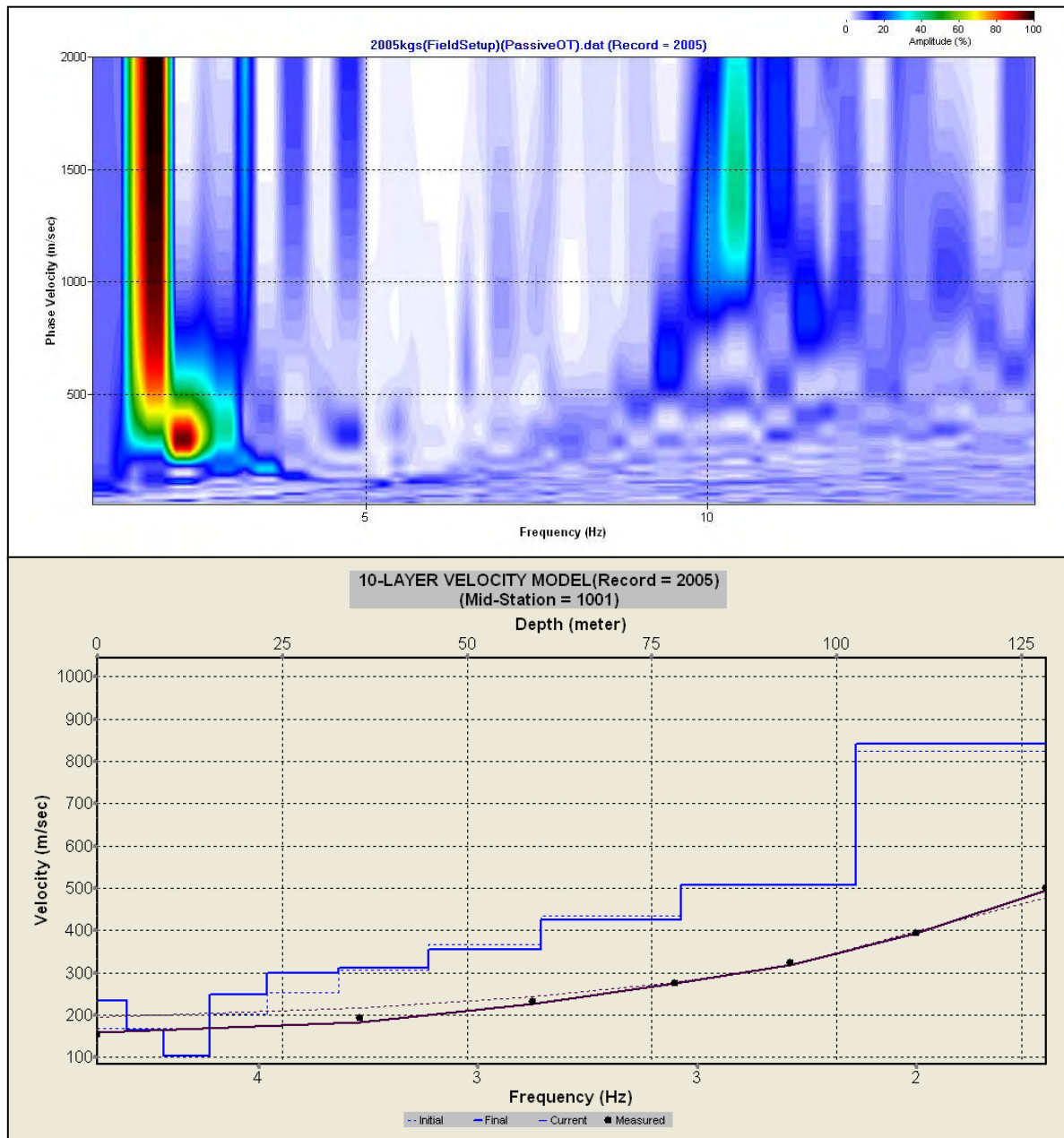
บทที่ 4: การวิเคราะห์และประมวลผล

4.1 วิธี Active MASW ข้อมูลที่ได้จากกราฟการกระจายมีแนวโน้มชัดเจน ช่วงชั้นความถี่ (frequency content) ตั้งแต่ 4.2-15.5 เฮิรตซ์ จากนั้นนำไปเข้าสู่กระบวนการคำนวณย้อนกลับความลึกที่ได้ประมาณ 30 เมตร (รูปที่ 25)



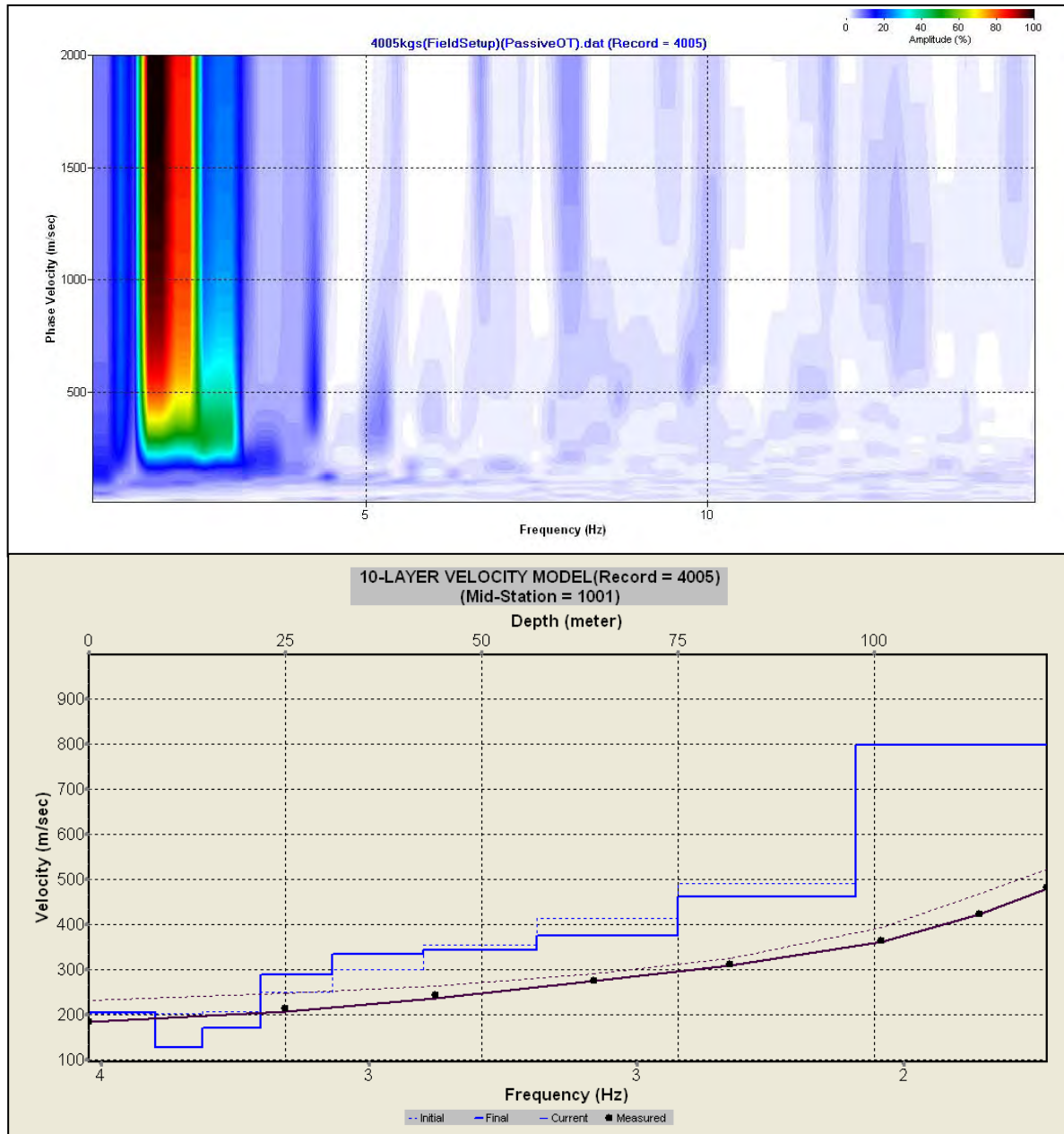
รูปที่ 25 กราฟการกระจายและความลึกของวิธี Active MASW

4.2 วิธี Passive Circular ข้อมูลที่ได้จากกราฟการกระจายมีแนวโน้มชัดเจน ช่วงชั้นความถี่ (frequency content) ตั้งแต่ 1.7-3.9 เฮิรตซ์ จากนั้นนำไปเข้าสู่กระบวนการคำนวณย้อนกลับความลึกที่ได้ประมาณ 100 เมตร (รูปที่ 26)



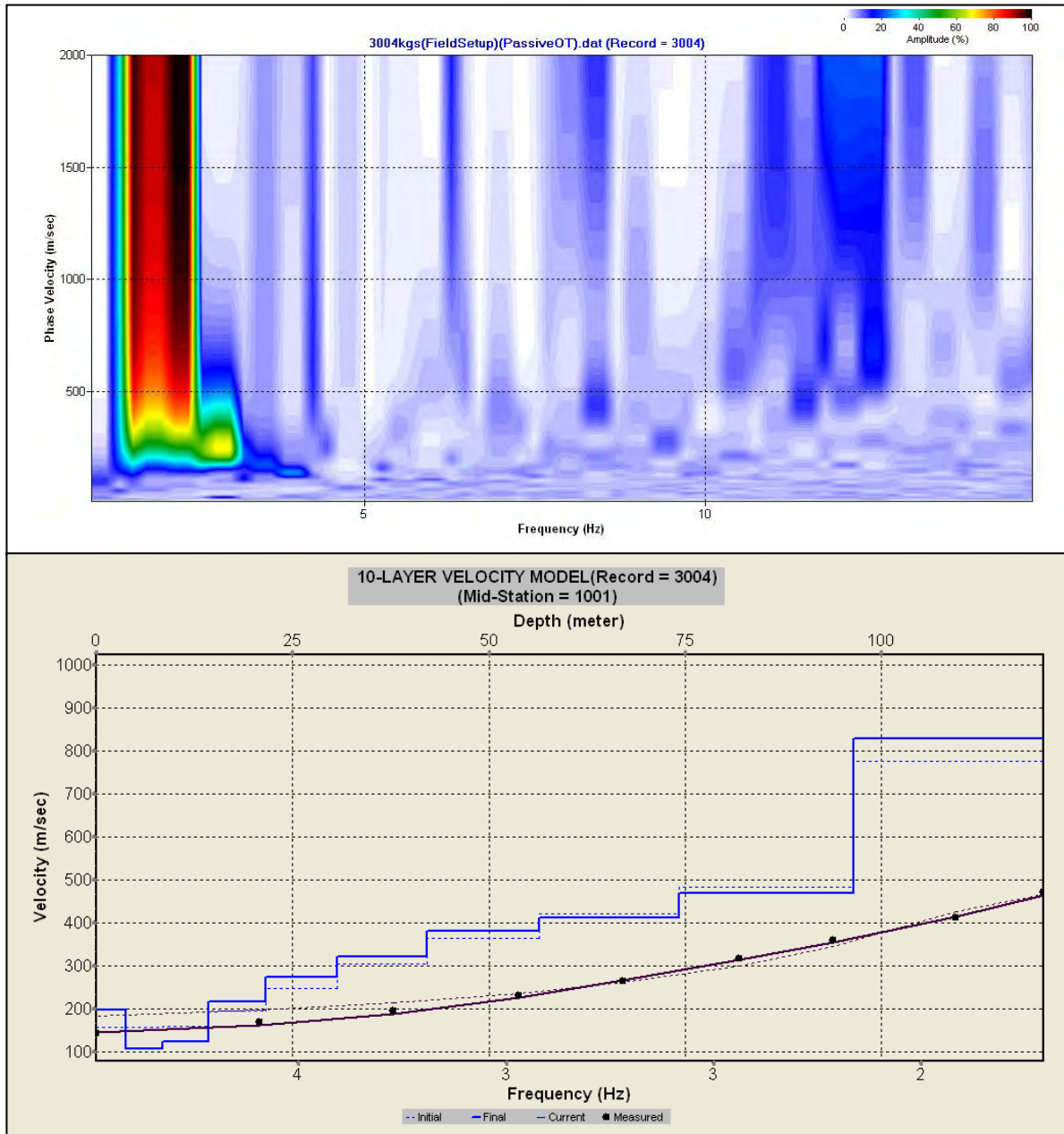
รูปที่ 26 กราฟการกระจายและความลึกของวิธี Passive Circular

4.3 วิธี Passive Cross ข้อมูลที่ได้จากกราฟการกระจายมีแนวโน้มชัดเจน ช่วงชั้นความถี่ (frequency content) ตั้งแต่ 1.7-3.5 เฮิรตซ์ จากนั้นนำไปเข้าสู่กระบวนการคำนวณย้อนกลับความลึกที่ได้ประมาณ 100 เมตร (รูปที่ 27)



รูปที่ 27 กราฟการกระจายและความลึกของวิธี Passive Cross

4.4 วิธี Passive Triangular ข้อมูลที่ได้จากกราฟการกระจายมีแนวโน้มชัดเจน ช่วงชั้นความถี่ (frequency content) ตั้งแต่ 1.7-3.9 เฮิรตซ์ จากนั้นนำไปเข้าสู่กระบวนการคำนวณย้อนกลับความลึกที่ได้ ประมาณ 100 เมตร (รูปที่ 28)



รูปที่ 28 กราฟการกระจายและความลึกของวิธี Passive Triangular

บทที่ 5: การอภิปรายและสรุปผล

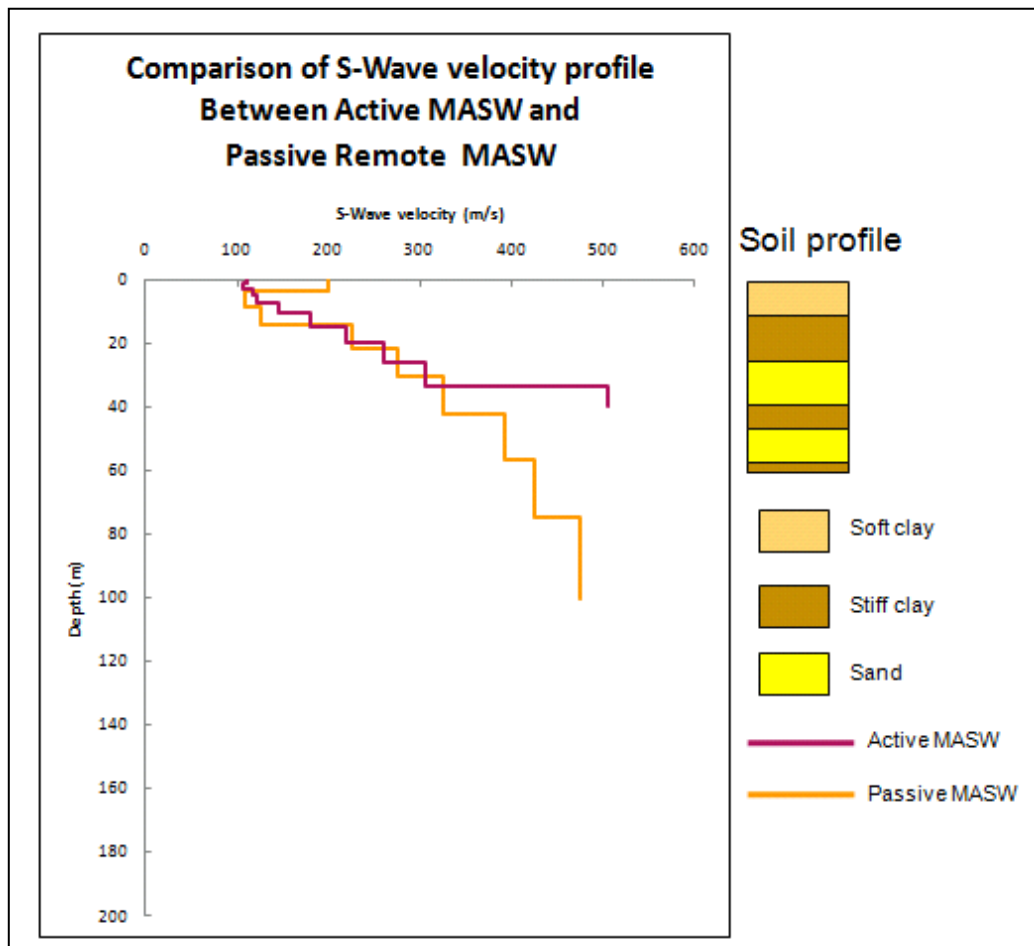
เมื่อทำการวิเคราะห์และประมวลผลเสร็จแล้ว จึงนำข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบกัน พบว่าทั้ง 3 วิธีให้ค่า frequency content และความลึกไม่ต่างกัน จึงเลือกเพียง 1 กราฟนำไปเปรียบเทียบกับวิธี Downhole seismic, Active MASW, Microtremors และตารางลำดับชั้นดินต่อไป

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากวิธี Passive Circular, Passive Cross และ Passive Triangular

Criteria	Circular	Triangular	Cross
Data preparation	โปรแกรมมีโมเดลรองรับสำหรับ circular array	ไม่มีโมเดลรองรับสำหรับ triangular array	ไม่มีโมเดลรองรับสำหรับ cross array
Dispersion curve analysis	กราฟมีแนวโน้มชัดเจน frequency content 1.7-3.9 Hz	กราฟมีแนวโน้มชัดเจน frequency content 1.7-3.9 Hz	กราฟมีแนวโน้มชัดเจน frequency content 1.7-3.5 Hz
Depth (m)	100	100	100

5.1 เปรียบเทียบข้อมูล Active MASW และ Passive MASW

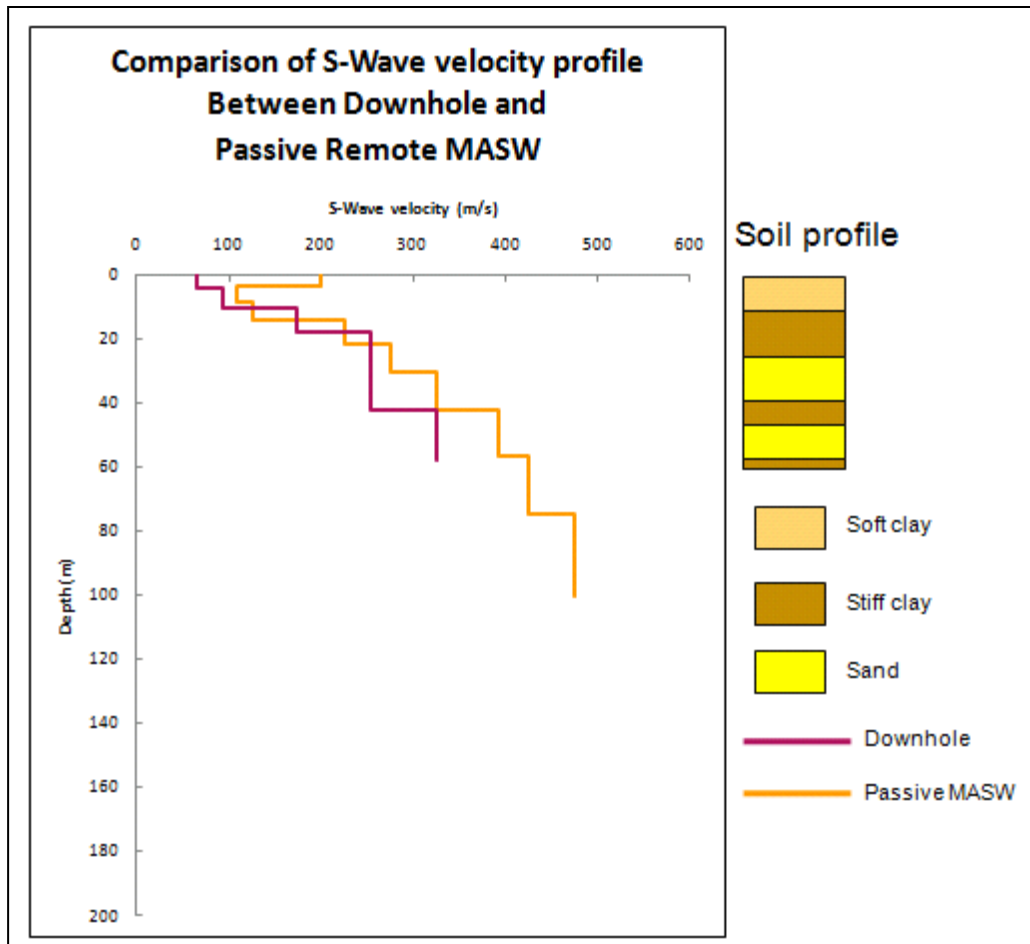
พบว่าในช่วง 0-5 เมตร Passive MASW มีความคลาดเคลื่อนสูง 5-30 เมตร ข้อมูลมีความน่าเชื่อถือ และตั้งแต่ 30 เมตรลงไป วิธี Active MASW ไม่สามารถเก็บข้อมูลได้ ทั้งสองวิธีสามารถตรวจวัดชั้นดินเหนียวและชั้นทรายชั้นที่ 1 ได้ (รูปที่ 29)



รูปที่ 29 เปรียบเทียบข้อมูล Active MASW และ Passive MASW

5.2 เปรียบเทียบข้อมูล Downhole seismic และ Passive MASW

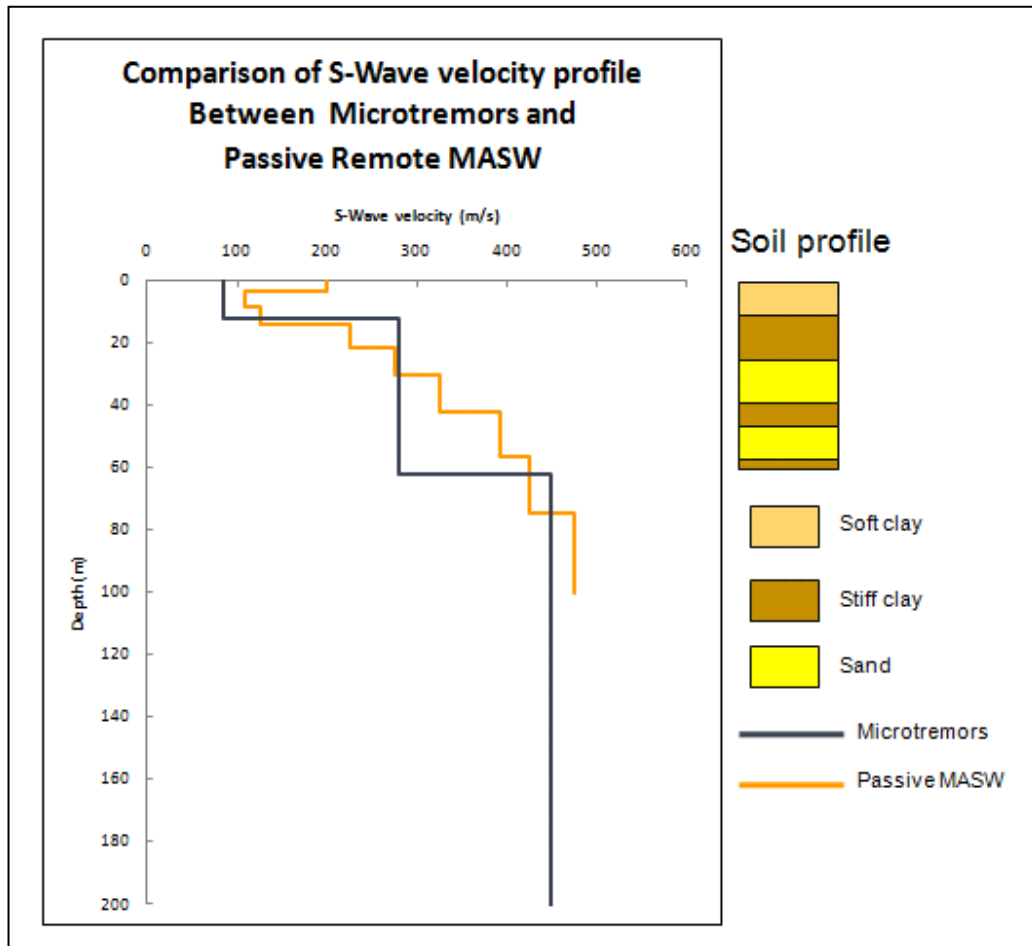
พบว่าในช่วง 0-5 เมตร Passive MASW มีความคลาดเคลื่อนสูง 5-6 เมตร ข้อมูลมีความน่าเชื่อถือ และตั้งแต่ 60 เมตรลงไป วิธี Downhole seismic ไม่สามารถเก็บข้อมูลได้ ทั้งสองวิธีสามารถตรวจวัดชั้นดินเหนียว ชั้นทรายชั้นที่ 1 และชั้นทรายชั้นที่ 2 ได้ (รูปที่ 30)



รูปที่ 30 เปรียบเทียบข้อมูล Downhole seismic และ Passive MASW

5.3 เปรียบเทียบข้อมูล Microtremors และ Passive MASW

พบว่าในช่วง 0-5 เมตร Microtremors และ Passive MASW มีความคลาดเคลื่อนสูง 5-100 เมตร ข้อมูลมีความน่าเชื่อถือ และตั้งแต่ 100 เมตรลงไป วิธี Passive MASW ไม่สามารถเก็บข้อมูลได้ วิธี Passive MASW สามารถตรวจวัดชั้นดินเหนียว ชั้นทรายชั้นที่ 1 และชั้นทรายชั้นที่ 2 ได้ ส่วนวิธี Microtremors นั้นใช้หาความลึกของชั้นหินฐานเพียงอย่างเดียว (รูปที่ 31)



รูปที่ 31 เปรียบเทียบข้อมูล Microtremors และ Passive MASW

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบค่าความเร็วคลื่นเฉือนด้วยวิธี Vs (30) วิธีการจำแนกชนิดดินด้วย NEHRP และวิธีหาค่าความแตกต่างเฉลี่ย

parameters	Downhole seismic			Active MASW			Microtremor		
	Passive (m/s)	Downhole seismic (m/s)	% difference	Passive (m/s)	Active (m/s)	% difference	Passive (m/s)	Microtremor (m/s)	% difference
V30(m/s)	173.6	133.4	30.1	173.6	177.95	2.44	173.6	142	22.25
NEHRP Vs<180	E type	E type	-	E type	E type	-	E type	E type	-
V overall	V60 235	V60 183	28.4	V30 173.6	V30 177.95	2.44	V100 291.4	V100 243.4	19.7
Average relative difference	(5.68%)			0.21%			2.19%		

5.4 สรุปผล

1. จากการศึกษาพบว่ารูปแบบการวางตัวรับสัญญาณไม่มีผลต่อการรับสัญญาณคลื่นผิวดินเพราะรูปแบบการวางตัวรับสัญญาณทั้ง 3 วิธีสามารถวางได้ครอบคลุมพื้นที่ ทำให้ข้อมูลความเร็วคลื่นเฉือนที่ได้มามีค่าใกล้เคียงกัน

2. จากวิธีการหาค่าความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยตั้งแต่ 0 ถึง 30 เมตร ($V_s(30)$) แล้วนำไปเทียบกับตารางการจำแนกชนิดของดินโดยใช้ NEHRP soil classification ทั้ง 4 วิธีมีค่าความเร็วคลื่นเฉือนน้อยกว่า 180 เมตรต่อวินาที จัดอยู่ใน soil type E ประเภทดินอ่อน (soft soil)

3. การเปรียบเทียบด้วยวิธีหาค่าความแตกต่างเฉลี่ย (Average relative difference) ทั้ง 3 ประเภทให้ค่าความแตกต่างเฉลี่ยไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าค่าความเร็วคลื่นเฉือนที่ได้จากวิธี Passive Remote MASW นั้นมีความน่าเชื่อถือ

4. ดังนั้นวิธี Passive Remote MASW จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง ในการสำรวจทางธรณีฟิสิกส์ที่สามารถนำมาใช้ในการสำรวจบริเวณที่มีการจราจรหนาแน่นอย่างเช่นในกรุงเทพฯ ได้

บทที่ 6: ปัญหาและข้อเสนอนแนะ

6.1 ปัญหาและอุปสรรค

1. ขั้นตอนการเก็บข้อมูล การวางตัวรับสัญญาณแบบกากบาท (cross) นั้นเนื่องจากมีสายเคเบิลที่สั้นเกินไปจึงไม่สามารถทำได้จึงวางตัวรับสัญญาณแบบมุมฉาก (L) แทน ซึ่งการรับสัญญาณมีทิศทางตั้งฉากและขนานกับถนนเช่นเดียวกับการวางตัวรับสัญญาณแบบกากบาท และมีผลเช่นเดียวกับการวางตัวรับสัญญาณแบบสี่เหลี่ยม (square) จึงเลือกทำเพียงอย่างเดียว

2. ไม่สามารถเก็บข้อมูลคลื่นผิวดินโดยการวางตัวรับสัญญาณแบบสุ่ม (random) ได้ เนื่องจากการวางตัวรับสัญญาณประเภทนี้ไม่มีเครื่องมือที่กำหนดตำแหน่งอย่างถูกต้อง ทำให้ยากต่อการนำไปวิเคราะห์และประมวลผลในขั้นตอนต่อไป

3. เนื่องจากตัวรับสัญญาณรับความถี่ได้ต่ำจึงทำให้ข้อมูลช่วง 0 ถึง 30 เมตร มีข้อมูลน้อยดั่งนั้นค่า Vs (30) ของวิธี Passive Remote MASW จึงมีค่าต่างจากวิธีอื่นสูง เนื่องจากคลื่นที่มีความถี่สูงจะอยู่บริเวณพื้นผิว ส่วนคลื่นความถี่ต่ำจะลงไปได้ลึกกว่า วิธี Passive Remote MASW จึงได้ข้อมูลที่ลึกกว่าวิธี Active MASW และวิธี Downhole seismic แต่ได้ข้อมูลน้อยกว่าวิธี Microtremor เพราะวิธีนี้รับความถี่ที่ต่ำกว่ามาก

6.2 ข้อเสนอนแนะ

1. จากผลการวิจัยวิธี Active MASW ให้ข้อมูลความเร็วคลื่นเฉือนในช่วง 0 ถึง 30 เมตรได้ดี และวิธี Passive Remote MASW ให้ข้อมูลความเร็วคลื่นเฉือนในช่วง 20 ถึง 100 เมตร จึงควรทำ combine ระหว่าง Active MASW และ Passive Remote MASW จะทำให้เราได้ข้อมูลตั้งแต่ 0 ถึง 100 เมตรที่แม่นยำมากขึ้น

บรรณานุกรม

- กรมทรัพยากรธรณี. 2550. ธรณีวิทยาประเทศไทย (พิมพ์ครั้งที่ 2 ฉบับปรับปรุง) โดยกรมทรัพยากรธรณี - กรุงเทพมหานคร: กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 628 หน้า.
- สุพจน์ เตชวรสินสกุล. 2549. พฤติกรรมของดินทางพลศาสตร์. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 248 หน้า.
- Arai, H. and Fumio, Y. 2002. Exploration of S-Wave Velocity Structure Using Microtremor Arrays in the Greater Bangkok, Thailand. Earthquake Disaster Mitigation Research Center (EDM) (15).
- Ashford, S.A., Jakrapiyannun, W. and Lukkunaprasit, P. 1997. Amplification of Earthquake Ground Motions in Bangkok. Final Report on Research Sponsored by the Royal Thai Government Public Works Department of Interior Ministry: 119.
- Building Seismic Safety Council. 2003. NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures. Part 1: Provision. FEMA 368, Federal Emergency Management Agency. Washington, D.C.
- Abt, D.L. "Seismology Introduction." 2007. [Online]. Available: <http://www.geo.brown.edu/People/Grads/abt/Tools/Seismology/SeismoIntro.htm>. [Accessed: March 1, 2010].
- Ivanov, J. 2000. SurfSeis Tutorial. Kansas: Kansas Geological Survey.
- Juntamat, P. 2007. Comparison of Shear-Wave Velocity Profiles of Bangkok Subsoils from MASW and Borehole Measurements. Bachelor of Science, Department of geology, Chulalongkorn University.
- Luangthavornkul, N. 2007. Determination of the masw field parameters for Bangkok subsoils. Bachelor of Science, Department of geology, Chulalongkorn University.
- MASW data. [online]. Available: <http://www.masw.com/>. [Accessed: 2009, July 8].
- Park, C.B., Miller, R.D., and Xia, J. 1999. Multichannel Analysis of Surface waves (MASW). Geophysics 64(3): 800-808.
- Park, C., R. Miller, D. Laflen, N. Cabrillo, J. Ivanov, B. Bennett, and R. Huggins, 2004. Imaging Dispersion Curves of Passive Surfacewaves. Society of Exploration Geophysics: 1357-1360.

Park, C.B., and Miller, R.D, 2008. Roadside Passive Multichannel Analysis of Surface waves (MASW). Journal of Environmental and Engineering Geophysics 13(1): 1-11.

Shibuya, S., Tamrakar, S.B., and Manakul, W. 2003. Geotechnical Hazards in Bangkok Present and Future. Lowland Technology International 5(1): 2-7.