

แผนที่ความเร็วคลื่นเฉือนระดับตื้น และการแบ่งชนิดของดิน
เพื่อประเมินผลกระทบจากแผ่นดินไหว บริเวณอำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย

นางสาว สราลี จันทร์หนู

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2554

วันที่ส่ง/...../.....
วันที่อนุมัติ/...../.....

.....

อาจารย์ ดร. สุรนภ ธิติมากร
อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลือจากอาจารย์ ดร.ฐานบ ธิติมากร อาจารย์
ที่ปรึกษาโครงการวิจัย ซึ่งกรุณาให้ความรู้และให้คำแนะนำตลอดการทำงานวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณอาจารย์ ภาควิชาการนิเวศวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ที่ได้ให้วิชาความรู้ รวมถึงประสบการณ์ต่างๆ และให้ความช่วยเหลือตลอดมา

ขอขอบพระคุณพี่สุเมธ พันธวงศ์ราช ที่ให้ความรู้และแนะนำการใช้โปรแกรม **Arcview** ที่
ช่วยทำให้งานวิจัยในครั้งนี้ลุล่วงไปได้ดี

ขอขอบพระคุณพี่บุศลากรภาควิชาการนิเวศวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัยทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการท้าววิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ ทุกคนที่ให้แนะนำ ช่วยเหลือ และให้กำลังใจในการทำ
การวิจัยและท้ายที่สุดขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อและคุณแม่ ผู้ให้กำลังใจและโอกาสใน
การศึกษาครั้งนี้

หัวข้อ (ภาษาไทย) : แผนที่ความเร็วคลื่นเฉือนระดับตื้น และการแบ่งชนิดของดิน เพื่อประเมินผลกระทบจากแผ่นดินไหวบริเวณ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย

ชื่อผู้ทำการวิจัย : นางสาวสรลณี จันทร์หนู 5132748623

ชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา : อาจารย์ ดร.ฐานภ ธิติมากร

ภาควิชา : ธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา : 2554

บทคัดย่อ

จังหวัดเชียงราย เป็นจังหวัดที่อยู่ทางภาคเหนือของประเทศไทย เป็นบริเวณที่มีความเสี่ยงได้รับผลกระทบจากแรงสั่นสะเทือนแผ่นดินไหว เนื่องจากมีหลักฐานการบันทึกเหตุการณ์แผ่นดินไหวในอดีต อีกประการคืออยู่ใกล้กับรอยเลื่อนมีพลัง (Charusiri et al., 2000) ที่มีแหล่งกำเนิดทั้งจากในประเทศไทยและประเทศข้างเคียง นอกจากนี้ลักษณะทางธรณีวิทยาของพื้นที่ตั้งอำเภอเมืองเชียงราย เป็นตะกอนชั้นดินอ่อน ที่เกิดจากการสะสมตัวของตะกอนแม่น้ำก ซึ่งโดยทั่วไปนั้นตะกอนไม่แข็งตัวจะมีคุณสมบัติในการขยายแรงสั่นสะเทือนให้เพิ่มมากขึ้น (Pattararattanakul, P., 2003) กล่าวคือ ตะกอนดินที่มีค่าความเร็วคลื่นเฉือนต่ำมักมีคุณสมบัติการขยายแรงสั่นสะเทือนได้มากกว่าตะกอนดินที่มีค่าความเร็วคลื่นเฉือนสูง การประเมินความสามารถของการขยายแรงสั่นสะเทือนนั้น ได้ทำการอ้างอิงจากค่าความเร็วคลื่นเฉือนที่ระดับความลึก 30 เมตร ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อจัดทำแผนที่การแสดงการกระจายตัวชนิดของดิน ที่มีความสามารถในการขยายแรงสั่นสะเทือนตามข้อกำหนดของ NEHRP 2003

ในงานวิจัยนี้สามารถคำนวณค่าความเร็วคลื่นเฉือนได้จากวิธี การสำรวจคลื่นไหวสะเทือนผิวดินแบบหลายช่องรับสัญญาณ หรือ MASW (Multi-channel Analysis of Surface Wave)(Park et al., 1999) ซึ่งข้อดีของการสำรวจด้วยวิธีนี้คือ ให้กำเนิดพลังงานข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนที่ง่ายและมีความชัดเจนของสัญญาณ การออกภาคได้ทำการเก็บข้อมูล 30 จุดครอบคลุมชนิดดินทั้ง 5 ประเภทในพื้นที่การศึกษา และนำข้อมูลค่าความเร็วคลื่นเฉือนของดินใน

ละจุดเก็บข้อมูลมาใช้อ้างอิงจำแนกชนิดดินตามข้อกำหนดของ **NEHRP 2003 (National Earthquake Hazards Reduction Program)** จัดทำเป็นแผนที่ **NEHRP site classification** จากการศึกษาสามารถจัดจำแนกชนิดดินตามข้อกำหนดของ **NEHRP** ได้เป็น **2 site class** คือ **C** และ **D** โดยมีค่าความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยคือ **418 m/s** และ **338 m/s** ตามลำดับ และพื้นที่ส่วนใหญ่ของพื้นที่ศึกษาบริเวณอำเภอเมืองเชียงรายนั้นถูกจัดจำแนกเป็น **site class D** จึงมีความเสี่ยงต่อการได้รับการขยายแรงสั่นสะเทือนอย่างมาก เมื่อเกิดแผ่นดินไหวขึ้น ดังนั้นเพื่อความไม่ประมาท จึงควรมีการให้ความสำคัญและวางแผนระบบสาธารณูปโภค อาคาร สิ่งก่อสร้าง ในพื้นที่ดังกล่าว

คำสำคัญ: ความเร็วคลื่นเฉือน, **Amplification of soils, MASW, NEHRP classification**

Title in English: SHEAR-WAVE VELOCITY MAPPING AND SITE CLASSIFICATION
OF SOILS FOR EARTHQUAKE HAZARD EVALUATION IN AMPHOE
MUANG, CHANGWAT CHIANG RAI, NORTHERN THAILAND

Researcher: Miss Saralee Channoo 5132748623

Advisor: Dr. Thanop Thitimakorn

Department: Geology, Faculty of Science, Chulalongkorn University

Semester: 2011

Abstract

Changwat Chiangrai is located in the northern part of Thailand and is a high risk area to be affected by the earthquake ground motion. Because the city is laid on the soft sediments of alluvium deposits of Kok River, these soils underneath the city can amplify ground motions thereby increasing earthquake damage (Pattararattanakul, P., 2003). The ground motion amplification of soils can be estimated by using their averaged shear wave velocity down to 30 meters ($V_{s(30)}$). Amplification of soils can be inferred from shear wave velocity that the soft soils with the low V_s values have the ability to expand ground vibration more than high V_s values. Consequently the main objective of this study is to create the soil classification map of Amphoe Muang using the ($V_{s(30)}$).

In this study, we use the MASW (Multi-channel Analysis of Surface Wave) (Park et al., 1999) techniques to determine V_s of soils. This technique utilizes the ground roll energy which is the strongest energy among the other types of seismic wave to calculate the V_s profile. In this study, we collected seismic data over 30 locations covering in 5 soil units. We then calculated the $V_{s(30)}$ in each test site and used it to classify the soil classes based on the recommendations of the 1997 National Earthquake Hazards Reduction Program (NEHRP). Finally we developed the NEHRP site classification map of the study area. The results reveal that the $V_{s(30)}$ values of the near mountain zone and the natural levee can be classified as site class C with the average $V_{s(30)}$ of 418 m/s. However the northern valley plain and eastern floodplain which cover

most of the study area are classified as site class D with the average $V_{s(30)}$ of 338 m/s. Based on the site classification map, we can conclude that the main part of the study area is under substantial risk of soil amplification. Therefore construction of any buildings or infrastructures in this zone must be done with extremely care.

Keywords: shear wave velocity, amplification of soils, MASW, NEHRP classification

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ.....	I
บทคัดย่อภาษาไทย	II
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	IV
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 แนวคิดพื้นฐาน	1
1.2 สมมติฐานของการวิจัย.....	2
1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.4 พื้นที่ศึกษา	2
1.5 ทฤษฎี	3
1.6 ขอบเขตการศึกษา	6
1.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
1.8 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	10
บทที่ 2 ธรณีวิทยาทั่วไป	11
2.1 ภูมิสังฐาน.....	11
2.2 ลักษณะทางน้ำ.....	11
2.3 ลักษณะทางธรณีวิทยา.....	12
2.4 ธรณีวิทยาโครงสร้าง	15

บทที่ 3 ระเบียบงานวิจัย	18
3.1 ศึกษางานวิจัยเก่าและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง	19
3.2 ทำแผนที่ธรณีวิทยาการกระจายตัวของดินในพื้นที่ศึกษา.....	21
3.3 ออกภาคสนามเก็บข้อมูล.....	22
3.4 ประมวลผลข้อมูลคลื่นพื้นผิว MASW	24
บทที่ 4 การวิเคราะห์และแปลผลข้อมูล	25
4.1 การคำนวณค่า Vs(30)	25
4.2 การจำแนกประเภทพื้นที่จากค่า Vs(30)	26
บทที่ 5 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ	29
เอกสารอ้างอิง	33
ภาคผนวก.....	35
ภาคผนวก ก.....	35
ภาคผนวก ข.....	39
ภาคผนวก ค	55

สารบัญภาพ

หน้า

รูป 1.1	พื้นที่ศึกษาบริเวณอำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย	3
รูป 1.2	การเคลื่อนที่ของคลื่นพื้นผิว Love wave และ Rayleigh wave.....	4
รูป 1.3	Schematic illustrating a typical Multi-channel Analysis of Surface Waves survey setup (Park et al., 1998).....	5
รูป 1.4	ขั้นตอน Data Acquisition และ Data Processing ของวิธีการสำรวจ MASW	6
รูป 2.1	แผนที่ธรณีวิทยาจังหวัดเชียงราย มาตราส่วน 1:250000	16
รูป 2.2	รอยเลื่อนมีพลัง (Active Fault) ในจังหวัดเชียงราย	17
รูป 3.1	แผนผังแสดงขั้นตอนการทำงานวิจัย.....	18
รูป 3.2	อุปกรณ์ที่ใช้ออกภาคสนาม	20
รูป 3.3	แผนที่การกระจายตะกอนดิน Quaternary ทั้งหมด 5 หน่วย ในพื้นที่ศึกษา	21
รูป 3.4	แสดงตำแหน่งจุดเก็บข้อมูลภาคสนามทั้ง 30 จุด	22
รูป 3.5	การเก็บข้อมูลในภาคสนาม	23
รูป 3.6	แผนผังขั้นตอนการประมวลผลข้อมูลโดยใช้โปรแกรม SurfSeis v.2.0	24
รูป 4.1	ค่าความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยที่ระดับความลึก 30 เมตรกับตำแหน่งการเก็บข้อมูล	25
รูป 4.2	National Earthquake Hazards Reduction Program (NEHRP) ปี 2003.....	26
รูป 4.3	การจัดจำแนกพื้นที่จากค่า Vs (30)	26
รูป 4.4	ค่าความเร็วคลื่นเฉือนของ soil type ทั้ง 5 ประเภท.....	27
รูป 5.1	แผนที่ความเร็วคลื่นเฉือนในพื้นที่ศึกษา	31
รูป 5.2	แผนที่การจำแนกประเภทพื้นที่จากค่าความเร็วคลื่นเฉือน	32

บทที่ 1

บทนำ (Introduction)

1.1 แนวคิดพื้นฐาน (General Statement)

จากบันทึกเหตุการณ์การเกิดแผ่นดินไหวในอดีตจนถึงปัจจุบัน พบว่าพื้นที่บริเวณภาคเหนือของประเทศไทย แสดงให้เห็นว่ามีการเกิดแผ่นดินไหวความรุนแรงระดับปานกลางเกิดขึ้นหลายครั้ง รวมทั้งจากข้อมูลการศึกษารอยเลื่อนมีพลังในภาคเหนือของประเทศไทยโดยปัญญา จารุศิริ และคณะ (2000) แสดงให้เห็นว่ารอยเลื่อนมีพลังเหล่านี้ มีความสามารถที่จะก่อให้เกิดแผ่นดินไหวความรุนแรงระดับปานกลางถึงใหญ่ได้ ซึ่งจังหวัดเชียงรายนั้นตั้งอยู่ไม่ห่างจากรอยเลื่อนเหล่านี้มากนัก จึงทำให้พื้นที่จังหวัดเชียงรายโดยเฉพาะอย่างยิ่งอำเภอเมือง ที่มีการเติบโตทางเศรษฐกิจ สิ่งปลูกสร้าง และจำนวนประชากรที่เพิ่มมากขึ้น จึงมีโอกาที่จะได้รับผลกระทบและความเสียหายอันเกิดจากแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวดังกล่าวได้

นอกจากนั้นสภาพทางธรณีวิทยาของตัวเมืองเชียงราย เป็นชั้นดินตะกอนที่ไม่แข็งตัว (Pattararattanakul, 2003) ซึ่งโดยทั่วไปดินตะกอนที่ไม่แข็งตัวจะมีคุณสมบัติที่สามารถขยายแรงการสั่นสะเทือนแผ่นดินไหว (Amplification) ให้มีความแรงมากขึ้นได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดและคุณสมบัติทางกายภาพของชนิดดิน หากเกิดแผ่นดินไหวความรุนแรงระดับกลางถึงใหญ่ จึงอาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อโครงสร้างทางวิศวกรรม เช่น อาคาร สะพาน และระบบสาธารณูปโภคต่างๆ

คุณสมบัติการขยายแรงสั่นสะเทือนแผ่นดินไหวของดิน สามารถทำการคาดคะเนได้จากค่าความเร็วคลื่นเฉือน (Shear wave Velocity) ของดิน โดยทั่วไปดินที่มีค่าความเร็วคลื่นเฉือนต่ำ มักมีคุณสมบัติการขยายแรงมากกว่าดินที่มีค่าความเร็วคลื่นเฉือนสูง ซึ่งค่าความเร็วของคลื่นเฉือนนี้สามารถทำการวัดได้หลายวิธีทั้งในสนาม และในห้องปฏิบัติการซึ่งมักจะใช้เวลาานาน และมีค่าใช้จ่ายที่สูง ปัจจุบันได้มีการพัฒนาวิธีวัดค่าความเร็วคลื่นเฉือนในสนามที่มีราคาถูกลง และสามารถทำได้อย่างรวดเร็ว ในปริมาณมาก วิธีนี้เรียกว่า การสำรวจคลื่นไหวสะเทือนผิวดินแบบหลายช่องรับสัญญาณ (Multi-channel Analysis of Surface Wave (MASW)) (Park et al, 1999) ซึ่งเป็นวิธี

ที่คล้ายคลึงกับการสำรวจคลื่นไหวสะเทือนทั่วไป โดยวิธีนี้จะนำคลื่นพื้นผิว (Surface wave) มาใช้ในการคำนวณหาค่าความเร็วคลื่นเฉือน

การศึกษารุ่นนี้จะทำการศึกษาถึงการกระจายตัวของความเร็วคลื่นเฉือนของดินแต่ละชนิด บริเวณอำเภอเมืองจังหวัดเชียงราย และพื้นที่ใกล้เคียง นำไปสู่การทำแผนที่ NEHRP site classification ซึ่งแสดงถึงคุณสมบัติการขยายแรงแผ่นดินไหวของดินแต่ละชนิดในพื้นที่ศึกษา ตามข้อกำหนดของ National Earthquake Hazards Reduction Program (NEHRP) ปี 2003 ซึ่งจะทำให้เกิดประโยชน์ต่อการวางแผนพัฒนา และวางแผนป้องกันภัยพิบัติอันเกิดจากแผ่นดินไหว บริเวณอำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย

1.2 สมมติฐาน (Hypothesis)

ค่าความเร็วคลื่นเฉือนของดิน (Shear-wave Velocity) สามารถใช้ประเมินความเสี่ยงของการขยายแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวได้

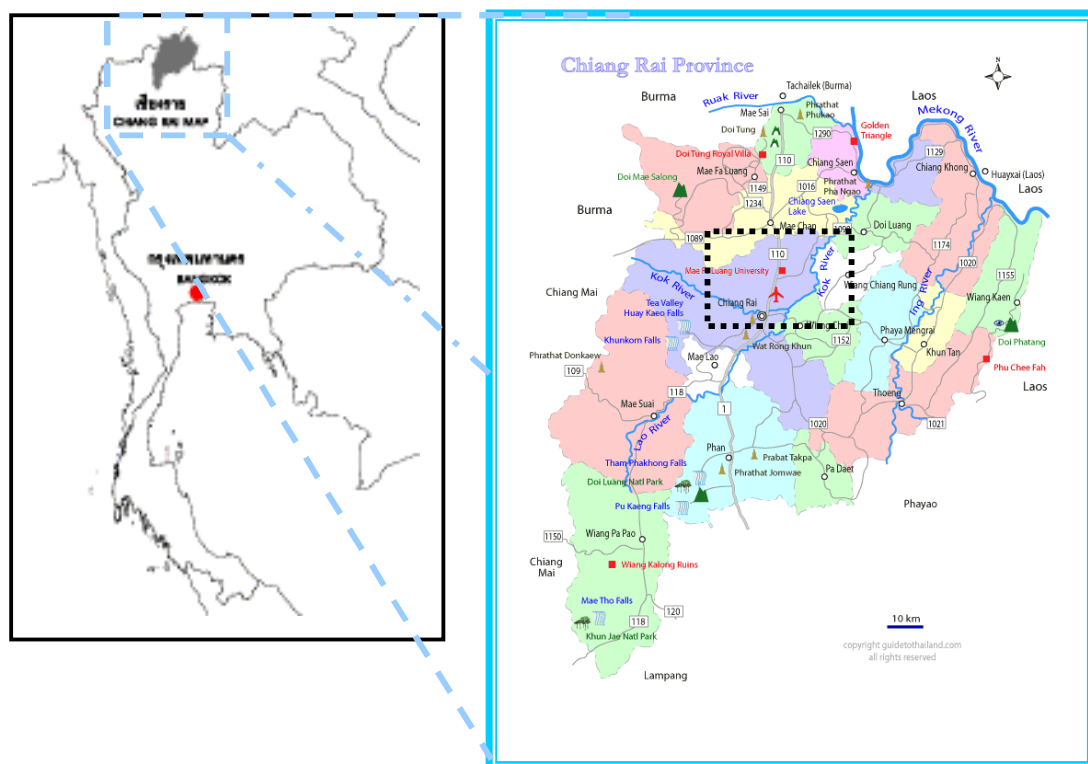
1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการ (Objectives)

1. เพื่อทำแผนที่แสดงชนิดของดินและแสดงการกระจายตัวของความเร็วคลื่นเฉือนของดินบริเวณอำเภอเมืองจังหวัดเชียงราย
2. เพื่อทำแผนที่ NEHRP site classification แสดงชนิดของดินที่มีคุณสมบัติการขยายแรงแผ่นดินไหว ตามข้อกำหนดของ National Earthquake Hazards Reduction Program (NEHRP) ปี 2003

1.4 พื้นที่ศึกษา (Location of study area)

ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 120 ตารางกิโลเมตร ของอำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย ทางด้านทิศตะวันตกเป็นบริเวณที่มีเทือกเขา โดยเทือกเขาหินแกรนิต อยู่ทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ และเทือกเขาหินทราย อยู่ทางทิศตะวันตกของพื้นที่ศึกษา มีแม่น้ำสายหลักไหลผ่านคือ แม่น้ำกก ที่มีการกวัดแกว่งเป็นลักษณะของ Meandering River เกิดเป็นเนินสันทราย (point bar) รวมทั้ง

ร่องรอยการกวัดแกว่งในอดีต มีทิศทางการไหลจากทิศตะวันตกไปยังทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ส่งผลทำให้ทางด้านทิศตะวันออกมีลักษณะภูมิประเทศเป็นบริเวณที่ราบลุ่มแม่น้ำมาก ใช้เส้นทางหลวงหมายเลข 1 ถนนพหลโยธิน เป็นเส้นทางหลักในการเดินทางเข้าสู่พื้นที่ศึกษา (รูป 1.1) และใช้แผนที่ระวางจังหวัดเชียงราย ลำดับชุด L7017 ระวาง 4948I มาตราส่วน 1:50,000 เป็นแผนที่หลักในการทำงานวิจัยครั้งนี้



รูป 1.1 พื้นที่ศึกษาบริเวณอำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย ครอบคลุมพื้นที่ 120 ตารางกิโลเมตร

ภาพจาก www.guidetothailand.com/thailand-travel-information-files/map-chiang-rai

1.5 ทฤษฎี (Theory)

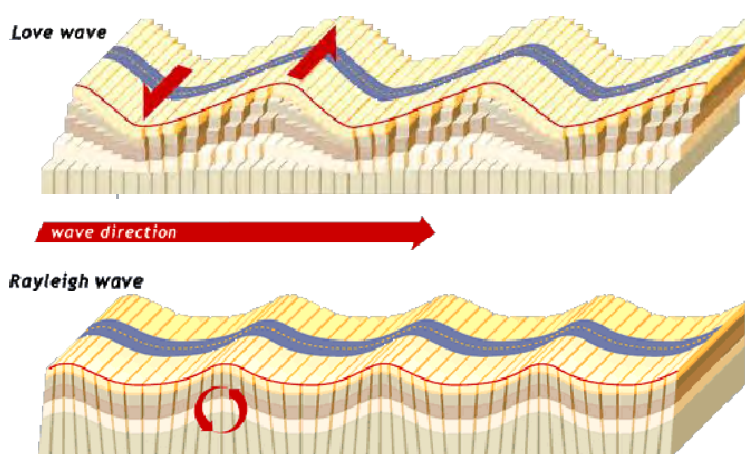
1.5.1 Surface Wave

เมื่อเกิดแผ่นดินไหว จะเป็นคลื่นที่เคลื่อนที่บริเวณพื้นผิวของเปลือกโลก เป็นคลื่นที่มีแอมพลิจูดสูง ความยาวคลื่นมาก และความถี่ต่ำ จึงทำให้เดินทางช้ากว่าคลื่นหลัก (Body wave) และแอมพลิจูดจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อความลึกเพิ่มมากขึ้น เป็นคลื่นหลักที่ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนของ

พื้นดิน มีความสามารถที่จะทำสิ่งที่อยู่บนพื้นดินเคลื่อนที่ได้ ก่อให้เกิดความเสียหาย คลื่นพื้นผิวที่สำคัญมี 2 ประเภท ได้แก่ (รูป 1.2)

Rayleigh wave: คลื่นที่มีการเคลื่อนตัวของอนุภาคทั้งในแนวตั้งและในแนวราบ หรือเกิดการหมุนของอนุภาค ในขณะที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่านตัวกลาง

Love wave: คลื่นที่มีการเคลื่อนตัวของอนุภาคในแนวราบขนานกับผิวดิน



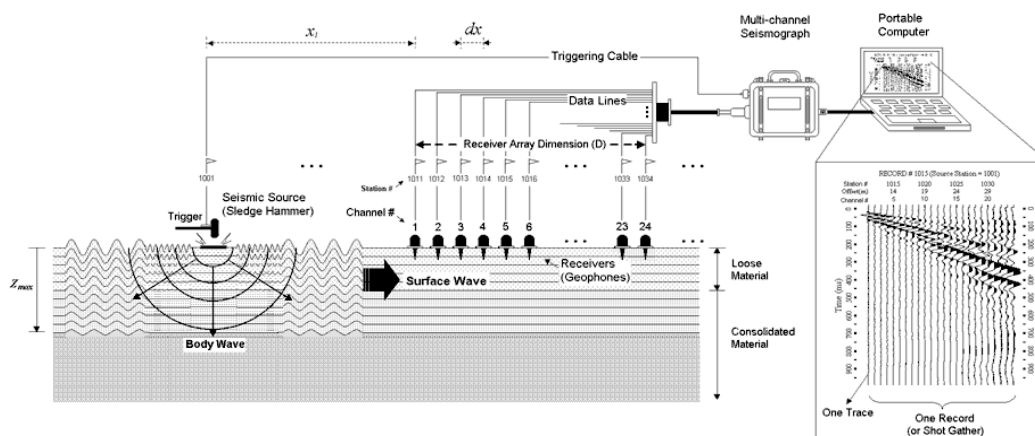
รูป 1.2 การเคลื่อนที่ของคลื่นพื้นผิว Love wave และ Rayleigh wave

จาก http://www.exploratorium.edu/faultline/basics/images/ayleighlove_lrg.gif

1.5.2 Multi-channel Analysis of Surface Wave (MASW) method

เป็นหนึ่งในวิธีการสำรวจด้วยคลื่นไหวสะเทือน (Seismic Methods) ที่นำเสนอโดย Park และคณะ ในปี ค.ศ. 1999 ซึ่งตรวจวัดการเคลื่อนตัวของคลื่นพื้นผิวประเภทคลื่นคลีนเรลีย์ (Rayleigh Wave) แล้วแปลงคลื่นพื้นผิวให้เป็นคลื่นความเร็วเฉือน สำหรับคลื่นผิวดินนั้น ในการสำรวจคลื่นไหวสะเทือนทั่วไปมักจัดให้เป็นคลื่นรบกวน (Noise) แต่วิธี MASW คลื่นผิวดินจัดให้เป็นสัญญาณที่ต้องการ ข้อดีของการวิเคราะห์โดยใช้คลื่นผิวดิน คือ สามารถให้กำเนิดได้ง่ายและเป็นคลื่นที่มีพลังงานมาก จึงทำให้การตรวจวัดได้ข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนที่ชัดเจน จึงเป็นวิธีการสำรวจที่เหมาะสมทางวิศวกรรมธรณีและสิ่งแวดล้อม ที่มีค่าใช้จ่ายน้อยและทำได้รวดเร็ว

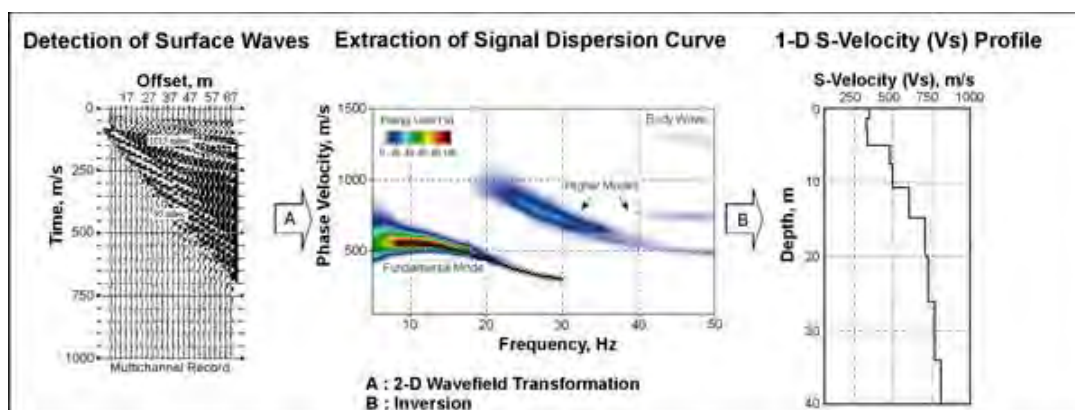
The Active MASW method เป็นที่รู้จักครั้งแรกในทางวิศวกรรมธรณี เมื่อปี ค.ศ. 1999 โดย Park และคณะ เป็นวิธีการสำรวจคลื่นไหวสะเทือนโดยต้องมีตัวกำเนิดคลื่น เช่น ใช้ sledge hammer เป็นตัวกำเนิดคลื่น และวางตัวรับสัญญาณหลายๆตัว โดยทั่วไปใช้ตัวรับสัญญาณ 24 ตัวหรืออาจมีมากกว่านั้น วางเป็นแนวเส้นตรงบนพื้นดิน ในระยะห่างที่เท่ากัน และตัวรับสัญญาณหลายๆตัวนี้ จะถูกเชื่อมต่อกับเครื่อง seismograph ซึ่งเป็นตัวบันทึกข้อมูล เมื่อมีสัญญาณที่ตรวจวัดได้ ตัวรับสัญญาณก็จะส่งคลื่นสัญญาณมายัง เครื่อง seismograph และส่งไปเก็บในเครื่องคอมพิวเตอร์ ดังแสดงในรูป 1.3



รูป 1.3 Schematic illustrating a typical Multi-channel Analysis of Surface Waves survey setup (Park et al., 1998)

วิธีการสำรวจ MASW ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนคือ (รูป 1.4)

- 1.) การเก็บข้อมูลในภาคสนาม (Data Acquisition): จะได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับตำแหน่งของตัวรับสัญญาณ
- 2.) การวิเคราะห์ข้อมูล (Dispersion Analysis): นำข้อมูลมาแปลงเป็นกราฟการกระจายตัวของความถี่และความเร็วของคลื่น
- 3.) การคำนวณย้อนกลับ (Inversion): เพื่อให้ได้ค่าความเร็วคลื่นเฉือนที่ระดับความลึก



รูป 1.4 ขั้นตอน Data Acquisition และ Data Processing ของวิธีการสำรวจ MASW

1.6 ขอบเขตการศึกษา (Scope of work)

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาค่าความเร็วคลื่นเฉือนของดินบริเวณพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัด เชียงราย แล้วนำมาจัดจำแนกประเภทของดินตามข้อกำหนดของ **National Earthquake Hazards Reduction Program (NEHRP)** ปี 2003 เพื่อจัดทำแผนที่ความเร็วคลื่นเฉือนของดินและแผนที่ ความสามารถในการขยายแรงสั่นสะเทือน เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานต่อการวางแผนการพัฒนา และ ป้องกันภัยพิบัติอันเกิดจากแผ่นดินไหวในเขตอำเภอเมือง จังหวัดเชียงรายต่อไป

1.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature Review)

การศึกษาทางประวัติศาสตร์ และบันทึกจากประเทศข้างเคียง ตลอดจนหลักฐานทาง โบราณคดี เช่น สภาพเมืองโบราณและซากปรักหักพังของเจดีย์ ของ **Nutalaya** และคณะ (1985) ซึ่งได้แสดงไว้ในผังภาคผนวกตารางที่ 1 ทำให้ทราบว่าในอดีตที่ผ่านมาเคยเกิดแผ่นดินไหวใน ประเทศไทยและบริเวณข้างเคียงหลายครั้ง โดยเฉพาะทางตอนเหนือของประเทศไทย ข้อมูล แผ่นดินไหวในประเทศไทยและประเทศข้างเคียงที่มีบันทึกความเสียหายตั้งแต่ พ.ศ.1558 จนถึง พ.ศ. 2502 ได้แสดงไว้ในผังภาคผนวกตารางที่ 2 โดยมีแผ่นดินไหวที่มีขนาดความรุนแรง (ตาม มาตรฐานเมอร์คัลลี) ตั้งแต่ VII เกิดขึ้นทั้งหมด 60 ครั้ง จากการบันทึกทางประวัติศาสตร์ ระบุว่าใน ปี พ.ศ.1003 มีแผ่นดินไหวขนาดใหญ่เกิดขึ้นบริเวณโยนกนคร หรือ อำเภอเชียงแสน ทำให้แผ่นดิน

ยุบตัวลงกลายเป็นหนองน้ำขนาดใหญ่ เป็นผลทำให้เมืองทั้งเมืองเกิดการถล่มล่มสลาย นับได้ว่ารุนแรงที่สุดโดยจัดขนาดของความรุนแรงประมาณ XII (มาตราเมอร์คัลลี) เหตุการณ์แผ่นดินไหวเมื่อปี พ.ศ.2088 ได้ก่อให้เกิดความเสียหายแก่องค์พระเจดีย์หลวงในตัวเมืองเชียงใหม่ ซึ่งมีความยาว 26 เมตร สูง 80 เมตร พังทลายลงมา เหลือความสูงเพียง 60 เมตร เหตุการณ์แผ่นดินไหวใกล้เมืองเชียงใหม่ในเวลารุ่งเช้าของวันที่ 6 เดือนเจ็ด ก่อให้เกิดความเสียหายต่อวัด และเจดีย์ต่างๆ ซึ่งจัดได้ว่าเหตุการณ์ดังกล่าวนี้มีระดับความรุนแรงสูงสุดถึง VI (มาตราเมอร์คัลลี) เหตุการณ์แผ่นดินไหวขนาดปานกลางเมื่อวันที่ 2 สิงหาคม พ.ศ. 2521 ขนาดความรุนแรง 5.1 มาตราริกเตอร์ ได้รับการกำหนดตำแหน่งศูนย์กลางแผ่นดินไหวอยู่ในเขตประเทศลาว ห่างจากจุดเหนือสุดของประเทศไทยไปทางทิศตะวันออกเฉียงประมาณ 80 กม นอกจากนี้ยังมีรายงานว่ารู้สึกได้ที่ตัวจังหวัดเชียงราย เหตุการณ์แผ่นดินไหวเมื่อวันที่ 28 และ 30 กันยายน พ.ศ. 2532 ได้เกิดแผ่นดินไหวขนาดปานกลางขึ้น 2 ครั้ง มีขนาด 5.3 และ 5.4 มาตราริกเตอร์ ซึ่งเหตุการณ์ครั้งนี้รู้สึกได้ทั่วทั้งภาคเหนือ ได้รับการกำหนดตำแหน่งที่ 100 กม ทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือก่อนไปทางทิศตะวันตกของจังหวัดเชียงราย เหตุการณ์แผ่นดินไหวเมื่อวันที่ 11 กันยายน พ.ศ. 2537 ได้รายงานว่ามี ความรุนแรง 5.1 มาตราริกเตอร์ โดยมีจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหวใกล้กับตัวอำเภอแม่สรวย จังหวัดเชียงราย ห่างจากตัวเมืองเชียงรายไปทางทิศตะวันตกก่อนไปทางทิศใต้ ประมาณ 75 กม เหตุการณ์ดังกล่าวรู้สึกได้ทั้งจังหวัดเชียงรายและ บริเวณใกล้เคียง โดยที่อำเภอพานเสียหายมากที่สุด กล่าวคือตึกโรงพยาบาลอำเภอพานได้รับความเสียหายอย่างหนัก เหตุการณ์แผ่นดินไหวเมื่อวันที่ 22 กันยายน พ.ศ.2546 เกิดแผ่นดินไหวขนาด 6.7 มาตราริกเตอร์ ศูนย์กลางแผ่นดินไหวในประเทศสหภาพพม่า ซึ่งใกล้กับแนวรอยเลื่อนสกาย รู้สึกได้ในบริเวณอำเภอเมือง อำเภอเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่ จังหวัดแม่ฮ่องสอน จังหวัดลำพูน จังหวัดเชียงรายและอาคารสูงหลายแห่งในกรุงเทพมหานครได้รับความเสียหายเล็กน้อย

และล่าสุดเหตุการณ์แผ่นดินไหวเมื่อวันที่ 16 พฤษภาคม พ.ศ. 2550 ขนาดความรุนแรง 6.3 มาตราริกเตอร์ มีตำแหน่งศูนย์กลางแผ่นดินไหวอยู่ในเขตประเทศลาว ห่างจากจุดเหนือสุดของประเทศไทยไปทางทิศตะวันออกเฉียงประมาณ 100 กม มีรายงานว่าอาคาร สิ่งก่อสร้าง ในจังหวัดเชียงรายได้รับความเสียหายจากเหตุการณ์ดังกล่าว ข้อมูลทางประวัติศาสตร์เหล่านี้มี

ความสำคัญทำให้ทราบได้ว่า เคยมีแผ่นดินไหวใหญ่เกิดขึ้นทางตอนเหนือของประเทศไทย และทำให้เกิดความเสียหายอย่างมากมายในอดีตที่ผ่านมา (ภาคผนวก ค)

ภายหลังจากการเกิดแผ่นดินไหวครั้งใหญ่เมื่อปี ค.ศ. 1985 ทำให้ Seed และคณะ ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติการขยายแรงแผ่นดินไหวของดินในประเทศเม็กซิโก ในปี ค.ศ. 1987 จากแผ่นดินไหวครั้งดังกล่าว ทำให้เกิดความเสียหายต่อสิ่งก่อสร้างอย่างมากมาย ซึ่งเป็นผลมาจากคุณสมบัติของดินที่มีความสามารถในการขยายแรงแผ่นดินไหวค่อนข้างมาก การศึกษาในครั้งนี้ทำให้เกิดการตื่นตัวในการศึกษาถึงคุณสมบัติของดินในหลายพื้นที่ ที่มีการสร้างเมืองอยู่บนชั้นดินที่มีคุณสมบัติดังกล่าว กระทั่งในปี ค.ศ. 2003 ได้มีการศึกษาถึงความสามารถในการขยายแรงแผ่นดินไหวของชั้นดินในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่และเชียงราย โดย Pattararattanukul ซึ่งมีการใช้ข้อมูลทางธรณีเทคนิคหลายอย่างและข้อมูลหลุมเจาะ ผลจากการศึกษาพบว่าดินบริเวณพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่และเชียงรายสามารถขยายแรงแผ่นดินไหวได้ 1.5 ถึง 3 เท่า นอกจากนั้นในปี ค.ศ. 2005 Teachavaorainkul และ Nuntasarn ได้ศึกษาโอกาสการเกิดสภาพ Liquefaction ในชั้นดินทรายบริเวณพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ และเชียงราย จากการวิเคราะห์โดยใช้วิธี Effective stress analysis และการลดทอนขนาดของคลื่นแผ่นดินไหวลงไปที่แผ่นดินไหวระยะใกล้ขนาดกลาง ($M=5.5$) พบว่าในบางบริเวณมีโอกาสที่แรงดันน้ำส่วนเกินในชั้นดินทรายจะมีค่าสูงถึง 50% ประกอบกับโครงสร้างอาคารขนาดเล็กในจังหวัดทั้งสองอยู่บนรากฐานที่ตื้น ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ค่อนข้างสูงว่าอาจจะเกิดการวิบัติของอาคารเหล่านี้ หากเกิดแผ่นดินไหวที่มีจุดศูนย์กลางไม่ไกล และขนาดปานกลางมากกระทบ

จากการรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับรอยเลื่อนมีพลังในบริเวณประเทศไทยของ Nutalaya ในปี ค.ศ. 1990 และ Hinthong ในปี ค.ศ. 1997 พบว่ามีรอยเลื่อนที่คาดว่าจะยังมีพลังอยู่ทั้งหมด 22 แห่ง โดยที่ 7 แห่งนั้นพบอยู่ในบริเวณภาคเหนือของประเทศไทย นอกจากนั้นยังพบอีกว่ามีรอยเลื่อนที่คาดว่าจะยังมีพลังอยู่ 2 แนว ที่วางตัวอยู่ระหว่างจังหวัดเชียงใหม่ และเชียงราย ซึ่งก็คือรอยเลื่อนแม่ทา และ รอยเลื่อนเถิน ซึ่งจากการศึกษาดังกล่าวยังบ่งชี้ว่าแนวโน้มที่จะเกิดแผ่นดินไหวขนาดมากกว่า 6 ริกเตอร์ในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทยนั้นมีโอกาสเป็นไปได้

Pekkan et al. (2006) ได้ศึกษาถึงความเสียหายจากแผ่นดินไหว และผลที่ได้รับจากงานวิจัยแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างแรงสั่นสะเทือนแผ่นดินไหวกับชนิดของดินในพื้นที่ โดยคุณสมบัติของชั้นดินที่ทำให้แรงสั่นสะเทือนมีมากขึ้นได้แก่ การเป็นชั้นดินอ่อนที่มีการเกาะตัวอย่างหลวมๆ ความหนา และความยืดหยุ่นของชั้นดิน ค่าความเร็วคลื่นเฉือนของชั้นดินมีความสำคัญต่อวิเคราะห์ความเสี่ยงและผลกระทบที่จะเกิดจากแผ่นดินไหว และมีการทำแผนที่ค่าเฉลี่ยความเร็วคลื่นเฉือนของชั้นดินที่ไม่แข็งตัว (**unconsolidated**) และแผนที่การจำแนกชนิดของดินในพื้นที่ศึกษา โดยพิจารณาจากค่าความเร็วคลื่นเฉือน เป็นไปตามข้อกำหนดของ **National Earthquake Hazards Reduction Program (NEHRP)** ปี 2003

การเปรียบเทียบค่าความเร็วคลื่นเฉือนของชั้นดินกรุงเทพมหานคร ด้วยวิธีการสำรวจโดยวิเคราะห์จากคลื่นพื้นผิวแบบหลายช่องรับสัญญาณ (**MASW**) และวิธีวัดจากหลุมเจาะ ของ **Juntamat** ในปี 2006 ผลของค่าความเร็วคลื่นเฉือนที่ได้จากทั้งสองวิธีการสำรวจ พบว่ามีความแตกต่างกันน้อยกว่า **13%** และผลการเปรียบเทียบการจำแนกชนิดดิน ซึ่งอ้างอิงจากค่าความเร็วคลื่นเฉือนนั้น มีความแตกต่างกันน้อยมาก ดังนั้นการหาความเร็วคลื่นเฉือนจากวิธีการวิเคราะห์คลื่นพื้นผิวแบบหลายช่องสัญญาณ (**MASW**) จึงเป็นวิธีที่สามารถเชื่อถือได้ อีกทั้งเป็นวิธีที่ใช้เวลาและค่าใช้จ่ายในการเก็บข้อมูลน้อยกว่าเมื่อเทียบกับวิธีการวัดจากหลุมเจาะ และในปี 2007 **Luangthavornkul** ได้ศึกษาตัวแปรที่เหมาะสมสำหรับการเก็บข้อมูลคลื่นพื้นผิวแบบ **MASW** สำหรับชั้นดินกรุงเทพฯ เนื่องจากตัวแปรที่เหมาะสมในการเก็บข้อมูลมีความสำคัญต่อกราฟการกระจายตัว (**Dispersion Curve**) และผลลัพธ์ของกราฟนั้นจะส่งผลให้ค่าความเร็วคลื่นเฉือนนั้นมีความน่าเชื่อถือด้วย จากการศึกษพบว่าตัวแปรที่ให้ค่าดีที่สุดสำหรับชั้นดินอ่อนกรุงเทพฯ ได้แก่ **slide hammer 14 ปอนด์** ตัวรับสัญญาณที่มีความถี่ **10 เฮิร์ต** จำนวน **24** ตัว ระยะห่างระหว่างตัวรับสัญญาณ **1-2 เมตร** และระยะห่างจากตัวกำเนิดสัญญาณ **5-10 เมตร**

การสำรวจระดับต้นโดยใช้การวิเคราะห์คลื่นพื้นผิวแบบหลายช่องรับสัญญาณ (**Multi-channel analysis of surface wave: MASW**) ของ **Park** และคณะในปี ค.ศ. 1998 นั้น แบ่งออกเป็นสองประเภทคือ **Active MASW** และ **Passive MASW** มีความแตกต่างกันที่การสร้างตัวกำเนิดคลื่น กล่าวคือ วิธี **Active MASW** ต้องมีตัวกำเนิดคลื่น แต่วิธี **Passive MASW** ใช้คลื่นจากบริเวณรอบจุดสำรวจเป็นตัวกำเนิดคลื่น ในปี ค.ศ.2009, **Dornboonlon** ได้ศึกษาวิธี **Passive Remote MASW** เพื่อประเมินความเป็นไปได้ในการให้ข้อมูลความเร็วคลื่นเฉือนของชั้นดิน

กรุงเทพฯ ถึงความถูกต้องหรือใกล้เคียงกับวิธี **Active MASW** และ **Downhole Seismic** ซึ่งพบว่าวิธี **Active MASW** ให้ข้อมูลความเร็วคลื่นได้ดีในช่วงความลึก **0-30** เมตร

1.8 ผลที่คาดว่าจะได้รับ (Outputs)

1. แผนที่แสดงการกระจายตัวของความเร็วคลื่นเฉือนของดินในพื้นที่ศึกษา
(Shear-wave velocity map)
2. แผนที่แสดงความสามารถในการขยายแรงแผ่นดินไหวของดิน (NEHRP site-class map)

บทที่ 2

ธรณีวิทยาทั่วไป (General Geology)

2.1 ภูมิสัณฐาน (Morphology) จังหวัดเชียงราย อยู่ในบริเวณพื้นที่สูงทางภาคเหนือ (Northern Highland) ประกอบด้วยภูมิประเทศ ดังต่อไปนี้

ภูเขาและเทือกเขา (Mountain range)

ครอบคลุมพื้นที่ประมาณร้อยละ 65 ของจังหวัด มีความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง 500-2,000 เมตร เป็นภูเขาสูงสลับซับซ้อนต่อเนื่องกันหลายเทือกเขา ในแนวประมาณเกือบเหนือ-ใต้ แนวเขาในพื้นที่จังหวัดเชียงรายแบ่งได้เป็น 3 แนว ขนานกันในทิศทางประมาณเหนือ - ใต้ ได้แก่

- 1) แนวทิวเขาทางตะวันออกของอำเภอเชียงของ ต่อเนื่องลงมาทางตะวันออกเฉียงเหนือของอำเภอเทิง และพื้นที่อำเภอเวียงแก่น
- 2) แนวเทือกเขาทางตอนกลางผ่านทางตะวันตกของอำเภอเชียงของ อำเภอพญาเม็งราย ต่อเนื่องจนถึงตะวันตกของอำเภอป่าแดด
- 3) ทิวเขาทางตะวันตกผ่านทางตะวันตกของอำเภอแม่สาย แม่จัน จนถึงอำเภอแม่สรวย และอำเภอเวียงป่าเป้า

แอ่งที่ราบหุบเขา (Valley plain) และที่ราบลุ่ม (Fluvial plain)

แอ่งที่ราบหุบเขาเป็นพื้นที่ระหว่างแนวเขาที่กระจายตัวอยู่ทั่วไปหลายแห่ง ส่วนพื้นที่ที่ราบลุ่ม พบบริเวณตอนเหนือ ตอนกลาง และตะวันออกของจังหวัดวางตัวอยู่ระหว่างแนวเทือกเขาทางตะวันตกและทางตะวันออกของจังหวัดเชียงรายซึ่งทำหน้าที่เป็นแนวสันปันน้ำ ให้น้ำไหลลงสู่ที่ราบลุ่มแม่น้ำกก และที่ราบลุ่มแม่น้ำอิง ซึ่งไหลไปทางทิศเหนือลงสู่แม่น้ำโขง

2.2 ลักษณะทางน้ำ (Fluvial System) มีทางน้ำสายสำคัญ 2 สาย คือ

แม่น้ำกก เป็นแม่น้ำสายใหญ่ที่สุด มีต้นกำเนิดจากสันปันน้ำทางด้านตะวันตก ไหลไปทางตะวันออกเฉียงเหนือ ผ่านบริเวณตอนกลางของพื้นที่ มีลักษณะเป็นแบบ **Meander river** ทำให้มีลักษณะของ **Meander scar** และ **Abandoned channel** มากมายทางด้านตะวันตก แม่น้ำกกนี้ไหลไปลงสู่แม่น้ำโขง ที่อำเภอเชียงของ

แม่น้ำลาว เป็นแม่น้ำสายที่ยาวมาก มีต้นกำเนิดจากดอยนางแก้ว ในเขตอำเภอเวียงป่าเป้า ไหลขึ้นไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้-ตะวันออกเฉียงเหนือ ยาวประมาณ 25 กิโลเมตร ไหลลงสู่แม่น้ำกกที่บ้านต้นแห่น อำเภอเวียงชัย มีการพัฒนา **Natural levee** ขึ้นทั้งสองฝั่งเป็นแนวยาว นอกจากนั้น ยังมีสายน้ำขนาดเล็ก อีกมากมาย เช่น น้ำแม่ซ้าย น้ำแม่ภรณ์ น้ำแม่อ่าง แต่แม่น้ำเหล่านี้ไม่มีอิทธิพลต่อพื้นที่มากนัก

2.3 ลักษณะทางธรณีวิทยา (Geology Setting) ประกอบไปด้วยหินทั้ง 3 ประเภท ได้แก่ หินตะกอน หินแปร และหินอัคนี (รูป 2.1)

หินตะกอน (Sedimentary rocks)

ปรากฏให้เห็นทั้งในแนวภูเขาทางตะวันตก ตอนกลาง และทางตะวันออก มีอายุเก่าแก่ตั้งแต่ประมาณ 345 ล้านปี ซึ่งแข็งเป็นหินตะกอนของมหายุคพาลีโอโซอิก จนกระทั่งตะกอนยังไม่แข็งตัวในปัจจุบัน โดยมีลำดับชั้นหินทางธรณีวิทยา ได้แก่

หินตะกอนมหายุคพาลีโอโซอิกตอนปลาย (345 – 230 ล้านปี)

ประกอบด้วยหินดินดาน หินทราย และหินปูน สีเทาเขียว เทาอมดำ ซึ่งสะสมตัวในทะเลลึกดำบรรพ์ในช่วงยุคคาร์บอนิเฟอรัส - เพอร์เมียน (ราว 345 – 230 ล้านปี) กระจายตัวเป็นแนวตามพื้นที่บริเวณขอบแอ่งทางตะวันตกและทิศตะวันออกของจังหวัดเชียงราย แสดงลักษณะภูมิประเทศแบบคาสต์ มีสันเขาตะปุ่มตะป่ำ เป็นหน้าผาชัดเจน และมักมีถ้ำจากโพรงละลาย (**Solution cave**)

หินตะกอนมหายุคมีโซโซอิก (230 -65 ล้านปี)

เป็นหินตะกอนชนิดหินทราย หินทรายแป้ง และหินดินดาน อาจพบหินโคลน และหินกรวดมนแทรกสลับหินสีน้ำตาลแดง สีแดงที่เกิดจากการสะสมตัวบนบก (**Non-marine deposits**) ชั้นหินสีแดง (**Red bed**) เหล่านี้ พบในพื้นที่อำเภอเมือง แนวเทือกเขาทางตอนกลางในเขตอำเภอป่าแดด อำเภอพาน อำเภอเทิง และอำเภอเวียงแก่น มีลักษณะภูมิประเทศส่วนใหญ่เป็นภูเขาสูง บางบริเวณที่เป็นหินทรายเนื้อละเอียดสามารถใช้เป็นแหล่งหินประดับและหินลับมีดได้ กลุ่มหินตะกอนแดงมหายุคมีโซโซอิก ยังประกอบด้วยหินปูนสีเทาซึ่งปรากฏเป็นภูเขาสูง เล็ก ๆ ในเขตอำเภอแม่จัน

ตะกอนยังไม่แข็งตัวยุคควอเทอร์นารี (1.8 ล้านปี - ปัจจุบัน)

เป็นกลุ่มตะกอนที่สะสมในที่ราบระหว่างหุบเขา ที่ราบลุ่มแม่น้ำ และเนินตะพัก เป็นตะกอนที่สะสมตัวจากกระบวนการของทางน้ำปัจจุบัน ได้แก่

ตะกอนที่ราบน้ำท่วมถึง (Flood plain deposits)

ที่ราบน้ำท่วมถึงมีลักษณะแบนราบ เกิดจากการสะสมตัวของตะกอนที่ถูกน้ำล้นฝั่งพัดพามาในฤดูน้ำหลาก สะสมตัวบริเวณที่ราบระดับต่ำสุดใกล้หรือติดกับแม่น้ำมีลักษณะเป็นที่ราบกว้างและที่ราบระหว่างหุบเขาตามแม่น้ำสายใหญ่ ทำให้ได้ตะกอนละเอียดเป็นชั้นหนา พบตะกอนชุดนี้เป็นบริเวณกว้างขวางทางฝั่งใต้ของลำน้ำกัก และสองฝั่งของน้ำแม่ลาว ส่วนทางฝั่งเหนือของน้ำกักนั้น พบเป็นบริเวณแคบๆ เท่านั้น ประกอบด้วยตะกอนละเอียดพวก **Clay** และ **silt** บางบริเวณอาจมีเม็ดทรายละเอียดขนาด 100 ไมครอน หรือเม็ดเหล็ก (**iron concretion**) ปะปนอยู่กับ **clay** และ **silt** มีสีดำเทา เทาอ่อน น้ำตาล ขาว มีจุดปะสีเหลือง สีแดง สีส้ม เนื้อแน่นเหนียว เป็นชั้นหนามากกว่า 7 เมตร

ตะกอนที่ราบน้ำท่วมถึงบริเวณใกล้ร่องน้ำ (Flood plain on channel)

เป็นตะกอนที่เกิดจากแม่น้ำกักกวัดแกว่งไปมาในอดีต ทำให้ได้ที่ราบกว้างสองฝั่งลำน้ำในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ พบร่องรอย **Meandering scars** และ **Abandoned channels** ตะกอนแบ่งเป็นสองส่วนไม่ต่อเนื่อง ส่วนบนประกอบด้วย **Clay** และ **Silt** สีเทา สีน้ำตาล มีจุดปะสีแดง เหนียวเนื้อแน่น ความหนาแตกต่างกันไป ในบริเวณที่หนาจากลำน้ำจะมีความหนาประมาณ 3-5 เมตร และบริเวณใกล้ลำน้ำหนา 0.5-1 เมตร ส่วนล่างเป็นชั้นทราย ทรายปนกรวด ชั้นกรวด การคัดขนาดปานกลาง เม็ดค่อนข้างเหลี่ยมสีเทาถึงเทาอ่อน มีความหนาตั้งแต่ 0.5-4 เมตร

ตะกอนตะพักลำน้ำ (Terrace deposits)

เป็นที่ราบสูง ตั้งแต่เส้นระดับ 400 ขึ้นไป จะถูกกัดเซาะให้แบนราบและเป็นลูกคลื่น มีรูปร่างสัณฐานกลม ลักษณะทั่วไปคล้ายเนินหินแข็ง มีความหนาไม่แน่นอน ประกอบด้วยกรวด ทราย ลูกกรวด และศิลาแลง กรวดมีลักษณะกลมมน บางแห่งถูกสารละลายเหล็กออกไซด์เชื่อมประสานจนกลายเป็นชั้นลูกกรวด

ลักษณะภูมิประเทศเป็นแบบขั้นบันได เกิดจากแม่น้ำกัดเซาะทางดิ่งมากขึ้น น้ำท่วมเฉพาะในปี ที่มีปริมาณน้ำมาก

ตะกอนเนินดิน (Natural levee)

เป็นสันแคบๆ ทั้งสองฝั่งแม่น้ำ เกิดจากตะกอนมาสะสมตอนที่น้ำล้นฝั่ง จึงมีระดับสูงกว่าที่ราบน้ำท่วมถึง พบเป็นสันยาวขนานกับลำน้ำแม่ลาวทั้งสองฝั่ง บางช่วงกว้างถึง 1 กิโลเมตร ตะกอนส่วนใหญ่ประกอบด้วยทราย และ Silt ชั้นบางๆ แทรกสลับกัน มีสีน้ำตาลหรือสีน้ำตาลปนเทา มักมีแร่ไมก้า และเม็ดเหล็กขนาดเล็กปะปนบ้าง มีการคัดขนาดดี ตะกอนจะไม่หนามาก และมักวางตัวอยู่บนชั้นทรายและชั้นกรวดที่สะสมตัวในร่องน้ำ หรือที่ราบน้ำท่วมถึง

ตะกอนเชิงเขา (Colluvium)

เป็นที่ราบที่มีลักษณะคล้ายกับที่ราบน้ำท่วมถึง แต่มีระดับสูงกว่า และมักเกิดตามเชิงเขา หรือเนินเขา เกิดจากทางน้ำไหลผ่านแล้วกัดเซาะ พัดพา ตะกอนต่างๆ มาสะสม ประกอบด้วยทราย ทรายแป้ง และ Clay ปะปนกัน ไม่แสดงเป็นชั้นที่ชัดเจน ไม่มีการคัดขนาด เม็ดทรายค่อนข้างเหลี่ยม สีน้ำตาล น้ำตาลอ่อน บางแห่งมีกรวดปะปนด้วย

หินแปร (Metamorphic rocks)

ประกอบด้วยหินแปรเกรดต่ำชนิดหินฟิลไลต์ หินชนวน หินชีสต์ และหินควอร์ตไซต์ พบกระจายตัวเป็นแนวยาวทางด้านตะวันตกของพื้นที่ติดกับแนวเทือกเขาหินแกรนิตมีลักษณะเป็นภูเขาสูง สลับซับซ้อน ส่วนหินฟิลไลต์ หินชนวนและหินชีสต์ ผุพังได้ง่าย ไม่คงสภาพเป็นภูเขาสูง ส่วนใหญ่พบเป็นลักษณะเนินเขาเตี้ย

หินอัคนี (Igneous rocks)

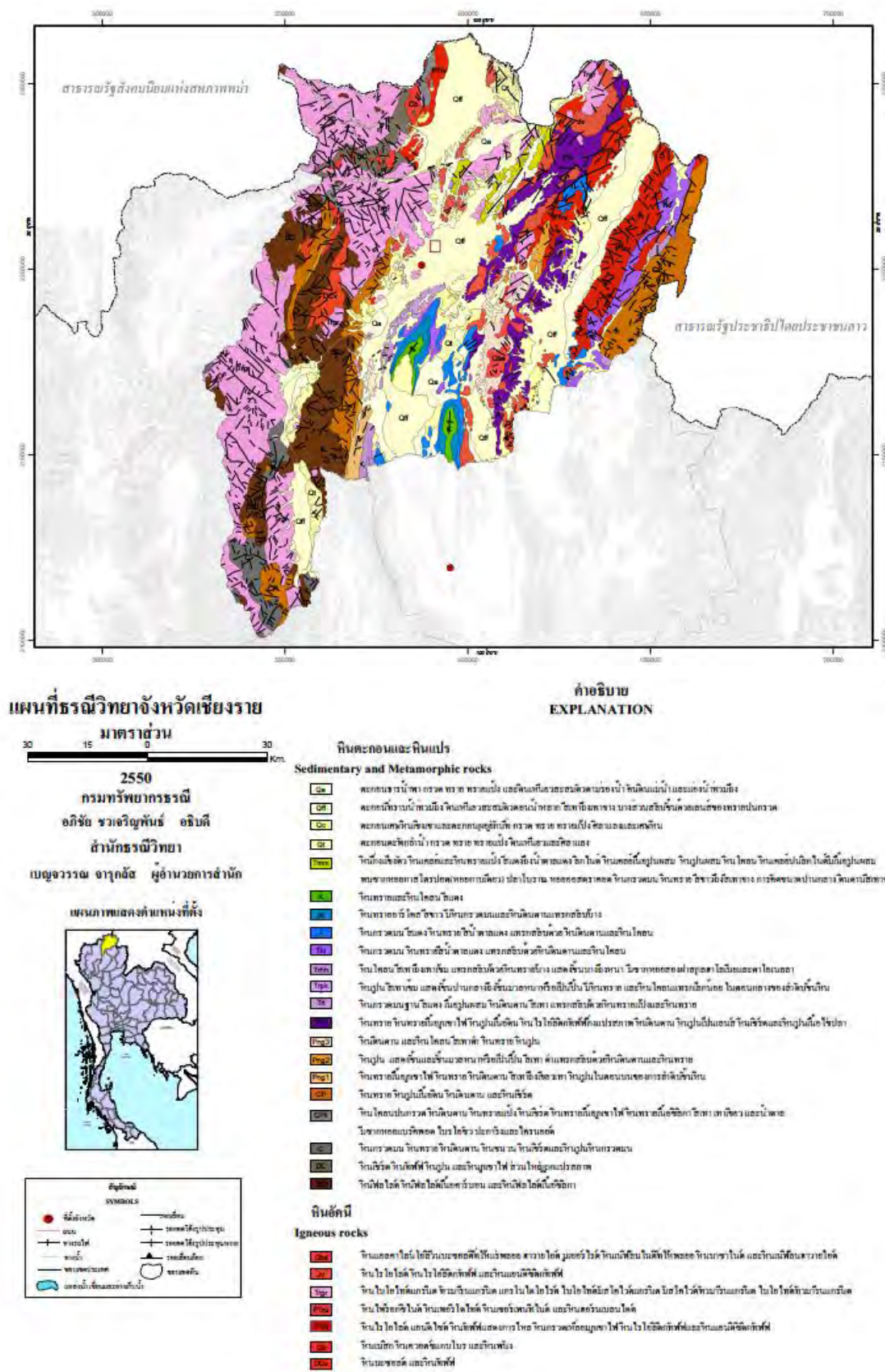
ประกอบด้วยหิน หินไฟรอกซีไนต์ และหินแปรชนิดหินเซอเพนทีนไนต์ มักมีสีดำ เขียวเข้ม ผุกร่อนง่าย ทำให้ภูมิประเทศในบริเวณนี้ไม่คงสภาพเป็นภูเขาสูง ยกเว้นที่เป็นเทือกเขาสูงทางด้านตะวันออก พบกระจายมากทางด้านตะวันออก และพบเป็นหย่อมๆ ทางตอนเหนือ ด้านตะวันตก และตอนใต้ของพื้นที่ส่วนใหญ่วางตัวในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ หินอัคนีแทรกซอนชนิดหินแกรนิต หินไดออไรต์ พบแผ่กระจายกว้างขวางทางทิศตะวันตกของจังหวัด หินภูเขาไฟ

ชนิดหินบะซอลต์ กลุ่มพื้นที่ประมาณ 50 ตารางกิโลเมตร มีเนื้อละเอียด สีดำแน่นแข็ง บางส่วนมีรูพรุนในเนื้อหินเนื่องมาจากมีฟองอากาศเข้าไปแทรกในลาวาขณะแข็งตัวกลายเป็นหิน มีการหาอายุโดยวิธีกัมมันตภาพรังสี K/Ar ได้อายุประมาณ 1.6-1.7 ล้านปี หินไรโอไลต์ หินแอนดีไซต์ หินกรวดภูเขาไฟ และหินแก้วภูเขาไฟ พบแผ่กระจายตัวเป็นหย่อมๆ ทางด้านตะวันออกของพื้นที่วางตัวในทิศทางตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ และทิศเหนือ-ใต้ มีลักษณะภูมิประเทศเป็นภูเขา

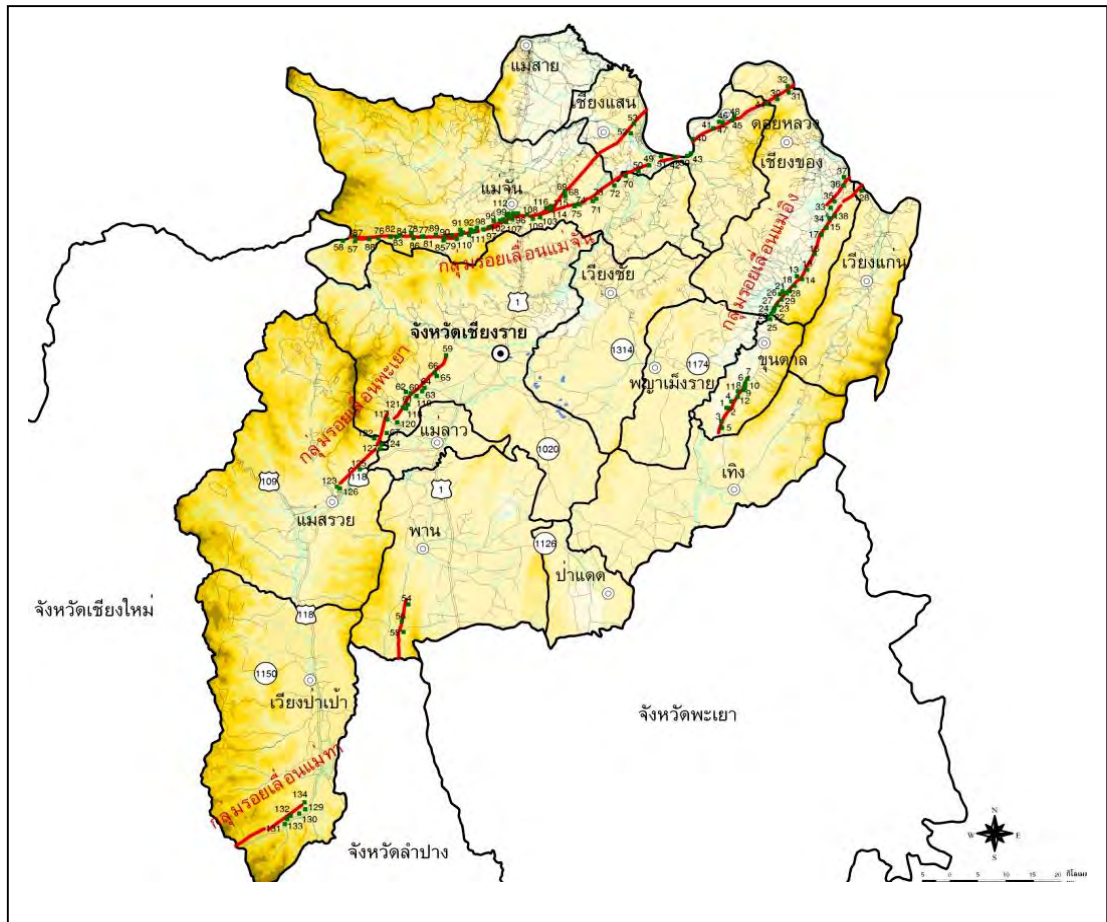
2.4 ธรณีวิทยาโครงสร้าง

โครงสร้างใหญ่ของชั้นหินทางด้านตะวันตกวางตัวในแนวประมาณเหนือ-ใต้ และทางด้านตะวันออกวางตัวในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ โดยมีชั้นหิน คัดโค้งรูปประทุนหงายแบบตลบทับในหินทรายและหินกรวดมน บริเวณด้านเหนือและด้านตะวันออกของอำเภอพาน ทำให้ลักษณะภูมิประเทศเป็นเขาสูงในบริเวณที่ราบลุ่มน้ำแม่กก ซึ่งอยู่ทางตอนใต้ของพื้นที่แกนของชั้นหินคัดโค้งอยู่ในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ และแนวประมาณเหนือ-ใต้ โดยมีระนาบแกนเอียงไปทางทิศตะวันตก การแทรกดันตัวของหินแกรนิตทางด้านตะวันตกของพื้นที่ และหินภูเขาไฟทางด้านตะวันออกของพื้นที่ ส่งผลให้หินในบริเวณดังกล่าวมีการคัดโค้งแบบซับซ้อนและมีภูมิประเทศเป็นเขาสูง โดยเฉพาะด้านตะวันออกของพื้นที่ ที่ชั้นหินมีการเอียงเทตัวมากและเมื่อมีการกัดกร่อนตามธรรมชาติ ร่วมด้วยทำให้เกิดลักษณะภูมิประเทศที่สวยงาม คือ ภูชี้ฟ้า และผาตั้ง

รอยเลื่อนที่พาดผ่านในพื้นที่จังหวัดเชียงรายคือ กลุ่มรอยเลื่อนเชียงแสน (Chiang Saen Fault Zone) ซึ่งรวมถึง รอยเลื่อนแม่จัน (รูป 2.2) รอยเลื่อนนี้พาดผ่านประเทศไทยมีความยาวประมาณ 150 กิโลเมตร ในทิศทางตะวันออก-ตะวันตก และตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ รอยเลื่อนนี้เริ่มจากประเทศสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว ผ่านอำเภอเชียงแสน แหล่งน้ำพุร้อนแม่จัน ตามความยาวของแม่น้ำกก จนถึงแอ่งอำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ เป็นกลุ่มรอยเลื่อนที่ตัดผ่านหินแกรนิตเป็นส่วนใหญ่ ผลจากรอยเลื่อนดังกล่าวทำให้จังหวัดเชียงรายมีแหล่งน้ำพุร้อนหลายแห่ง ปัจจุบันกลุ่มรอยเลื่อนนี้ยังคงมีการเคลื่อนตัวอยู่ เนื่องจากพบหลักฐานการตัดผ่านในชั้นตะกอนปัจจุบัน เป็นกลุ่มรอยเลื่อนตามแนวระดับที่มีทิศทางการเคลื่อนตัวไปทางซ้ายรอยแตกพบมากในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ และตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้



รูป 2.1 แผนที่ธรณีวิทยาจังหวัดเชียงราย มาตรฐาน 1:250000 กรมทรัพยากรธรณี 2550

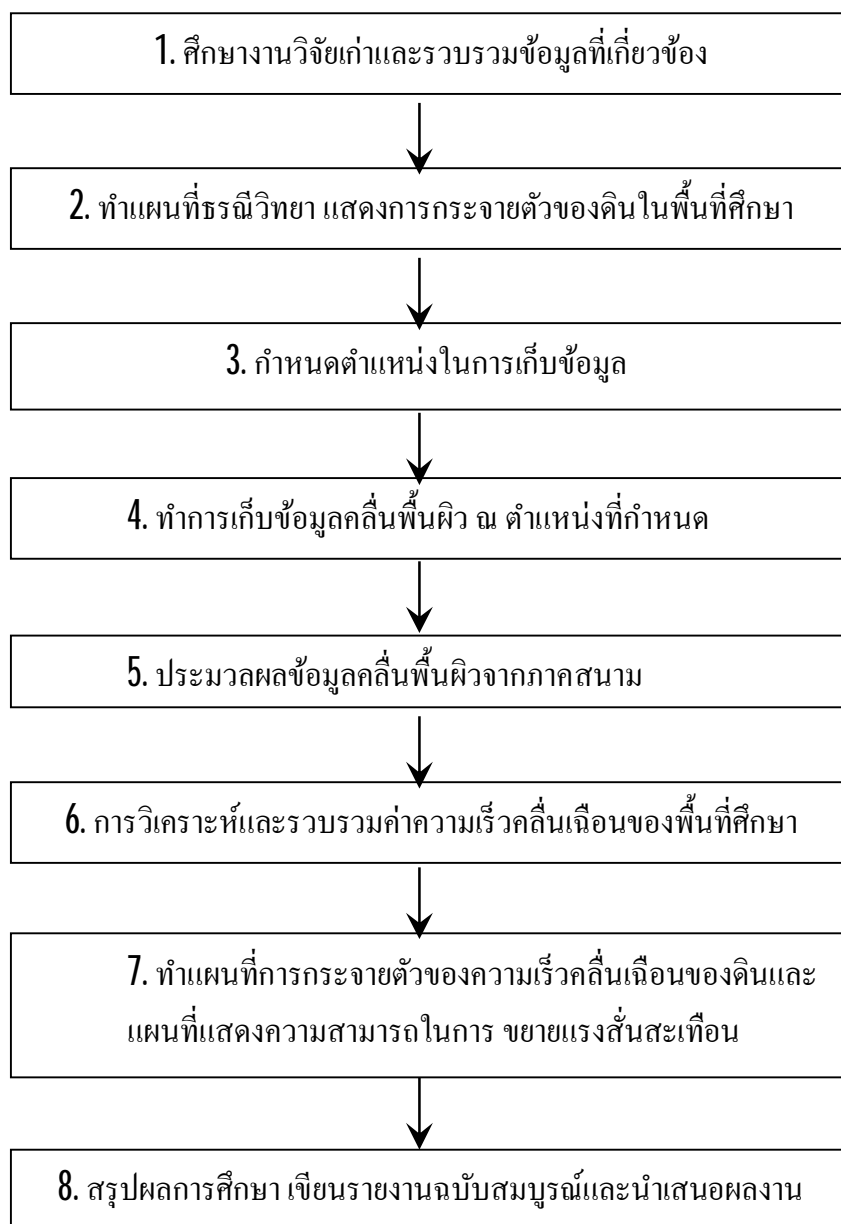


รูป 2.2 รอยเลื่อนมีพลัง (Active Fault) ในจังหวัดเชียงราย ประกอบด้วยกลุ่มรอยเลื่อนพะเยา กลุ่มรอยเลื่อนแม่จัน และกลุ่มรอยเลื่อนแม่ปิง
จาก http://www.dmr.go.th/download/article/article_20100625093557.jpg

บทที่ 3

ระเบียบงานวิจัย (Methodology)

ขั้นตอนงานวิจัยประกอบด้วย 8 ขั้นตอนหลัก ดังนี้



รูป 3.1 แผนผังแสดงขั้นตอนการทำงานวิจัย

วิธีการดำเนินงานวิจัย (Methodology)

3.1 ศึกษางานวิจัยเก่าและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

1. ศึกษางานวิจัยที่เคยมีผู้ทำการศึกษามาแล้วและรวบรวมข้อมูลพื้นที่ศึกษา ได้แก่ งานวิจัยที่เกี่ยวกับรอยเลื่อนมีพลัง และวิธีการหาความเร็วคลื่นเฉือน รวมทั้งการใช้อุปกรณ์ในการเก็บข้อมูลโดยใช้วิธี MASW
2. เตรียมอุปกรณ์และซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการออกภาคสนามและวิเคราะห์ประกอบด้วย
 - ข้อมูลแผนที่ภูมิประเทศ แผนที่ธรณีวิทยา ภาพถ่ายทางอากาศ ภาพถ่ายดาวเทียม ข้อมูลความเร็วคลื่นเฉือนของดินจากการทำการสำรวจในอดีต ข้อมูลหลุมเจาะสำรวจภายในพื้นที่และบริเวณใกล้เคียง รวมทั้งข้อมูลจากหลุมเจาะน้ำบาดาล
 - ทำการศึกษาการใช้ซอฟต์แวร์สำหรับประมวลผล ได้แก่ SurfSeis v.2, ArcView และ Google earth

เครื่องมือใช้ในการออกภาคสนาม (Instrument for filed data) แสดงในรูป 3.2

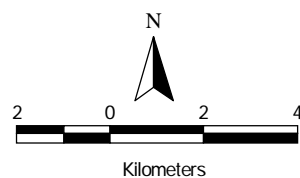
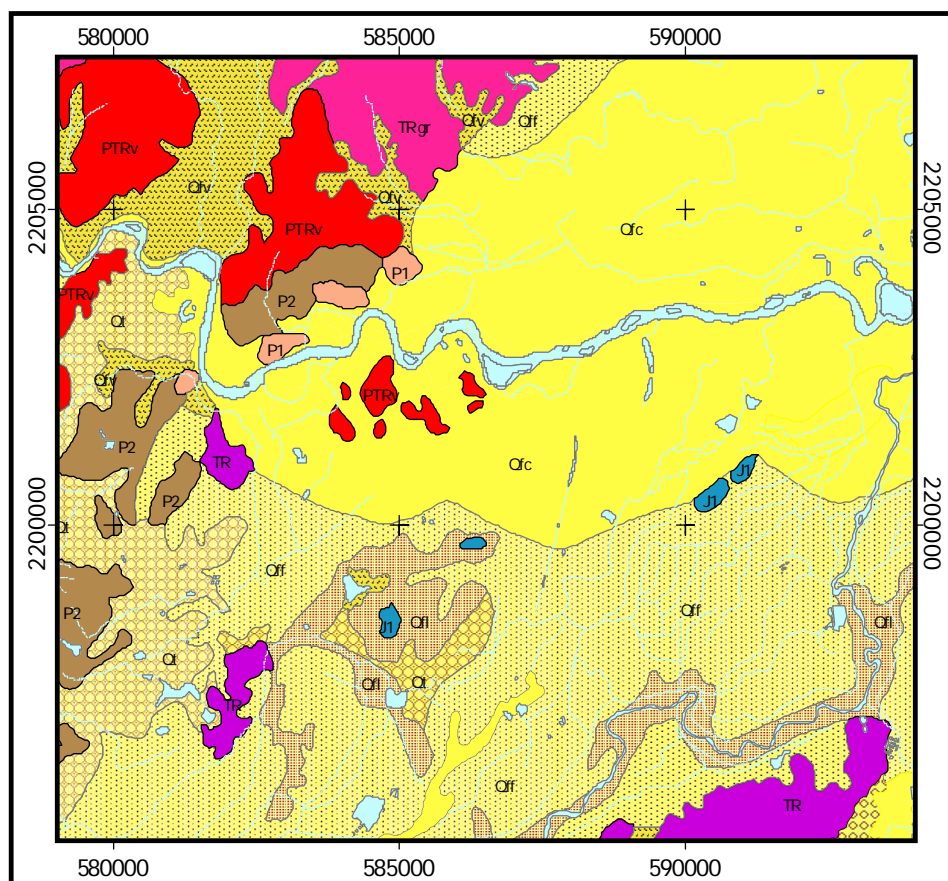
1. เครื่องตรวจวัดสัญญาณคลื่นไหวสะเทือนแบบ 24 ช่องสัญญาณ (Seismograph)
2. สายเคเบิลเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์
3. ค้อนปอนด์ขนาด 12 ปอนด์
4. สายเชื่อมต่อ Geophones
5. แผ่นโลหะ (Metal plate)
6. สายเชื่อมต่อแบตเตอรี่
7. คอมพิวเตอร์โน้ตบุค
8. เครื่อง GPS
9. ตัวรับสัญญาณคลื่นไหวสะเทือนจำนวน 24 ตัว มีความถี่ธรรมชาติเท่า 4.5 Hz



รูป 3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ออกภาคสนาม

3.2 ทำแผนที่ธรณีวิทยา แสดงการกระจายตัวของดินในพื้นที่ศึกษา

จำแนกดินออกเป็นกลุ่ม ตามลักษณะทางธรณีวิศวกรรม จากการแปลภาพถ่ายทางดาวเทียม และการปรับปรุงจากแผนที่ธรณีวิทยาประเทศไทย จังหวัดเชียงราย มาตราส่วน 1:50000 F4948 ระวัง 4948I (รูป 3.3)



Explanation

Sediments, Sedimentary Rocks and Metamorphic Rocks

- Qfc Flood plain on channel : clay and silt on sand layer
- Qff Flood plain : clay and silt
- Qfl Natural levee : silt and clay
- Qfv Colluvium and valley pain : clay, silt, sand and ferricrete
- Qr High terrain : silt, clay with lateritic layer

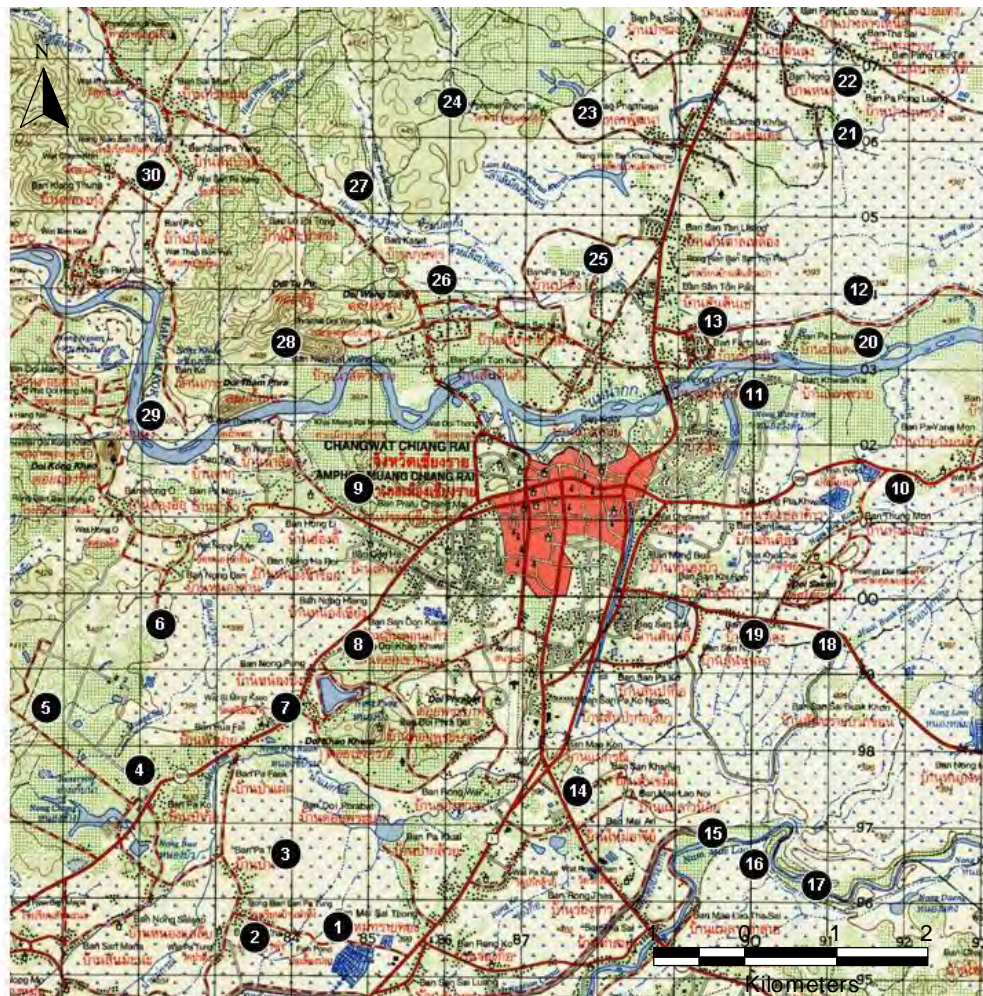
รูป 3.3 แผนที่การกระจายตะกอนดิน Quaternary ทั้งหมด 5 หน่วย ในพื้นที่ศึกษา

3.3 ออกภาคสนามเก็บข้อมูล ในระหว่างวันที่ 27-29 มกราคม 2555

การเก็บข้อมูลภาคสนาม ใช้วิธีการเก็บข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนแบบ **Multi-channel Analysis of Surface Wave (MASW)** (รูป 3.4 และรูป3.5)

ตำแหน่งในการเก็บข้อมูลภาคสนาม

ใช้แผนที่ระวางจังหวัดเชียงราย ลำดับชุด **L7017** ระวาง **4948I** มาตรฐาน **1:50,000** ครอบคลุมพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย คิดเป็นพื้นที่ประมาณ **120** ตารางกิโลเมตร



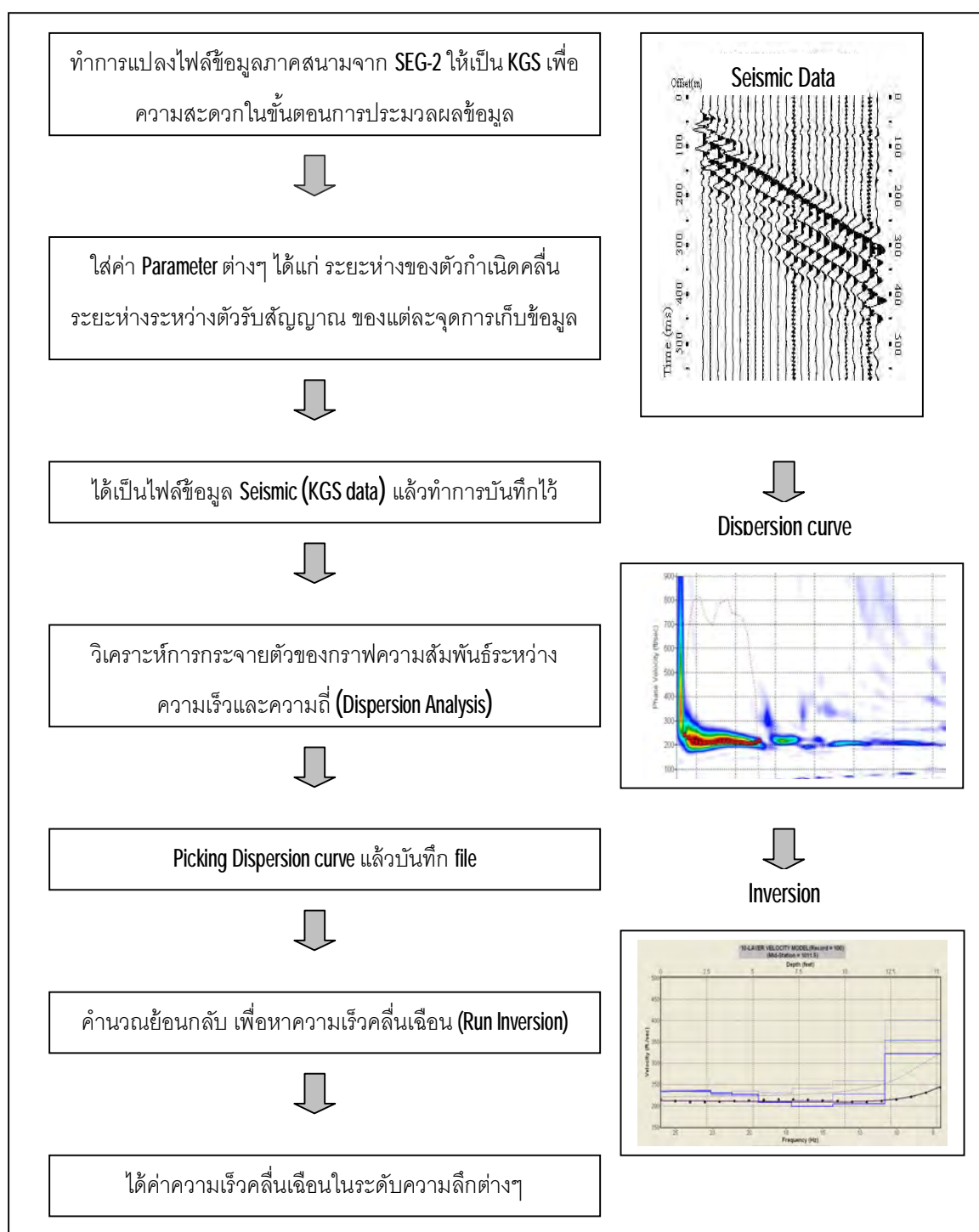
รูป 3.4 แสดงตำแหน่งจุดเก็บข้อมูลภาคสนามทั้ง 30 จุด



รูป 3.5 การเก็บข้อมูลในภาคสนาม

3.4 ประมวลผลข้อมูลคลื่นพื้นผิว MASW

ใช้ซอฟต์แวร์ **SurfSeis v.2.0** สำหรับการประมวลผลข้อมูล ซึ่งมีขั้นตอนการประมวลผลดังรูป 3.6 และข้อมูลการประมวลผลของทุกตำแหน่งเก็บข้อมูลได้จาก ภาคผนวก ข



รูป 3.6 แผนผังขั้นตอนการประมวลผลข้อมูลโดยใช้โปรแกรม SurfSeis v.2.0

บทที่ 4

การวิเคราะห์และแปลผลข้อมูล (Data analysis and interpretation)

4.1 การคำนวณค่าVs (30)

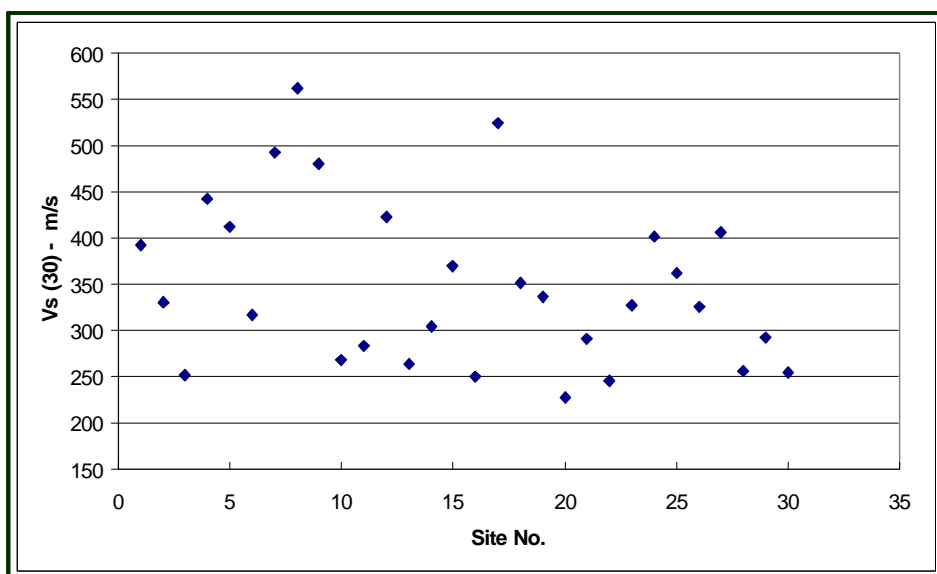
จากขั้นตอนการประมวลผล ทำให้ได้ค่าความเร็วคลื่นเฉือนกับระดับความลึกต่างๆ ในแต่ละจุดเก็บข้อมูลทั้ง 30 จุด (ภาคผนวก ก) ดังนั้นจะนำค่าความเร็วคลื่นเฉือนกับระดับความลึกต่างๆ นั้น มาทำการหาค่าเฉลี่ยที่ระดับความลึก 30 เมตร เพราะที่ระดับความลึก 30 เมตร เป็นระดับความลึกที่มีผลกระทบต่อรากฐานของสิ่งก่อสร้างโดยทั่วไป ตามสมการที่ (1) โดยรูปที่ 4.1 แสดงค่าความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยที่ระดับความลึก 30 เมตร เทียบกับตำแหน่งการเก็บข้อมูล

$$V_{s(30)} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n d_i / V_{si}} \quad (1)$$

$V_{s(30)}$: Average shear-wave velocity of the upper 30 m.

d_i : The thickness of any layer between 30 m.

V_{si} : Shear-wave velocity of the formation or layer, in m/s



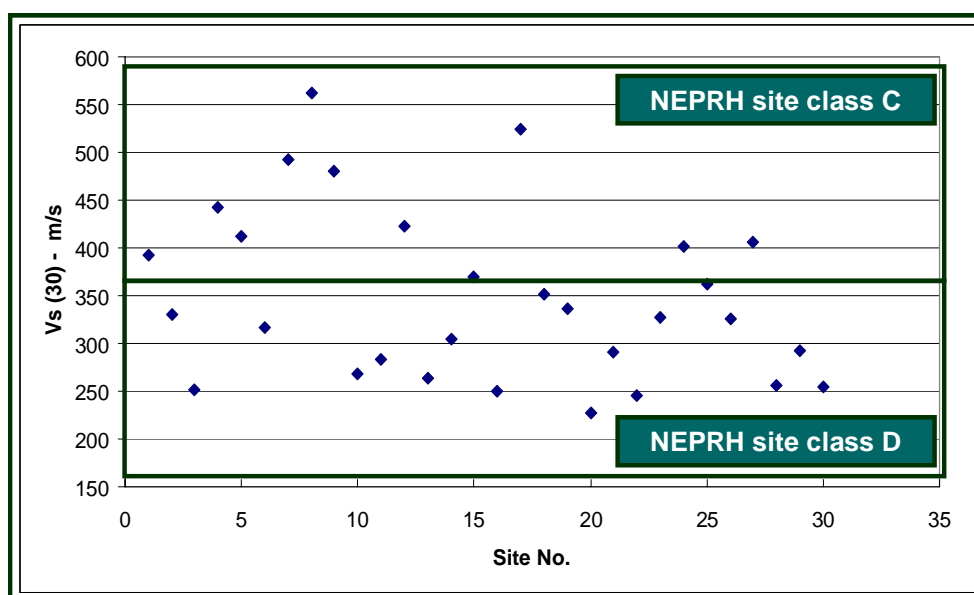
รูป 4.1 ค่าความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยที่ระดับความลึก 30 เมตร กับตำแหน่งการเก็บข้อมูล

4.2 การจำแนกประเภทพื้นที่จากค่า $V_s(30)$

ค่าความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยที่ระดับความลึก 30 เมตร ในแต่ละจุดเก็บข้อมูล สามารถใช้อ้างอิงถึงความสามารถในการขยายแรงสั่นสะเทือน โดยนำมาจัดจำแนกตามข้อกำหนดของ **National Earthquake Hazards Reduction Program (NEHRP) ปี 2003** ตามตาราง 4.2 และสามารถจัดจำแนกประเภทพื้นที่จากค่า $V_s(30)$ ได้เป็น 2 ประเภทคือ **Class C** และ **Class D** โดยที่ **Class C** $360 \leq V_s \leq 760$ และ **Class D** $180 \leq V_s < 360$ (รูป 4.3 และ ภาคผนวก ก)

ตาราง 4.2 National Earthquake Hazards Reduction Program (NEHRP) ปี 2003

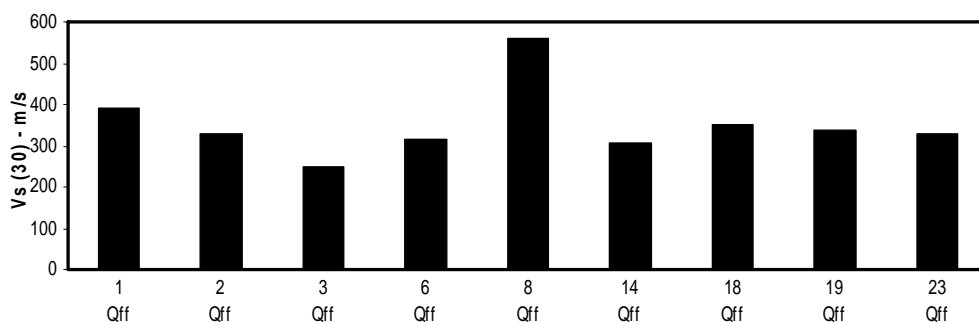
Soil Type	General Description	V_s (m/s)
A	Hard Rock	$V_s > 1500$
B	Rock	$760 < V_s \leq 1500$
C	Hard and/or stiff/very stiff soils; most gravels	$360 < V_s \leq 760$
D	Sand, silts and/or stiff/very stiff clays, some gravels. Having average blow counts of $15 \leq N \leq 50$ or average shear strength of $50 \text{ kPa} \leq S \leq 100 \text{ kPa}$	$180 < V_s \leq 360$
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	Needs specific calculations	



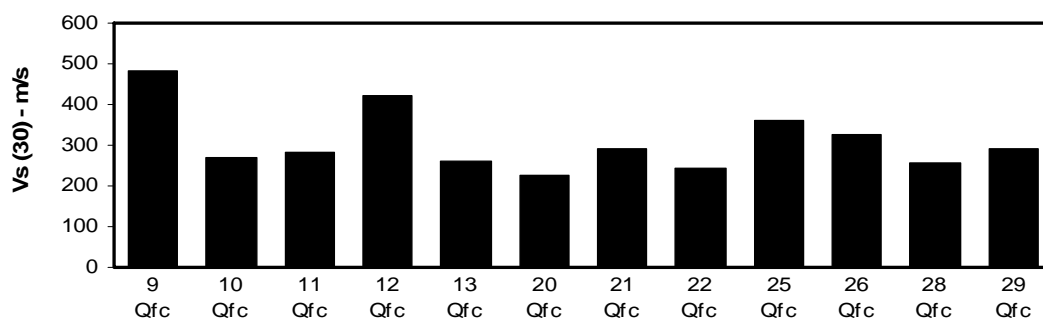
รูป 4.3 การจัดจำแนกพื้นที่จากค่า $V_s(30)$

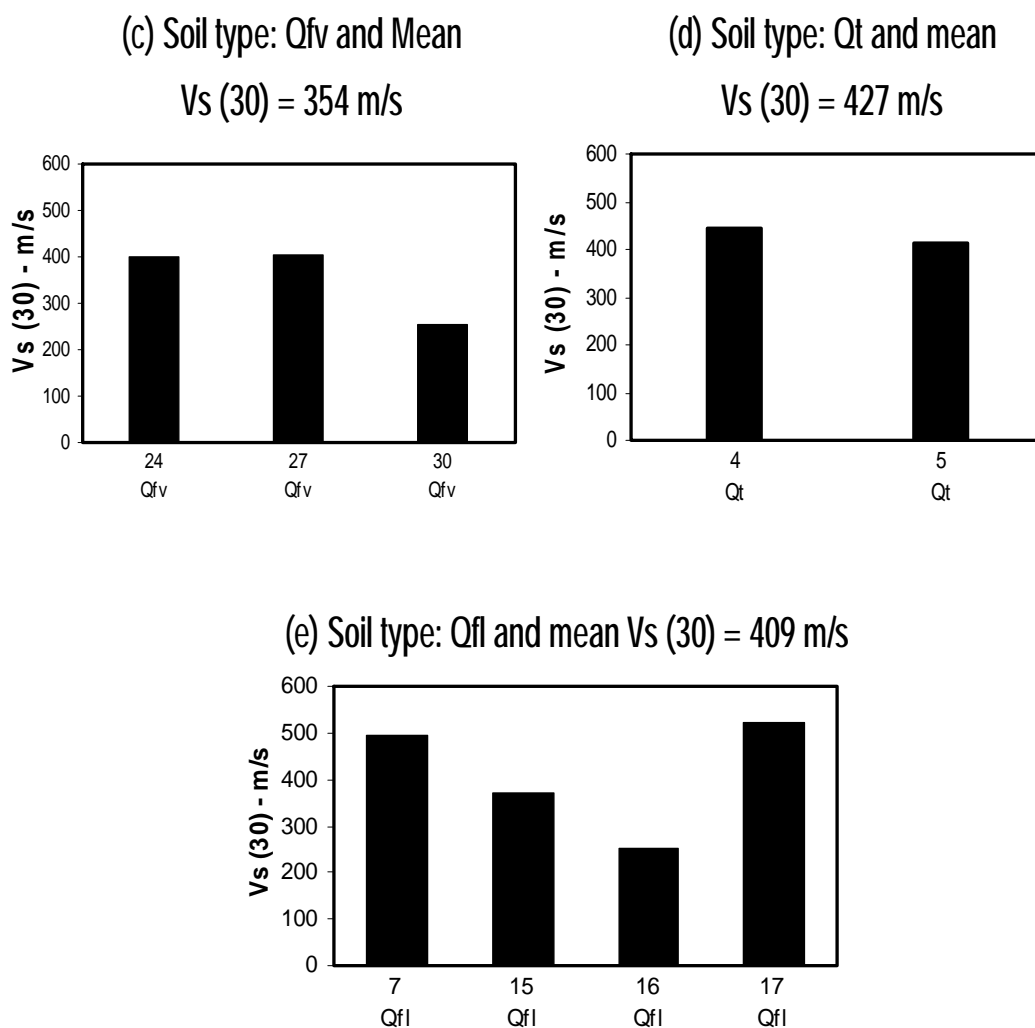
เมื่อได้ทำการจัดจำแนกแสดงการกระจายตัวของค่าความเร็วคลื่นเฉือนที่ระดับความลึก 30 เมตร ($V_s(30)$) กับประเภทของตะกอนทั้ง 5 ประเภทในพื้นที่การศึกษา ได้แก่ Qff (Floodplain) Qfc (Floodplain on channel) Qfv (Valley plain) Qt (Colluvium) และ Qfl (Natural levee) ซึ่งการจัดจำแนกนี้สามารถช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูลค่าความเร็วคลื่นเฉือนในแต่ละตำแหน่งของการเก็บข้อมูลให้มีความถูกต้องและน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น สำหรับสาเหตุของข้อมูลที่มีค่าผิดพลาดหรือน่าสงสัยอาจเกิดได้ลักษณะธรณีวิทยาในแต่ละจุดเก็บข้อมูลที่มีความแตกต่างกัน เช่น ความหนาของตะกอน ชั้นหินฐานที่อยู่ต้น หรือเกิดจากการบดอัดแน่นของชั้นดินจากการถมพื้นที่หรือสร้างถนนในบริเวณนั้น และอีกปัจจัยที่สำคัญคือการเก็บข้อมูลที่มีสัญญาณรบกวน จากการคมนาคม ส่งผลให้การทำให้ในขั้นตอนการประมวลผลอาจมีการตีความที่ผิดพลาดเกิดขึ้นได้ อย่างเช่น ตะกอนประเภท Qff (flood plain) ค่าเฉลี่ย $V_s(30)$ จะมีค่า 352 m/s แต่จากกราฟแท่งในตำแหน่งจุดเก็บข้อมูลที่ 8 นั้น มีค่า $V_s(30)$ สูงมาก ทำให้เราเห็นถึงความผิดปกติ และได้ทำการศึกษารายละเอียดในตำแหน่งการเก็บข้อมูลดังกล่าว และได้พบว่าจุดเก็บข้อมูลที่ 8 เป็นบริเวณเชิงเขา ซึ่งมีการสะสมตะกอนที่บาง เมื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยจึงได้ค่าที่มากเกินไป ดังแสดงในรูป 4.4(a)

(a) Soil type: Qff and mean $V_s(30) = 352$ m/s



(b) Soil type: Qfc and mean $V_s(30) = 309$ m/s





รูป 4.4 ค่าความเร็วคลื่นเฉือนของ soil type ทั้ง 5 ประเภท ได้แก่ Qff (Floodplain) Qfc(Floodplain on channel) Qfv (Valley plain) Qt (Colluvium) และ Qfl (Natural levee)

บทที่ 5

สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ (Conclusions and Recommendations)

จากการศึกษาและประเมินความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของพื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัด เชียงราย โดยการรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งในเชิงข้อมูลแผ่นดินไหว และวิธีการสำรวจคลื่นไหวสะเทือนด้วยวิธี **MASW (Multi-channel Analysis of Surface Wave) (Park et al., 1999)** สำหรับการเก็บข้อมูลในภาคสนามและการประมวลผลนั้น ให้ได้มาซึ่งค่าความเร็วคลื่นเฉือนที่ระดับความลึก **30 เมตร Vs(30)** ใช้อ้างอิงถึงความสามารถในการขยายแรงสั่นสะเทือนแผ่นดินไหวได้ (**Pekkan et al., 2006**) นำไปสู่การจัดทำเป็นแผนที่ความเร็วคลื่นเฉือน (รูป 5.1) และแผนที่การจำแนกประเภทพื้นที่จากค่าความเร็วคลื่นเฉือน (รูป 5.2) ของพื้นที่ศึกษา ตามข้อกำหนดของ **National Earthquake Hazards Reduction Program (NEHRP) ปี 2003** เนื่องจากพื้นที่ตั้งของ อำเภอเมือง จังหวัด เชียงราย มีโอกาสสูงในการได้รับผลกระทบจากแรงสั่นสะเทือนแผ่นดินไหว ที่มีแหล่งกำเนิดจากภายในประเทศและจากประเทศข้างเคียงอีกด้วย การศึกษาถึงความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวในพื้นที่การศึกษานี้ จึงเป็นเรื่องที่ควรให้ความสำคัญ เพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการวางแผน และตัดสินใจ สำหรับการก่อสร้างโครงสร้างทางวิศวกรรม รวมทั้งการเตรียมความพร้อมการดำเนินชีวิต

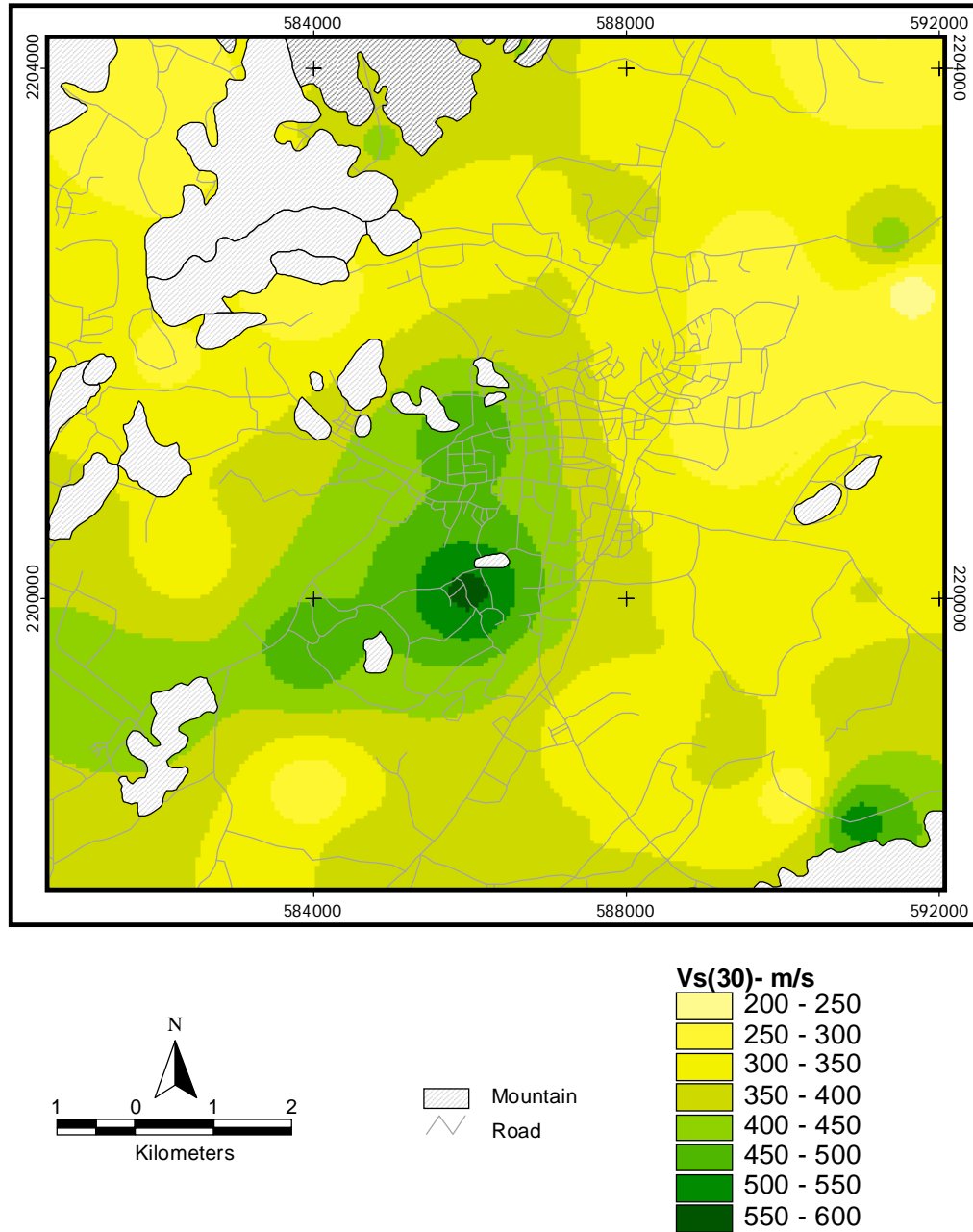
จากแผนที่ความเร็วคลื่นเฉือน (**Vs(30) map**) ดังแสดงในรูป 5.1 โดยใช้โทนสีเขียวเป็นบริเวณที่ค่าความเร็วคลื่นเฉือนมาก และโทนสีเหลืองเป็นบริเวณที่มีค่าความเร็วคลื่นเฉือนน้อย จะสังเกตได้จากพื้นที่ทางตอนกลางในทิศทางเกือบตะวันตกเฉียงใต้ของพื้นที่ศึกษาจะเป็นสีเขียวเข้ม และมีการลดระดับของโทนเป็นโทนสีเขียวอ่อนไปกระทั่งเป็นโทนสีเหลืองในทางด้านทิศตะวันออกของพื้นที่ศึกษา และจากแผนที่การจำแนกประเภทของพื้นที่จากค่า **Vs(30)** หรือ **NEHRP site classification map** ดังแสดงในรูป 5.2 นั้น จากค่า **Vs(30)** ทำให้สามารถจำแนกพื้นที่ได้เป็น 2 ประเภทคือ พื้นที่ประเภท **C** ที่มีค่าเฉลี่ย **Vs(30)** เท่ากับ **418 m/s** ซึ่งเป็นตะกอนตะพักลำน้ำ (**High Terrace**) และตะกอนเนินดิน (**Natural Levee**) โดยส่วนใหญ่จะกระจายตัวอยู่ทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ของพื้นที่ศึกษา สำหรับพื้นที่ประเภท **D** มีค่าเฉลี่ย **Vs(30)** เท่ากับ **338 m/s** เป็นตะกอนบริเวณที่ราบน้ำท่วมถึง (**Flood Plain**) และที่ราบระหว่างเขา (**Valley Plain**) โดยส่วนใหญ่จะกระจายตัวอยู่ทางตอนเหนือและตะวันออกเฉียงเหนือของพื้นที่ศึกษา และจากข้อกำหนดของ **National Earthquake Hazards Reduction Program (NEHRP) ปี 2003** ได้กล่าวไว้ว่า **soil type**

ตั้งแต่ประเภท D ไปจนถึง F เป็นตะกอนดินประเภทที่มีความเสี่ยงต่อการขยายแรงสั่นสะเทือนมากขึ้นตามลำดับจาก D ไป F จากการจัดจำแนกประเภทพื้นที่ตามค่า Vs(30) ของพื้นที่การศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย โดยพื้นที่ส่วนใหญ่ เป็นพื้นที่ประเภท D จึงมีความเสี่ยงต่อการขยายแรงสั่นสะเทือนได้มาก หากเกิดแผ่นดินไหวขึ้น ดังนั้นเพื่อความไม่ประมาทและความปลอดภัยควรมีการวางแผนและออกแบบฐานรากของสิ่งก่อสร้างให้มีความมั่นคงแข็งแรง เพื่อลดโอกาสเสี่ยงต่อมาตุภัยเสียชีวิตและทรัพย์สินที่อาจจะเกิดขึ้นได้ในพื้นที่ดังกล่าว

ปัญหาและข้อเสนอแนะ

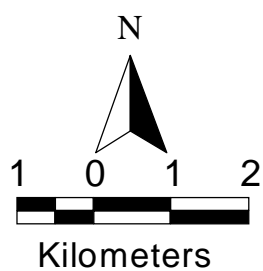
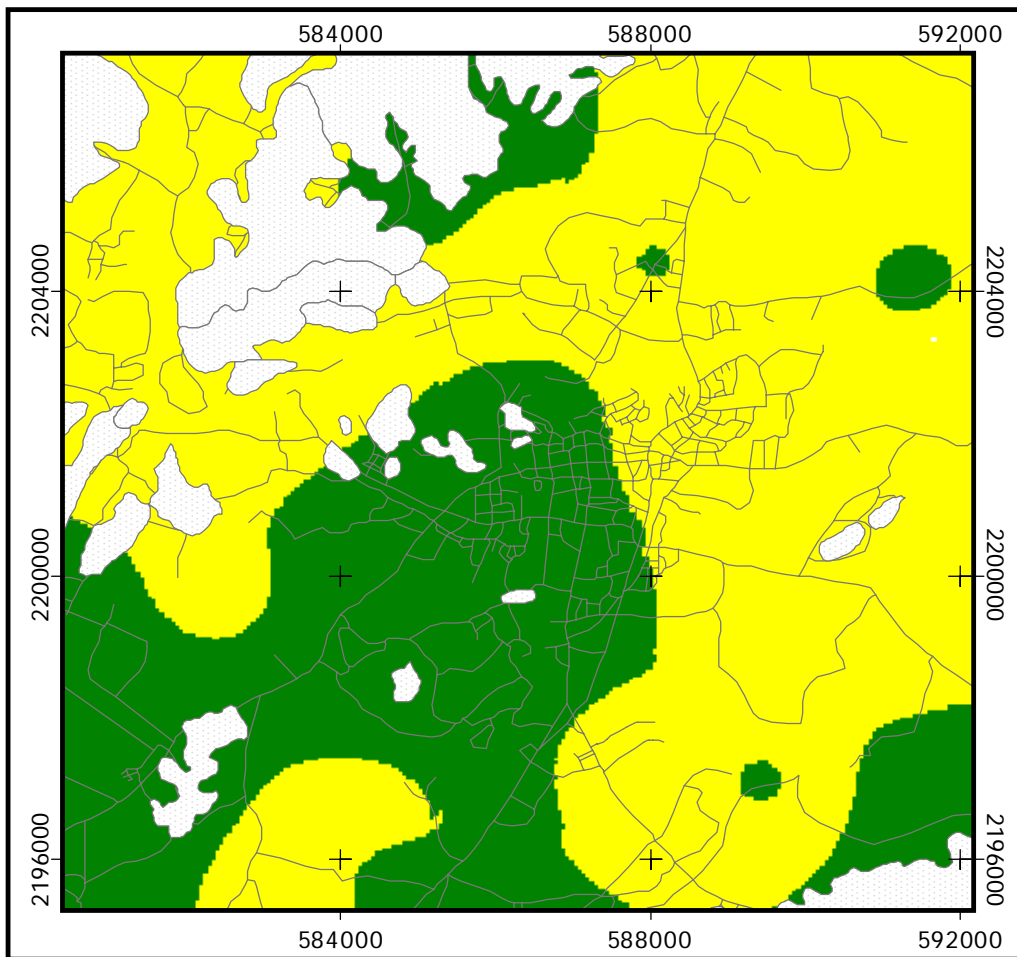
1. ก่อนการออกภาคสนาม ควรมีการศึกษาเส้นทางในการเข้าถึงพื้นที่ให้เข้าใจ เพื่อความสะดวกประหยัดค่าใช้จ่าย และเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพเก็บข้อมูลในตำแหน่งที่กำหนดได้มากขึ้น เมื่อทำการลงพื้นที่ภาคสนาม
2. การเพิ่มตำแหน่งในการเก็บข้อมูลภาคสนามให้ละเอียดเพิ่มมากขึ้น คือการเพิ่มจุดเก็บข้อมูลนั้น โดยทำการเก็บข้อมูลให้กระจายครอบคลุมพื้นที่ศึกษา รวมทั้งครอบคลุมประเภทของตะกอนในพื้นที่ศึกษา ให้มีจำนวนจุดข้อมูลไม่แตกต่างกันของตะกอนแต่ละประเภท จะทำให้สามารถสร้างแผนที่ที่มีความถูกต้องและน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น เนื่องจากด้วยข้อจำกัดของเวลาและงบประมาณ ทำให้งานวิจัยในครั้งนี้สามารถเก็บข้อมูลได้เพียง 30 จุด
3. การสืบค้นหารายงานวิจัยที่แสดงภาพตัดขวางลักษณะธรณีวิทยา และข้อมูลหลุมเจาะของพื้นที่ศึกษา ทำได้ยากและมีข้อมูลน้อย จึงทำให้มีข้อมูลด้านความลึกของตะกอนในพื้นที่ศึกษาที่ไม่ค่อยมีความชัดเจน ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในรายละเอียดต่อไป

Vs (30) Map



รูป 5.1 แผนที่ค่าความเร็วคลื่นเฉือนที่ระดับความลึก 30 เมตร

NEHRP site classification Map



LEGEND NEHRP Site Classes

- Site class D (245-360 m/s)
- Site class C (361-562 m/s)
- Mountain
- Road

รูป 5.2 แผนที่การจำแนกประเภทพื้นที่จากค่าความเร็วคลื่นเฉือน

เอกสารอ้างอิง

- กรมทรัพยากรธรณี, 2528. ธรณีวิทยาระวางจังหวัดเชียงราย, กองธรณีวิทยา กรุงเทพฯ: กรมทรัพยากรธรณี ฉบับที่ 0046. 24 หน้า.
- ปัญญา จารุศิริ, สุวิทย์ โคสุวรรณ, วิโรจน์ ดาวฤกษ์, นรินทร์ เวชบันเทิง, และ สุทธิพันธ์ ชุทธานนท์, 2000. รายงานวิจัย (ฉบับสมบูรณ์) แผ่นดินไหวในประเทศไทย และพื้นแผ่นดินเอเชียตะวันออกเฉียงใต้, รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ เสนอต่อสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว), 171 หน้า.
- ปัญญา จารุศิริ และคณะ, 2554. รายงานวิจัย (ฉบับสมบูรณ์) โครงการสำรวจรอยเลื่อนมีพลังและการประเมินระดับอันตรายจากแผ่นดินไหวในพื้นที่ภาคเหนือและภาคตะวันตกของประเทศไทย(ส่วนที่ 1: ภาคเหนือ), รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ เสนอต่อสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว), 210 หน้า.
- Building Seismic Safety Council. 2003. NEHRP Recommended Provisions for seismic Regulations for New buildings and other Structures, Part1: Provisions, FEMA 368, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.
- Dornboonlon, A. 2009. Determining shear wave velocity of Bangkok subsoils using passive remote MASW technique. Bachelor of Science, Department of geology, Chulalongkorn University.
- Hinthong, C., 1997, The study of active faults in Thailand, Report of EANHMP An Approach to Northern and Western Thailand, Annals of Geophysics: p. 957-981.
- Juntamat P., 2007, Comparison of shear-wave velocity profile of Bangkok subsoil from MASW and borehole measurements. Bachelor's degree, Department of geology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand
- Luangthavornkul, N. 2007. Determination of the masw field parameters for Bangkok subsoils. Bachelor of Science, Department of geology, Chulalongkorn University.
- Nutaiaya, P., Sodsri, S. and Arnold, E. P., 1985. Southeast Asia Association of Seismology and Earthquake Engineering, Series on Seismology, v.II-Thailand, Bangkok, 403p.

- Nutalaya, P. and Shrestha, 1990, Earthquake ground motions and seismic risk in Thailand. Proceeding of 1990 Annual Conference, Engineering Institute of Thailand, Bangkok: p. 55- 77.
- Park, C.B., R.D. Miller, and J. Xia, 1999, Multi-channel analysis of surface waves: Geophysics, 64,3, p. 800-808.
- Pattararattanakul, P., 2003, Liquefaction Resistance of Sands in the Northern Part of Thailand, Ph.D. Dissertation, Chulalongkorn University, Thailand.
- Pekkan, E., et al.2006. Analyse of Urbanization Chang According to NEHRP Soil Classification Map. Conference on Geographic Information Science: 350-358
- Seed, H.B., Romo, M.P., Sun, J.P., Jaime, A., and Lysmer, J., 1978, Relationships between soil conditions and earthquake ground motions in Mexico City in the Earthquake September 19, 1985. UCB/EERC-87/15, Univ. of California, Berkeley, California, p.112.
- Taechavaorainskun, S. and Nuntasarn, R. 2005, Study of site amplification due to earthquakes in Bangkok and Chiengrai provinces. Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, Thailand.

ภาคผนวก ก

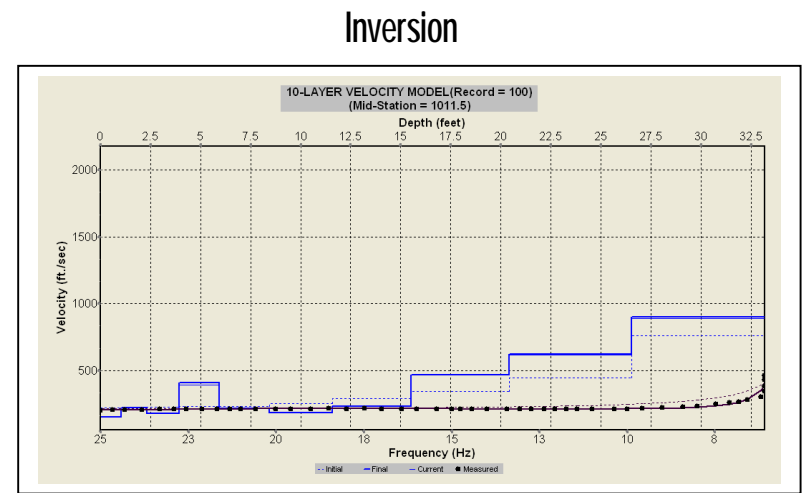
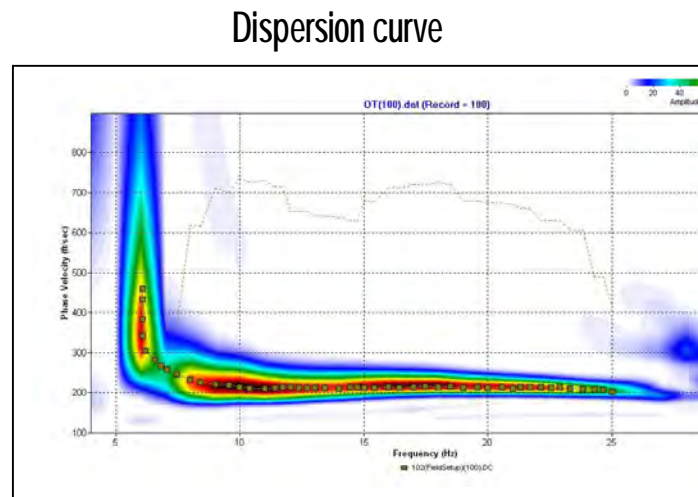
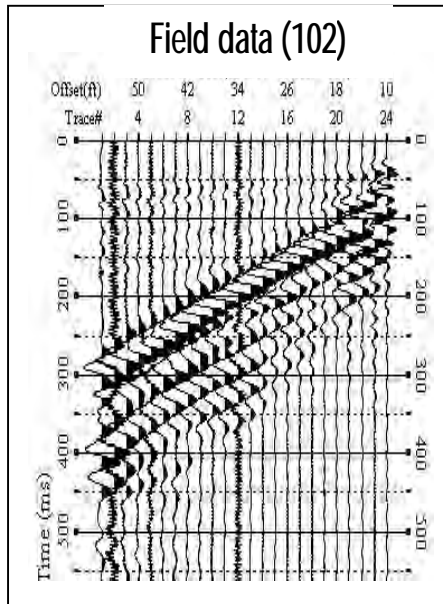
ตารางค่าความเร็วคลื่นเฉือนและการจำแนกประเภทพื้นที่
ณ ตำแหน่งที่เก็บข้อมูล

ตารางค่าความเร็วคลื่นเฉือนและการจำแนกประเภทพื้นที่ ณ ตำแหน่งที่เก็บข้อมูล

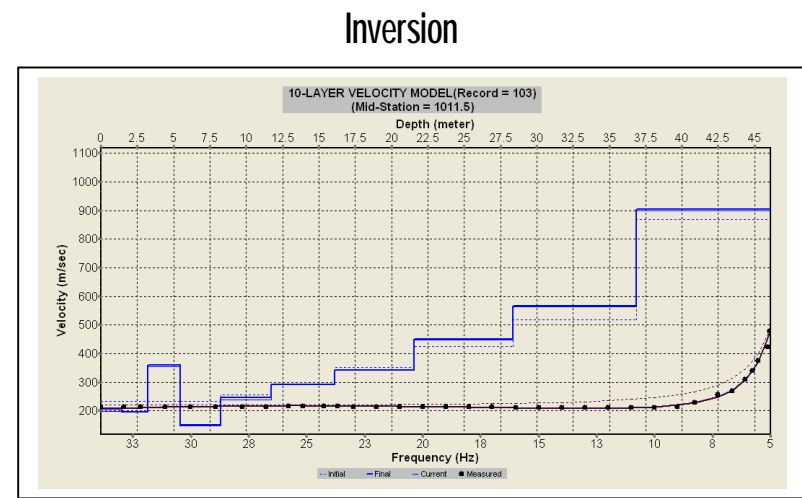
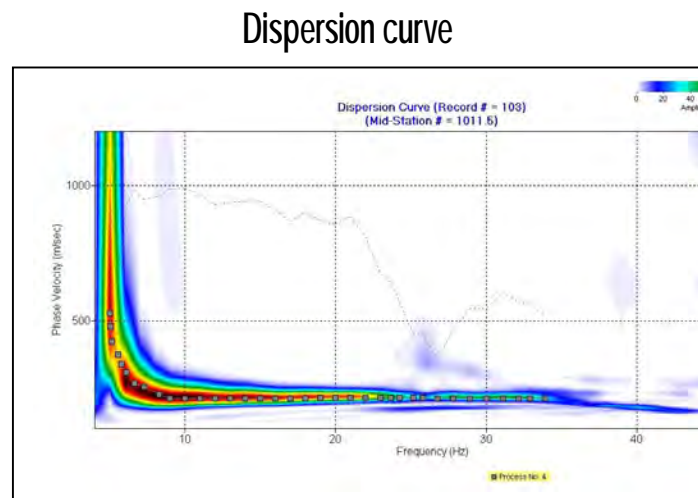
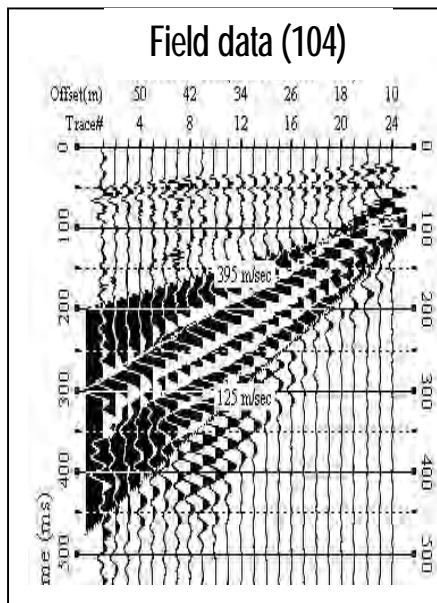
Station	UTM Grid X	UTM Grid Y	Geology	Vs(30) m/s	Site classification
1	584597	2195740	Qff	392	C
2	583501	2195672	Qff	330	D
3	583954	2196638	Qff	251	D
4	582001	2197897	Qt	443	C
5	580893	2198465	Qt	412	C
6	582379	2199746	Qff	316	D
7	583905	2198543	Qfl	493	C
8	585973	2199315	Qff	562	C
9	585940	2201453	Qfc	481	C
10	589280	2201400	Qfc	268	D
11	590064	2202737	Qfc	284	D
12	591379	2204041	Qfc	422	C
13	589526	2203610	Qfc	263	D
14	587746	2197519	Qff	305	D
15	589468	2197066	Qfl	369	C
16	590061	2196610	Qfl	250	D
17	590964	2196246	Qfl	524	C
18	591048	2199347	Qff	351	D
19	589018	2199421	Qff	337	D
20	591616	2203323	Qfc	228	D
21	591237	2206153	Qfc	291	D
22	591258	2206879	Qfc	245	D
23	587884	2206477	Qff	328	D
24	586672	2206572	Qfv	402	C
25	588047	2204418	Qfc	362	C
26	585904	2204183	Qfc	326	D
27	584856	2205318	Qfv	406	C
28	583965	2203380	Qfc	256	D
29	582143	2202459	Qfc	293	D
30	582108	2205698	Qfv	254	D

ภาคผนวก ข

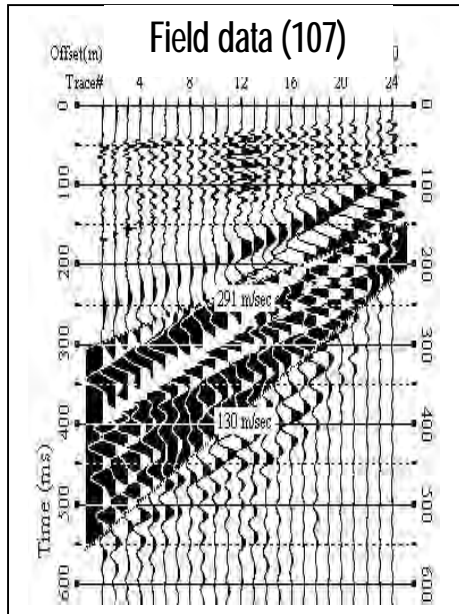
การประมวลผลข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนของพื้นที่ศึกษา



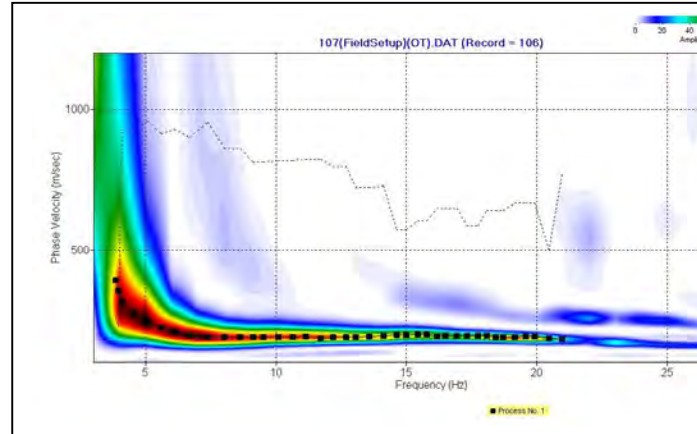
ข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนและการประมวลผลข้อมูลจากจุดเก็บตัวอย่างที่ 1



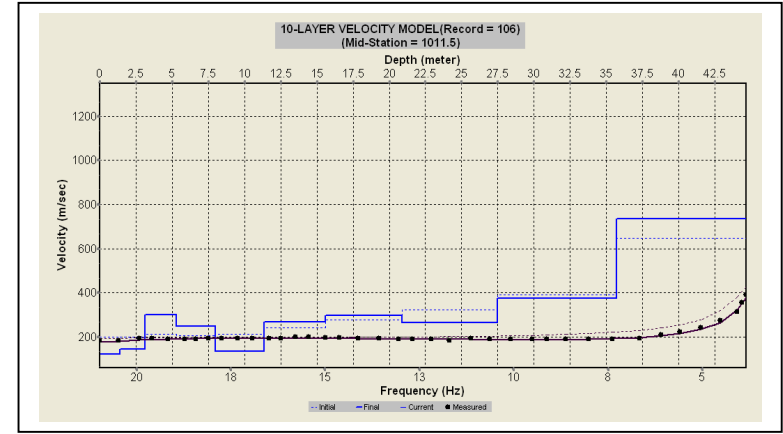
ข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนและการประมวลผลข้อมูลจากจุดเก็บตัวอย่างที่ 2



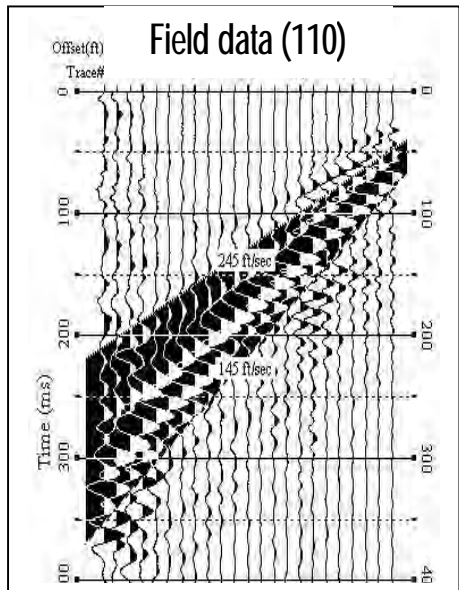
Dispersion curve



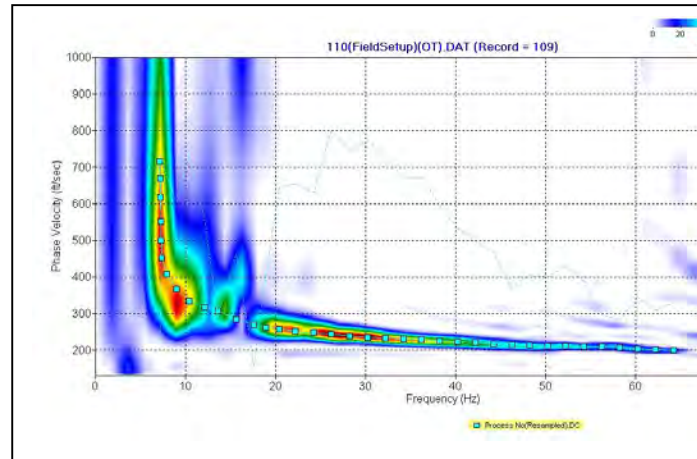
Inversion



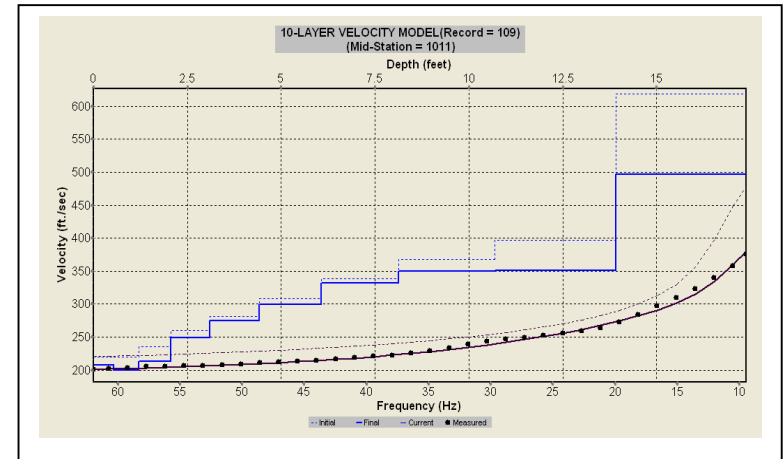
ข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนและการประมวลผลข้อมูลจากจุดเก็บตัวอย่างที่ 3



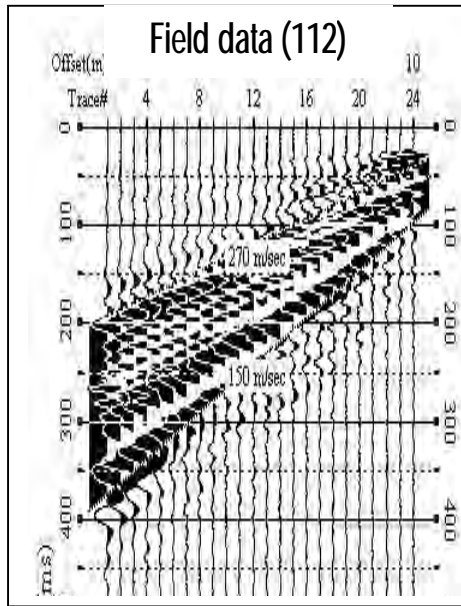
Dispersion curve



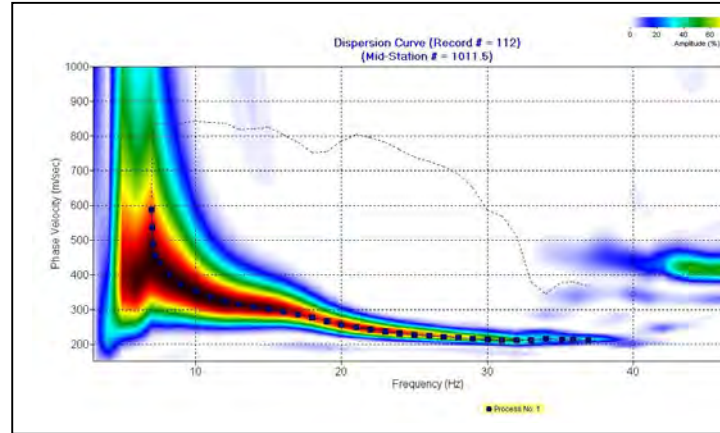
Inversion



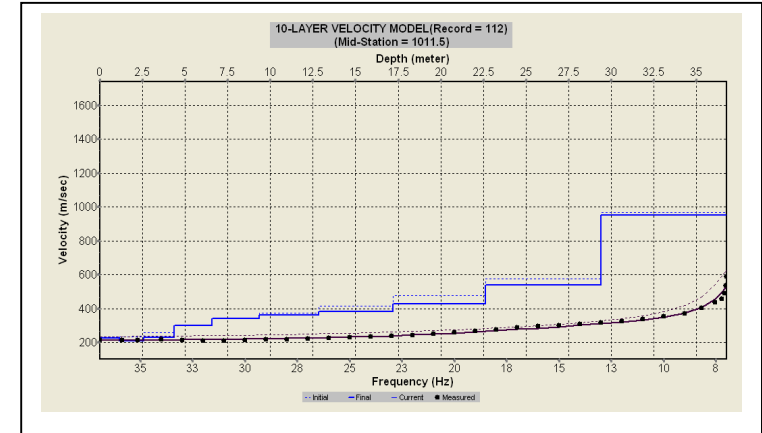
ข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนและการประมวลผลข้อมูลจากจุดเก็บตัวอย่างที่ 4



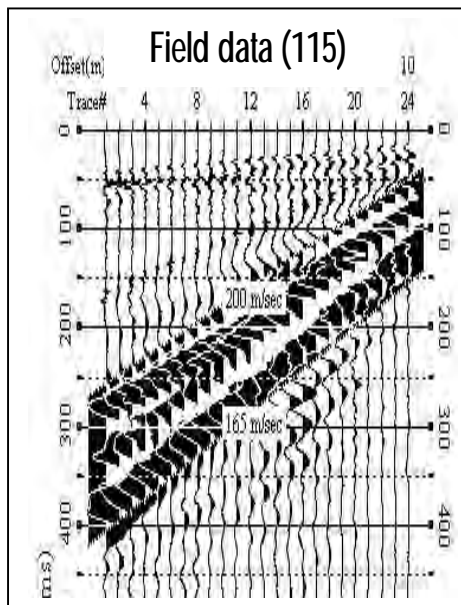
Dispersion curve



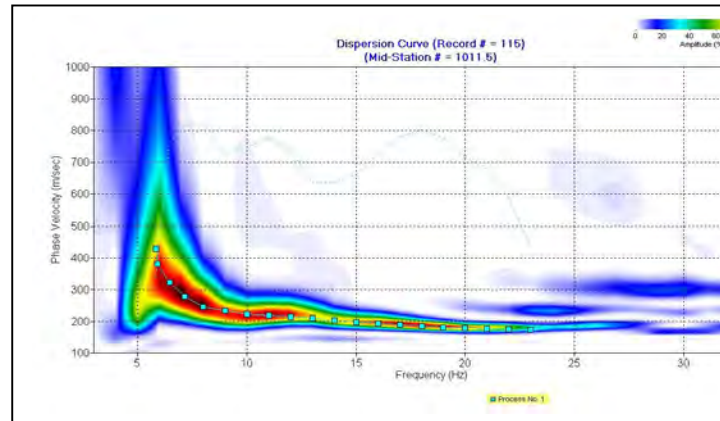
Inversion



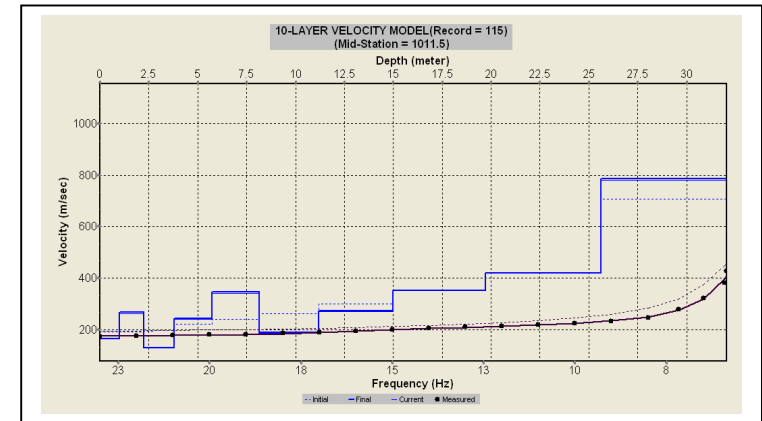
ข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนและการประมวลผลข้อมูลจากจุดเก็บตัวอย่างที่ 5



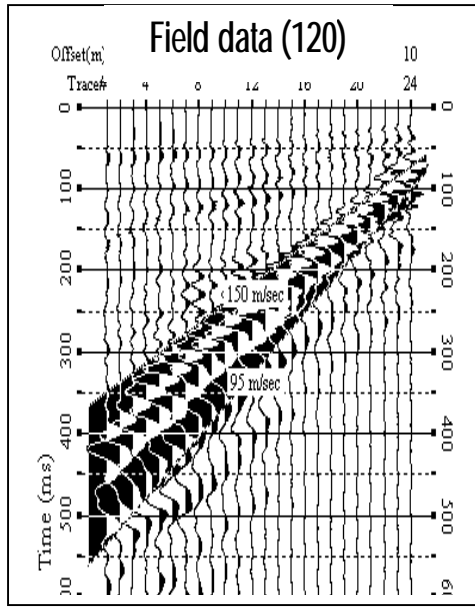
Dispersion curve



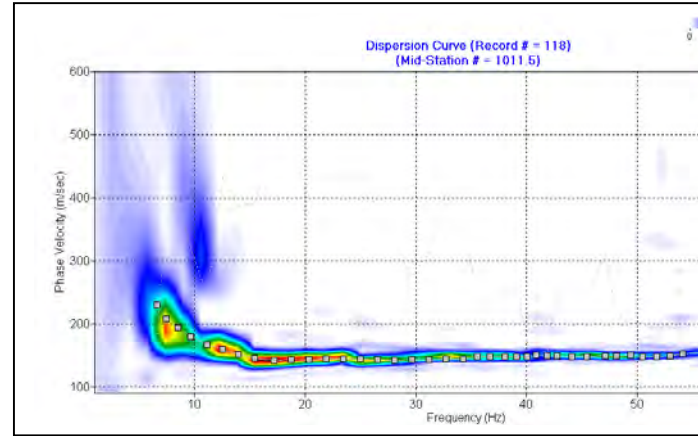
Inversion



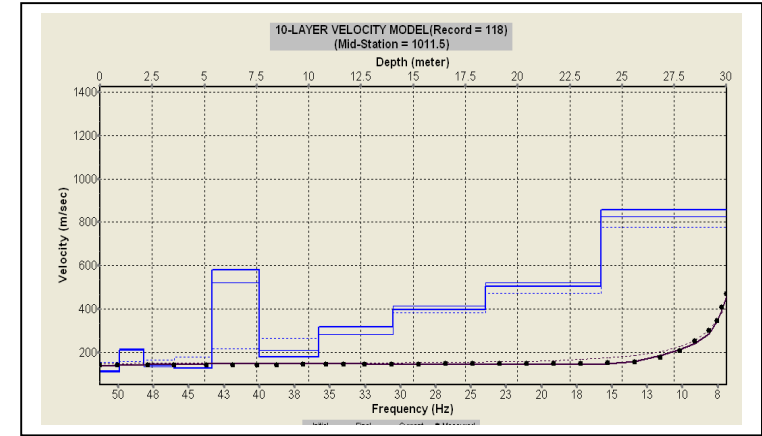
ข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนและการประมวลผลข้อมูลจากจุดเก็บตัวอย่างที่ 6



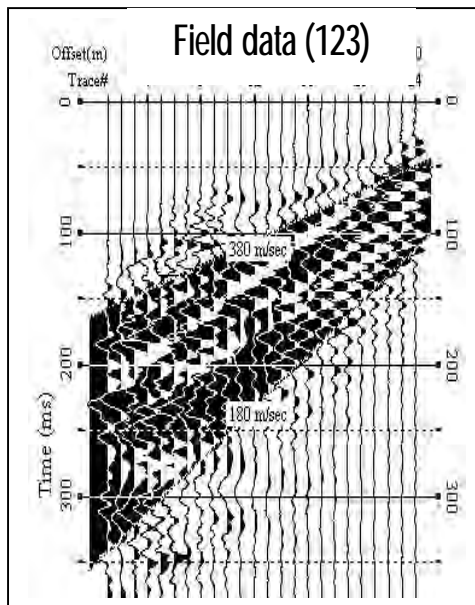
Dispersion curve



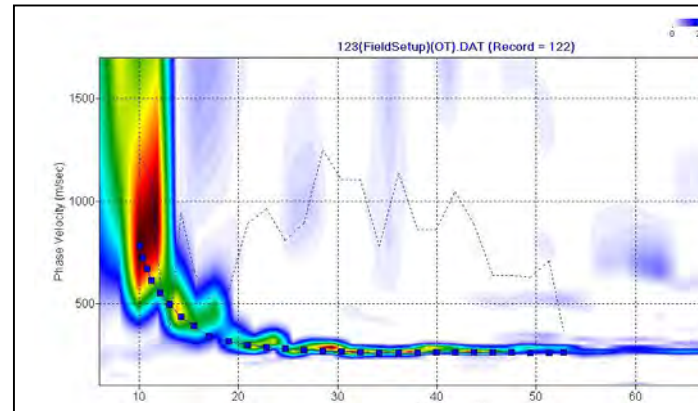
Inversion



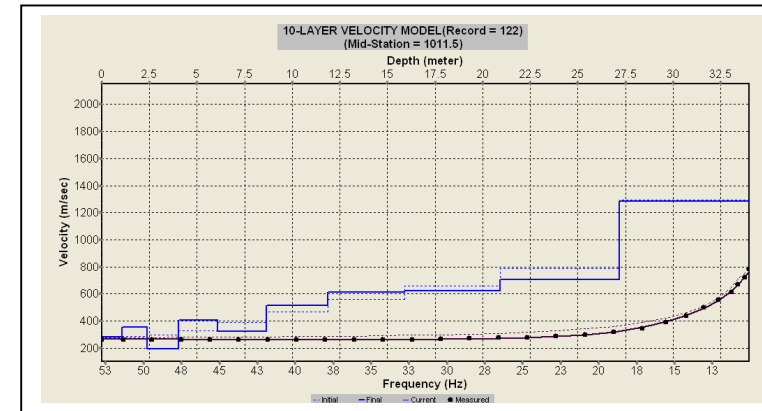
ข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนและการประมวลผลข้อมูลจากจุดเก็บตัวอย่างที่ 7



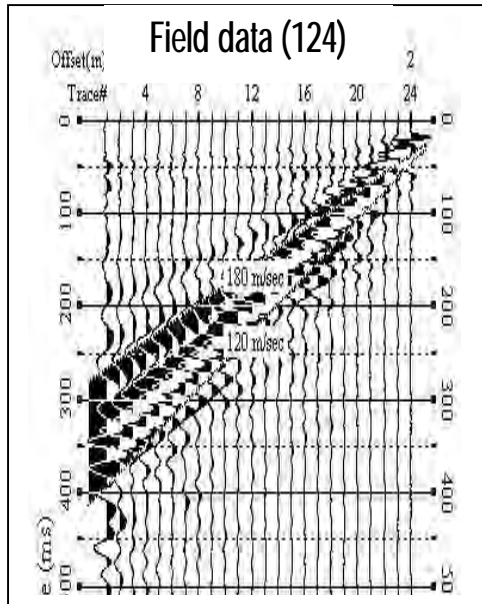
Dispersion curve



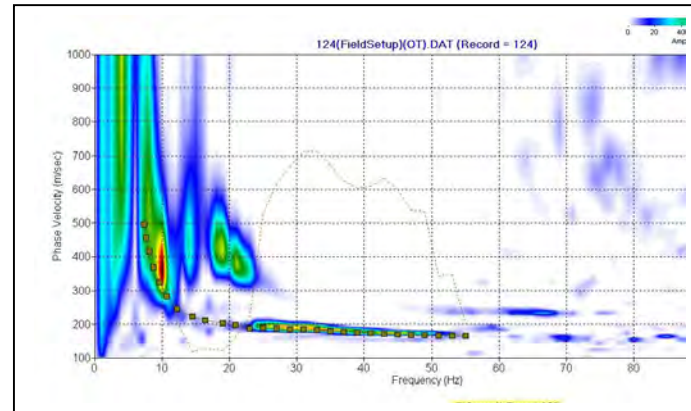
Inversion



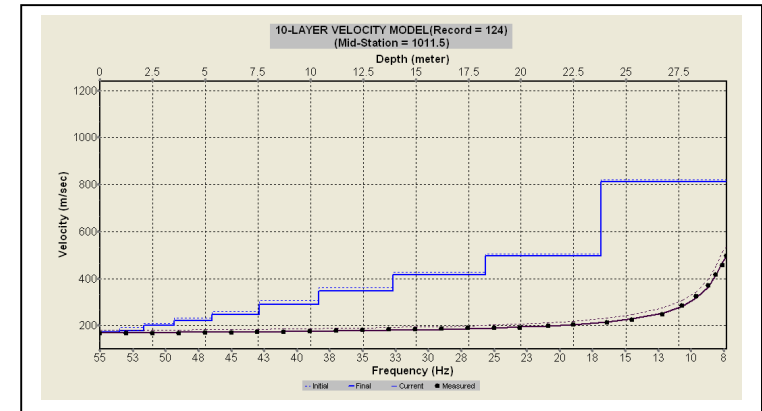
ข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนและการประมวลผลข้อมูลจากจุดเก็บตัวอย่างที่ 8



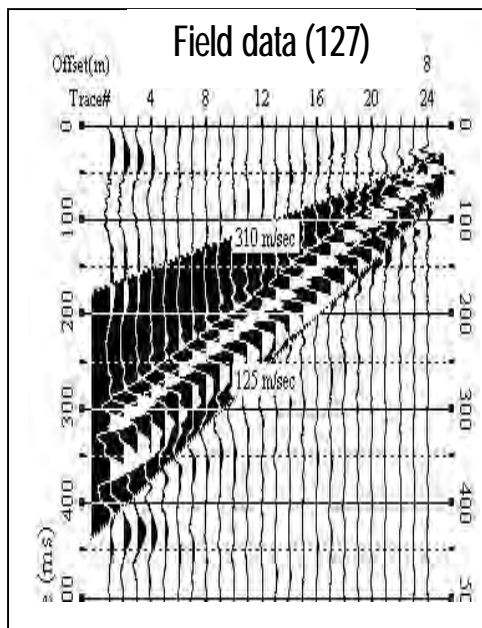
Dispersion curve



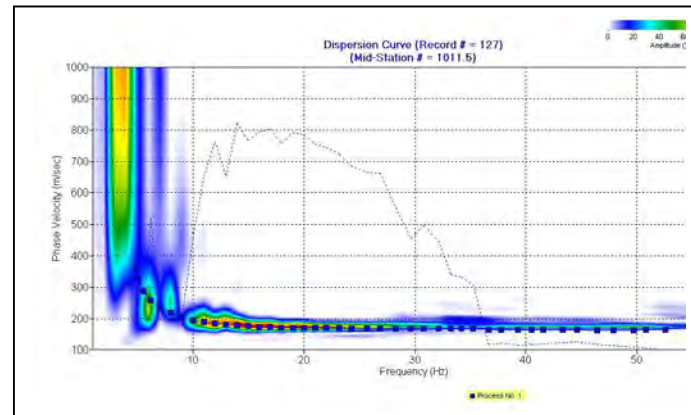
Inversion



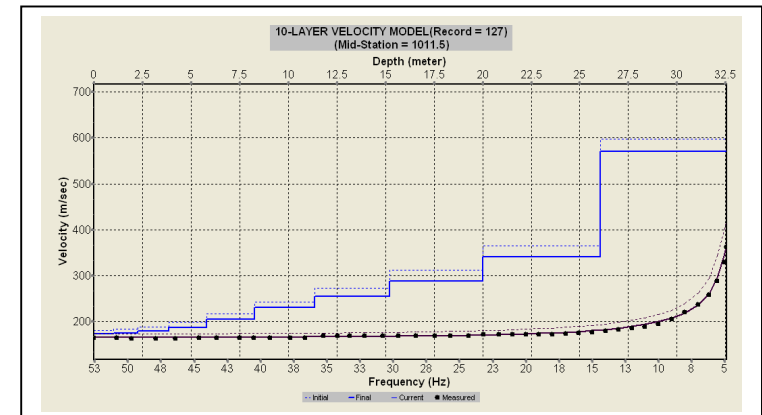
ข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนและการประมวลผลข้อมูลจากจุดเก็บตัวอย่างที่ 9



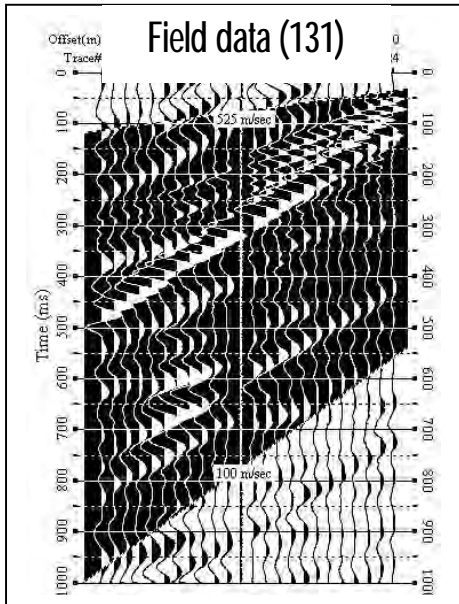
Dispersion curve



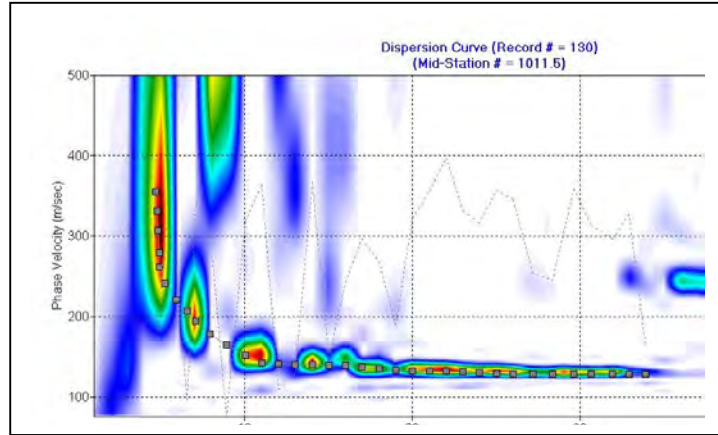
Inversion



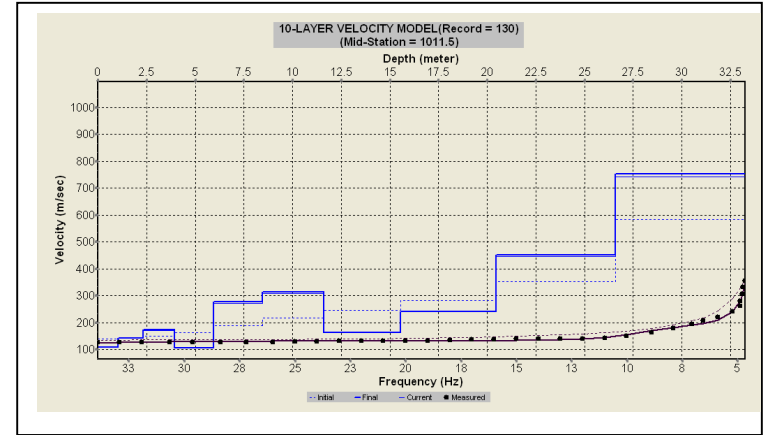
ข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนและการประมวลผลข้อมูลจากจุดเก็บตัวอย่างที่ 10



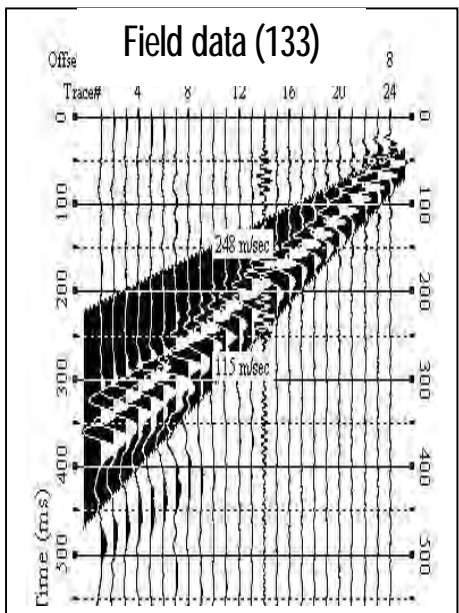
Dispersion curve



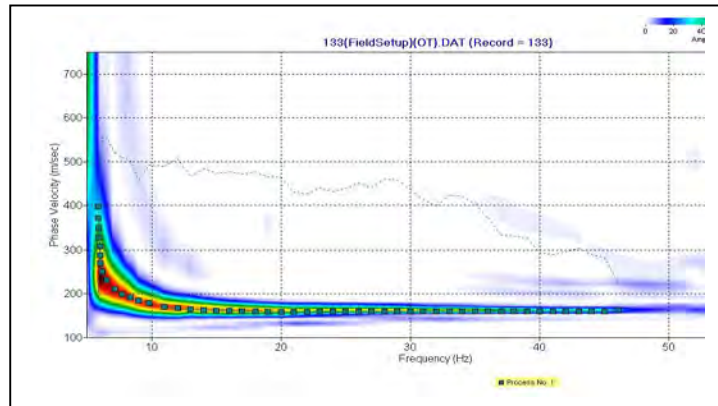
Inversion



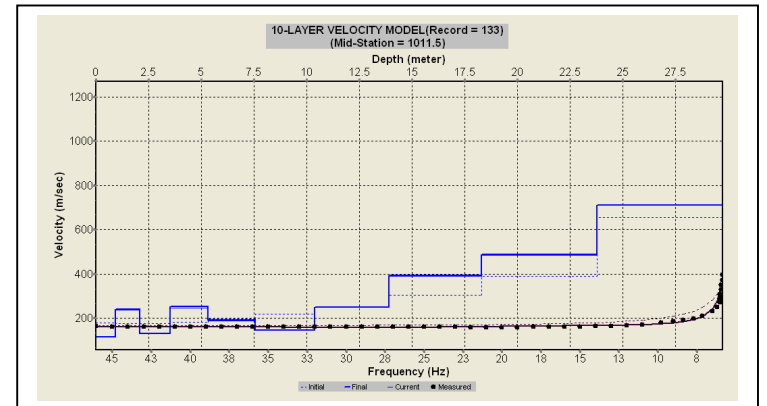
ข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนและการประมวลผลข้อมูลจากจุดเก็บตัวอย่างที่ 11



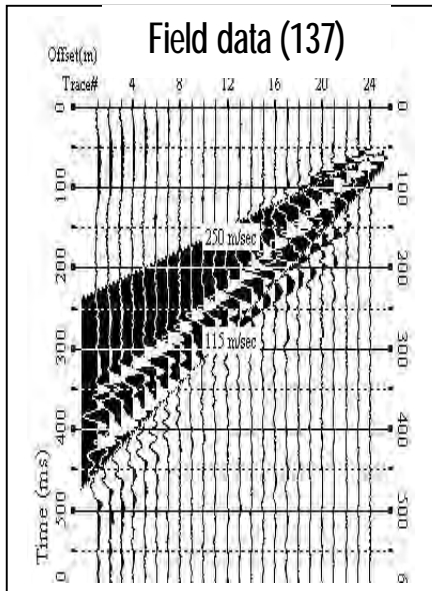
Dispersion curve



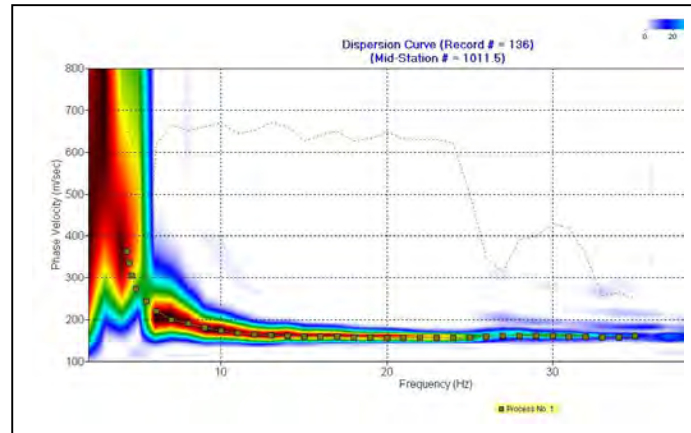
Inversion



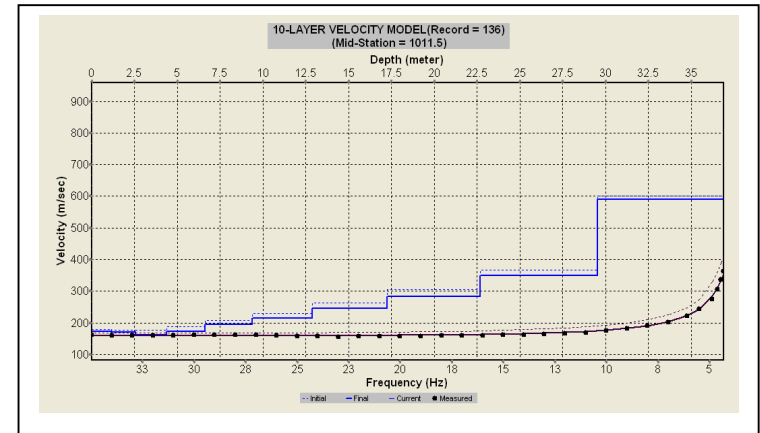
ข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนและการประมวลผลข้อมูลจากจุดเก็บตัวอย่างที่ 12



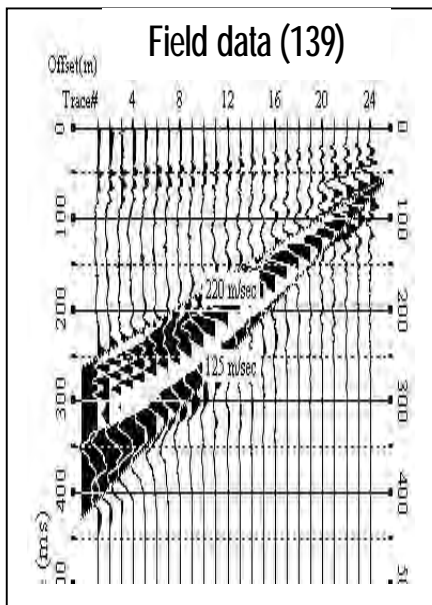
Dispersion curve



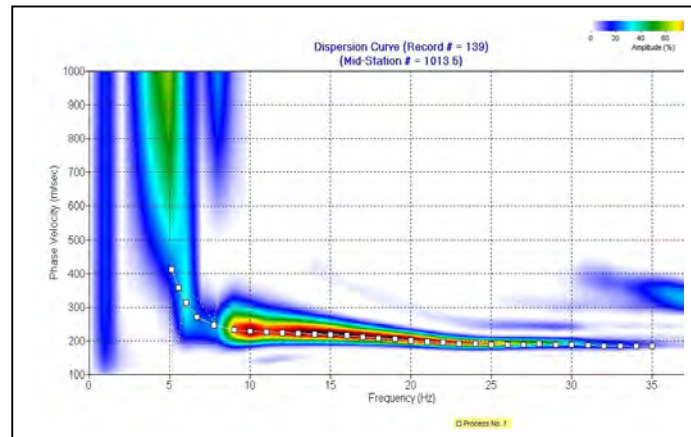
Inversion



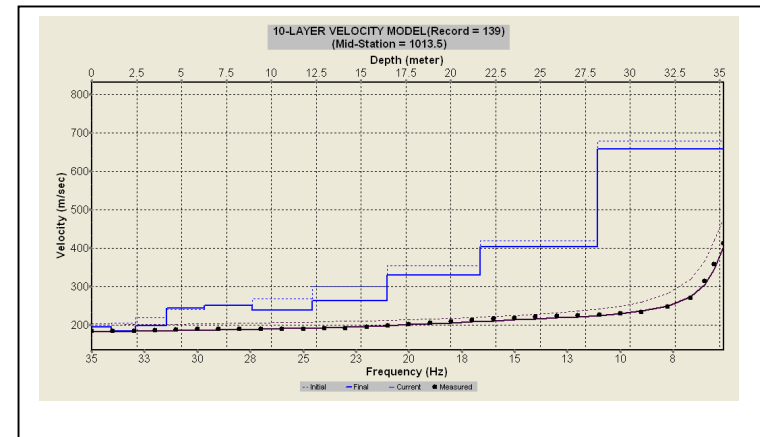
ข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนและการประมวลผลข้อมูลจากจุดเก็บตัวอย่างที่ 13



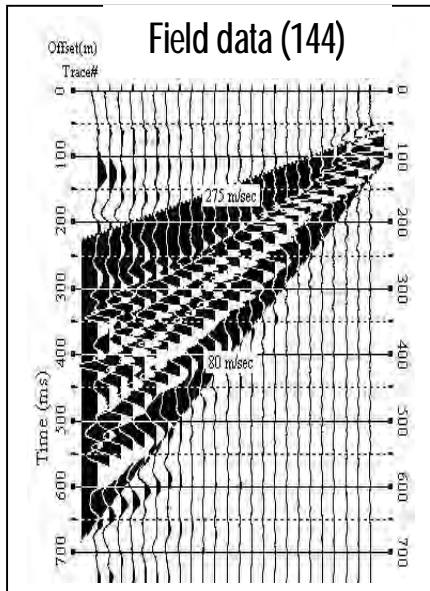
Dispersion curve



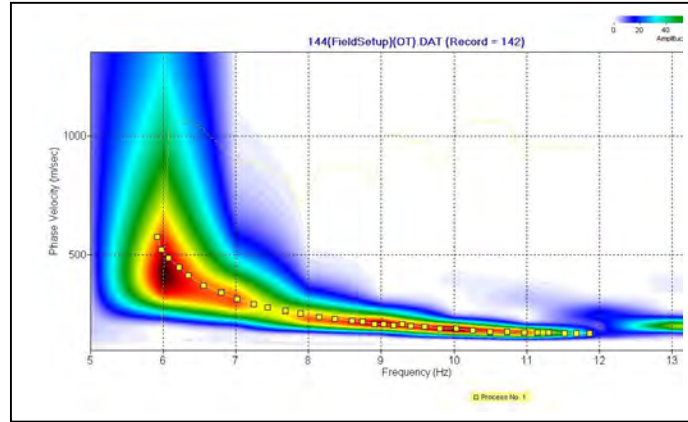
Inversion



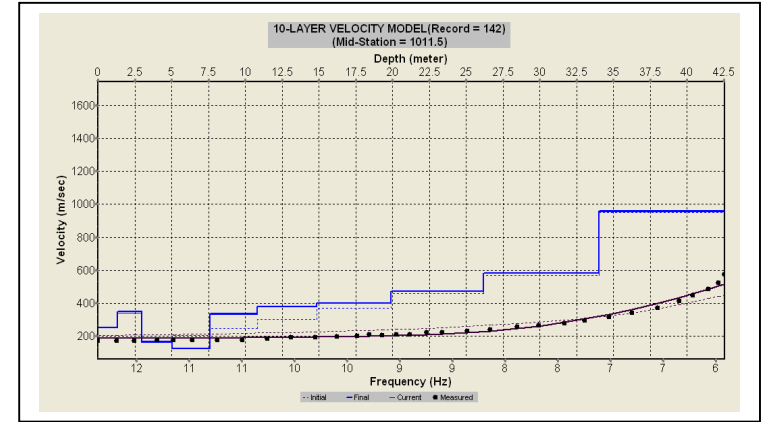
ข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนและการประมวลผลข้อมูลจากจุดเก็บตัวอย่างที่ 14



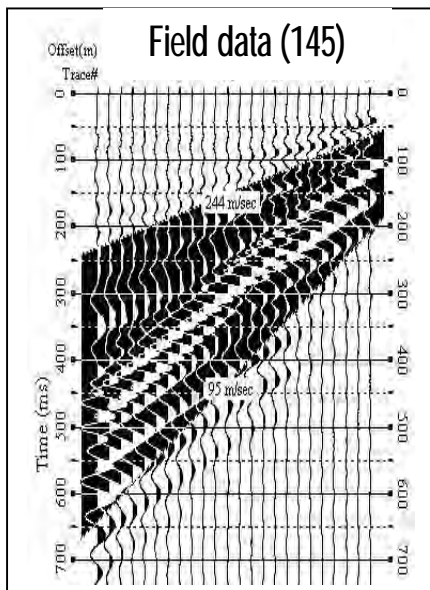
Dispersion curve



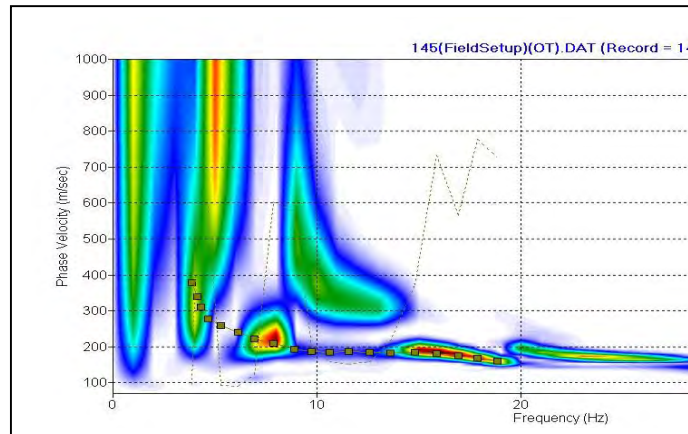
Inversion



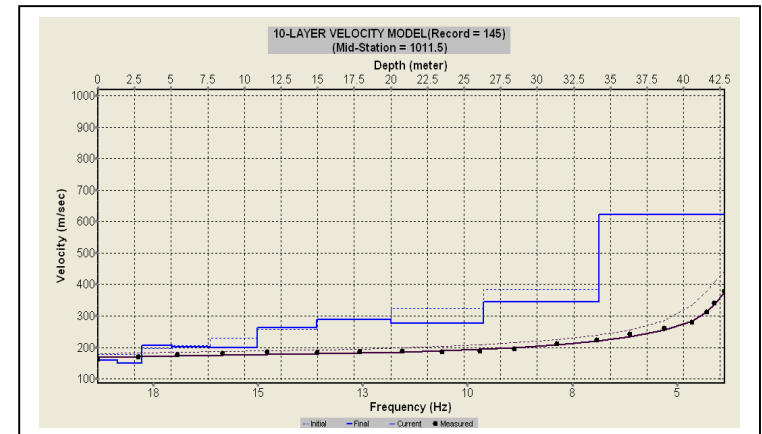
ข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนและการประมวลผลข้อมูลจากจุดเก็บตัวอย่างที่ 15



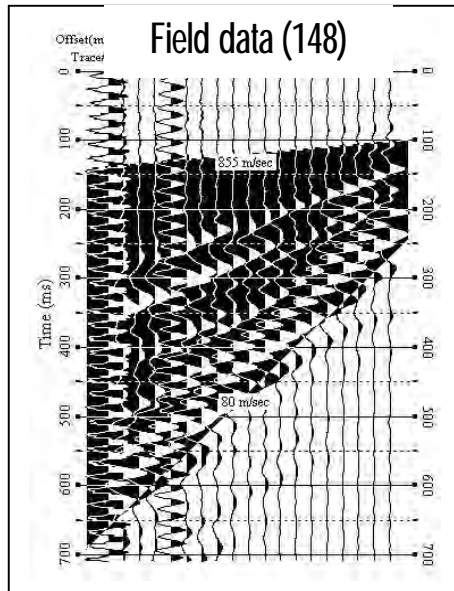
Dispersion curve



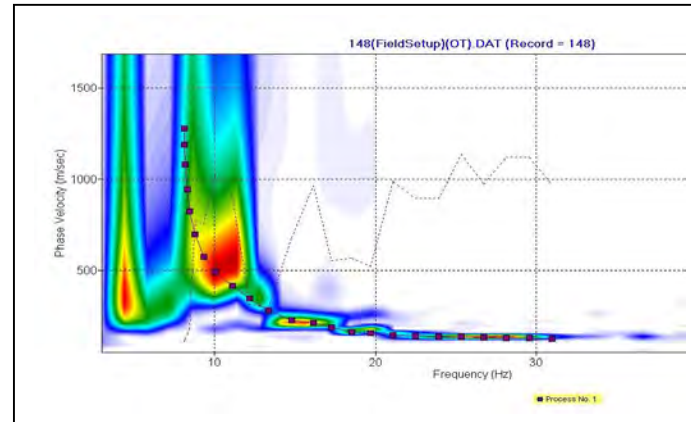
Inversion



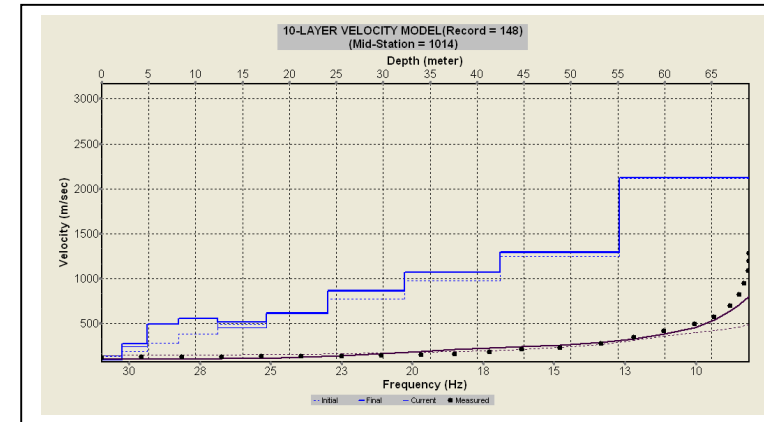
ข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนและการประมวลผลข้อมูลจากจุดเก็บตัวอย่างที่ 16



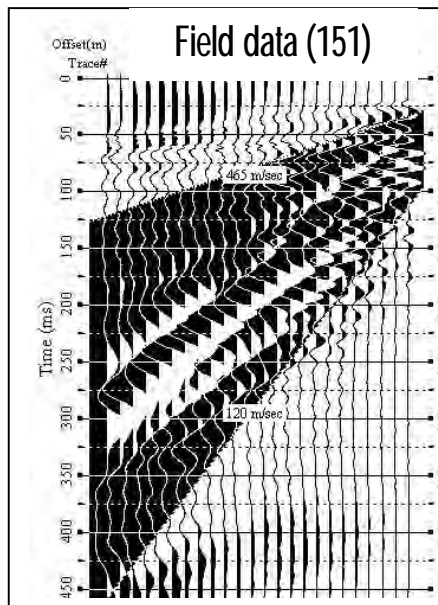
Dispersion curve



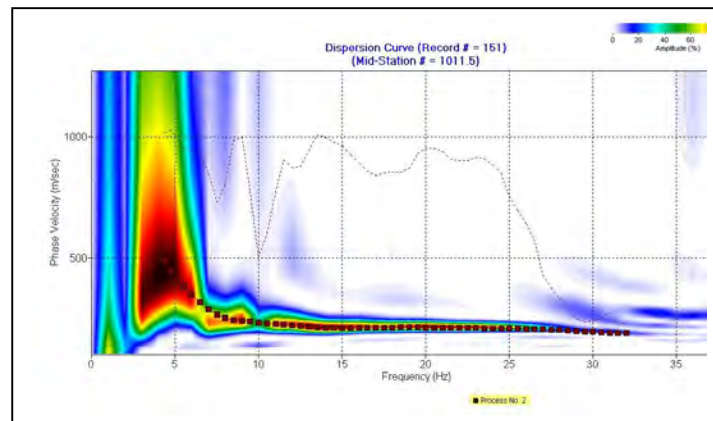
Inversion



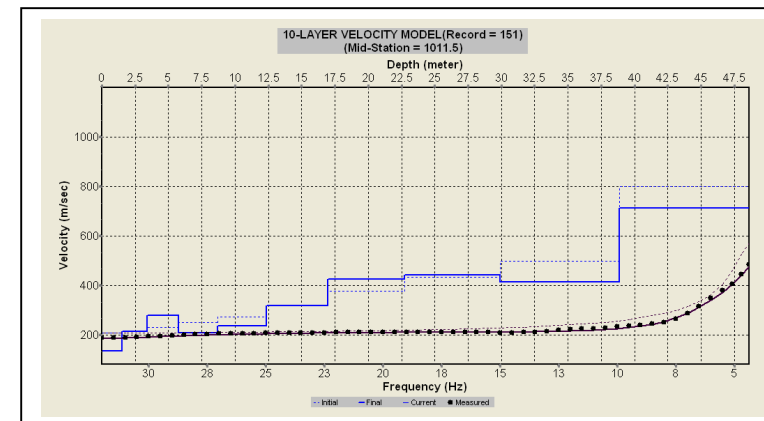
ข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนและการประมวลผลข้อมูลจากจุดเก็บตัวอย่างที่ 17



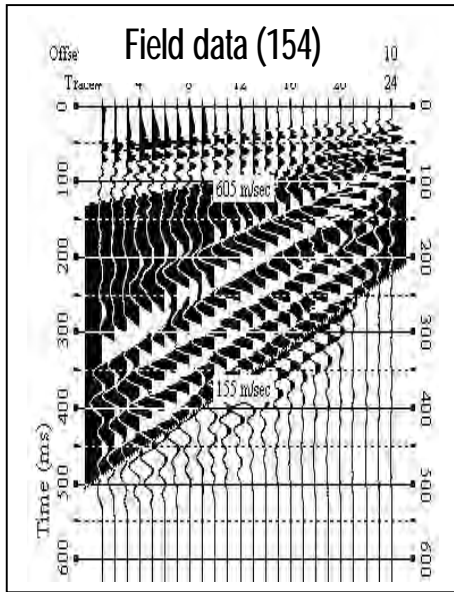
Dispersion curve



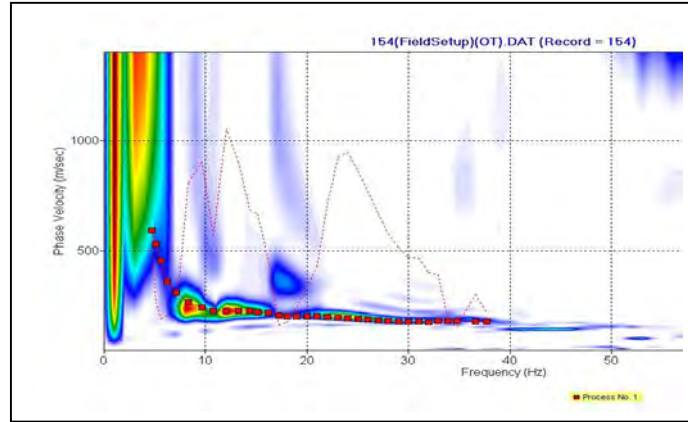
Inversion



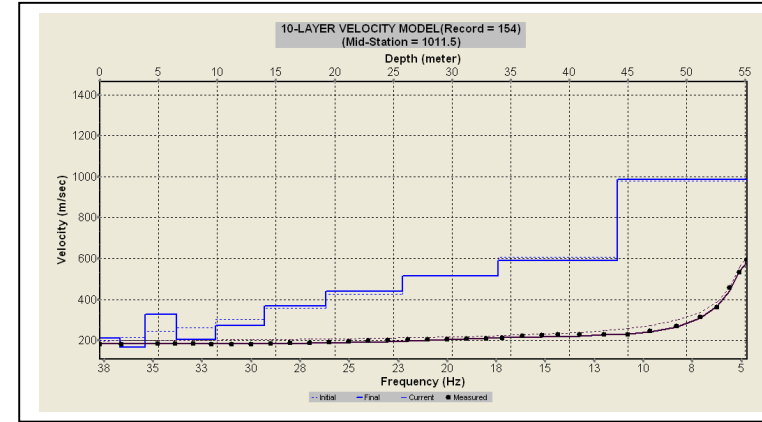
ข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนและการประมวลผลข้อมูลจากจุดเก็บตัวอย่างที่ 18



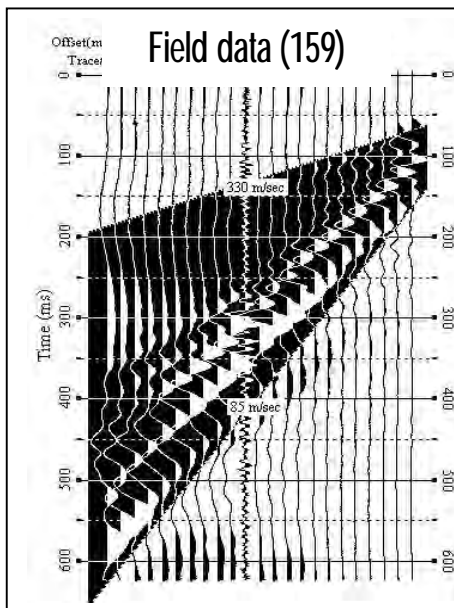
Dispersion curve



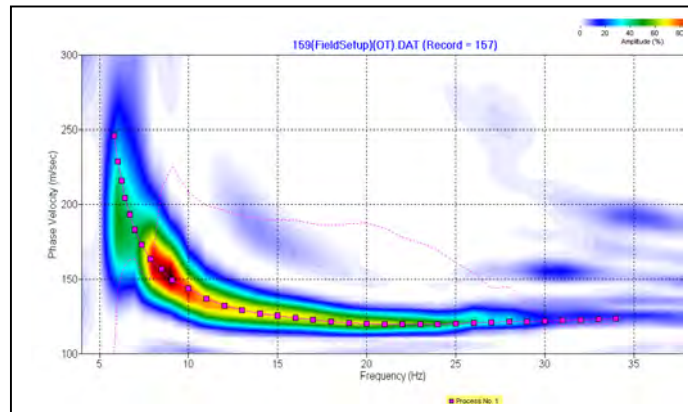
Inversion



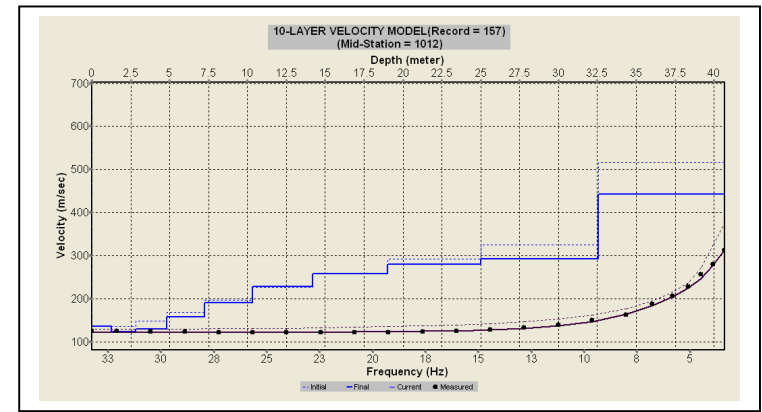
ข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนและการประมวลผลข้อมูลจากจุดเก็บตัวอย่างที่ 19



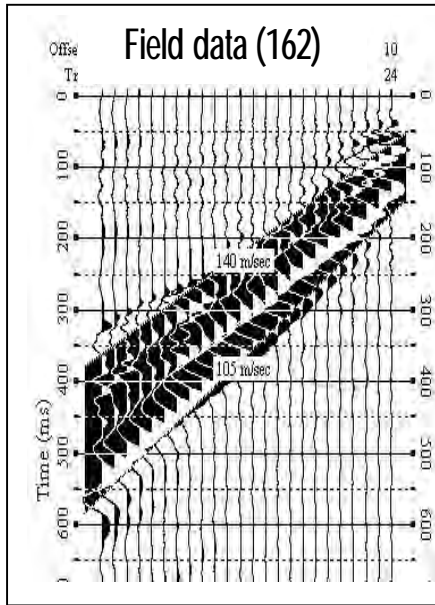
Dispersion curve



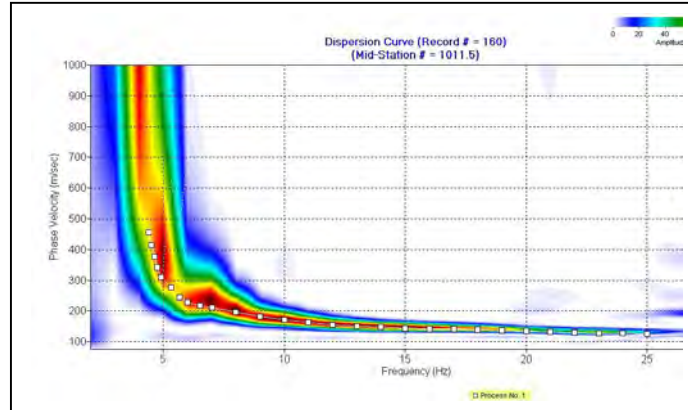
Inversion



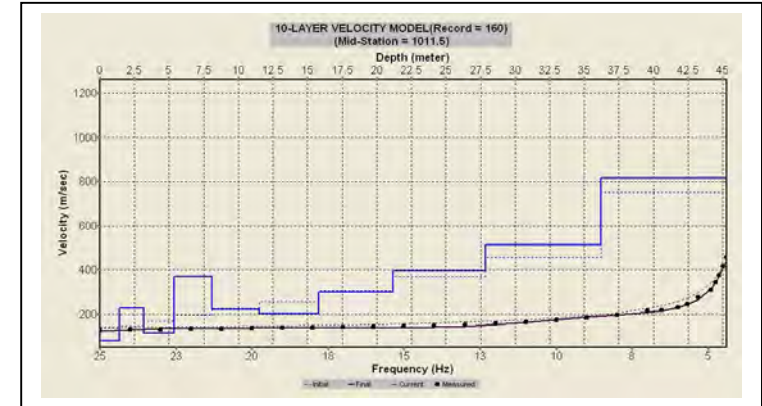
ข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนและการประมวลผลข้อมูลจากจุดเก็บตัวอย่างที่ 20



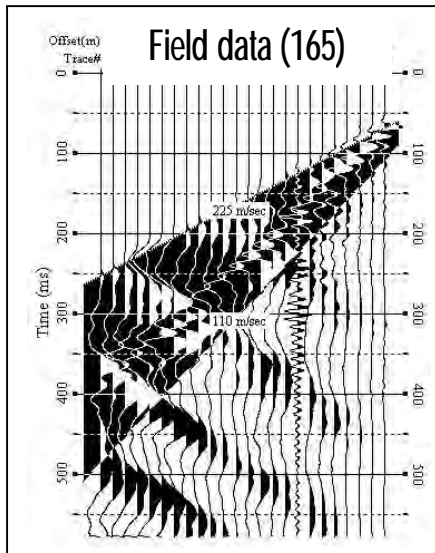
Dispersion curve



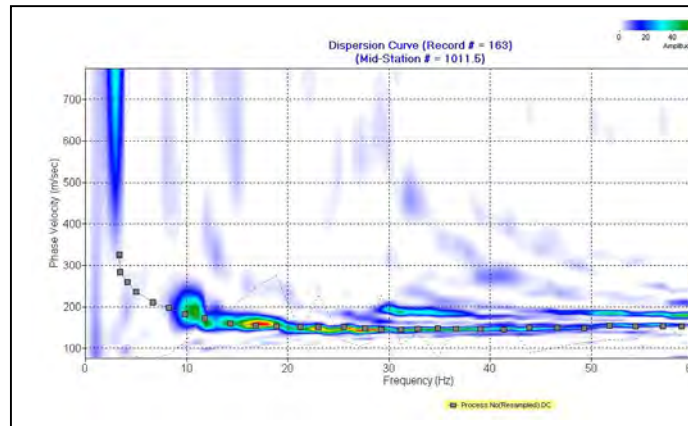
Inversion



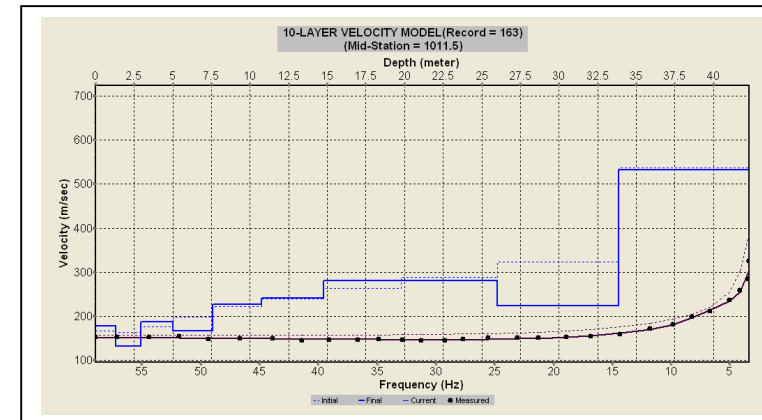
ข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนและการประมวลผลข้อมูลจากจุดเก็บตัวอย่างที่ 21



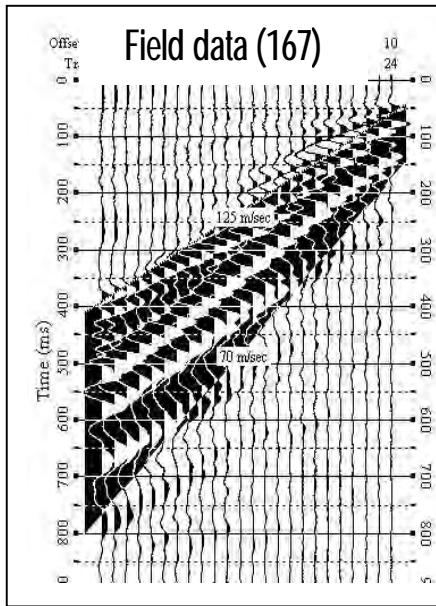
Dispersion curve



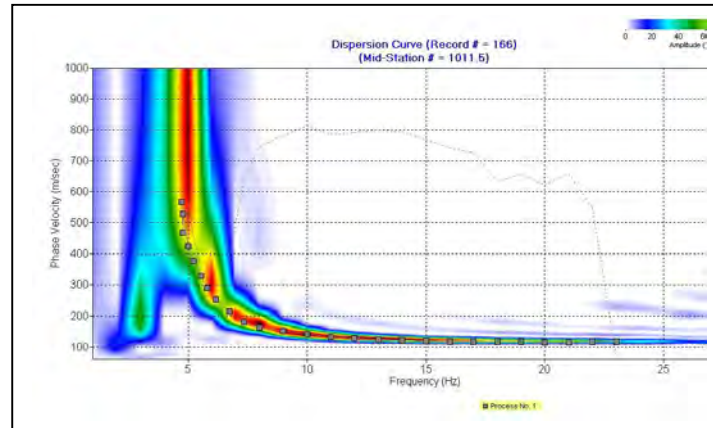
Inversion



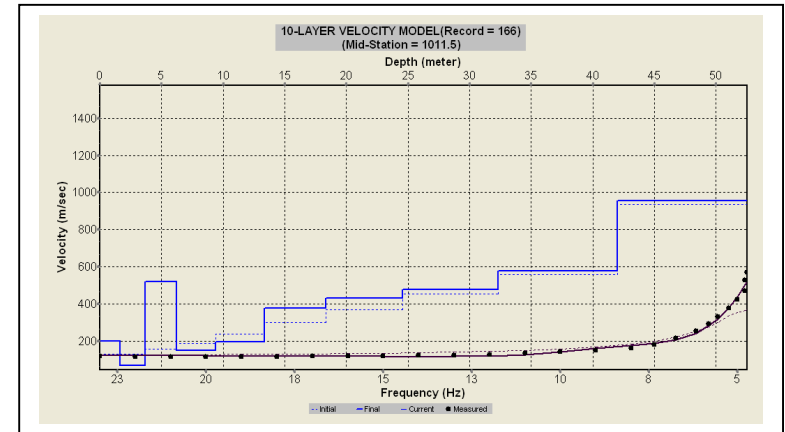
ข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนและการประมวลผลข้อมูลจากจุดเก็บตัวอย่างที่ 22



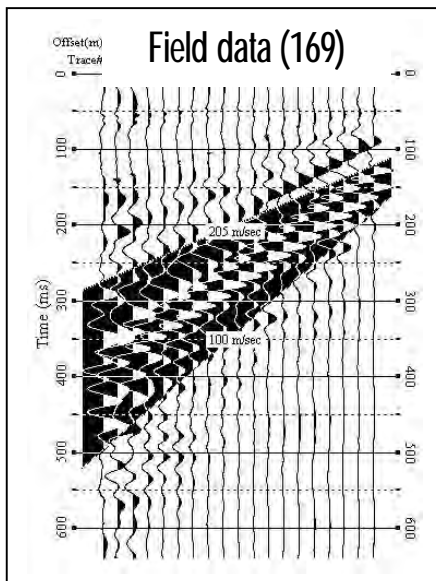
Dispersion curve



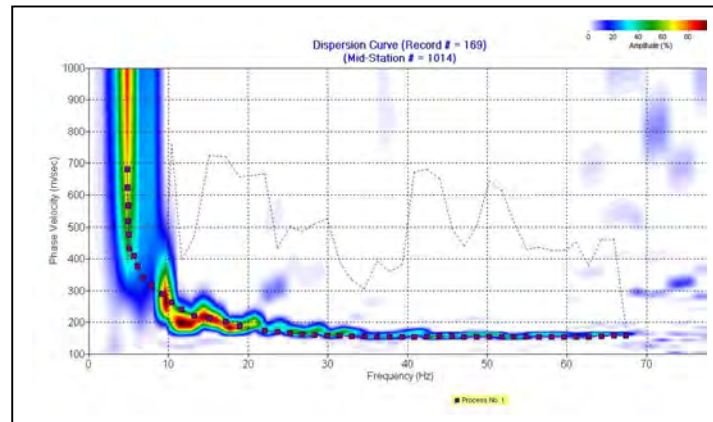
Inversion



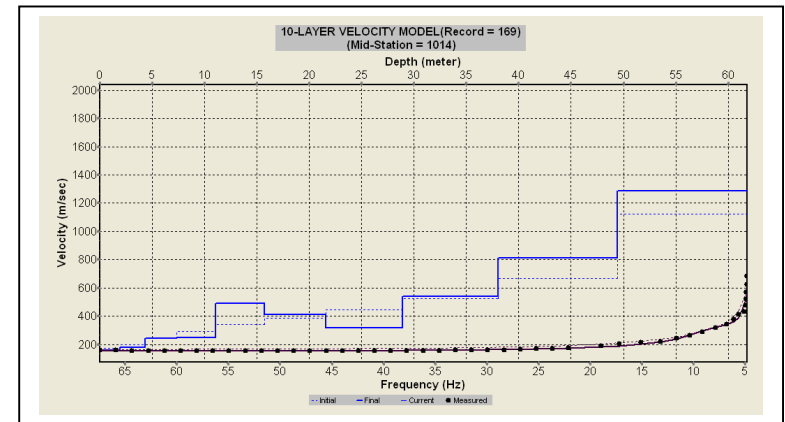
ข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนและการประมวลผลข้อมูลจากจุดเก็บตัวอย่างที่ 23



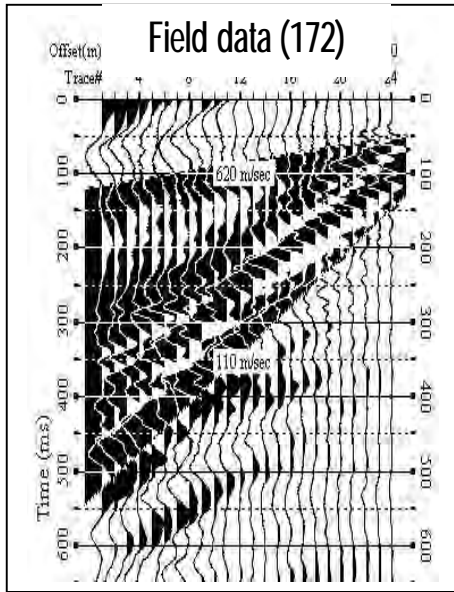
Dispersion curve



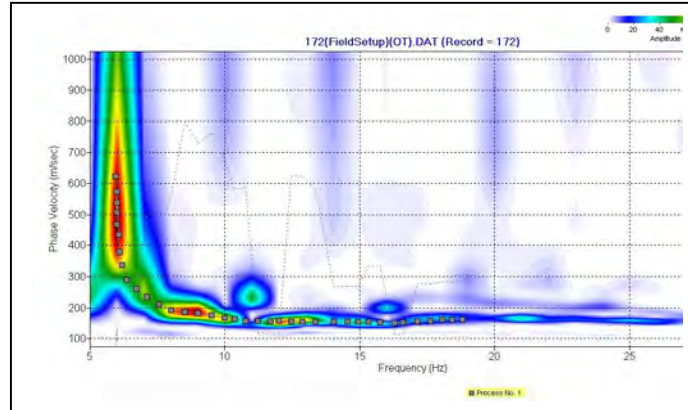
Inversion



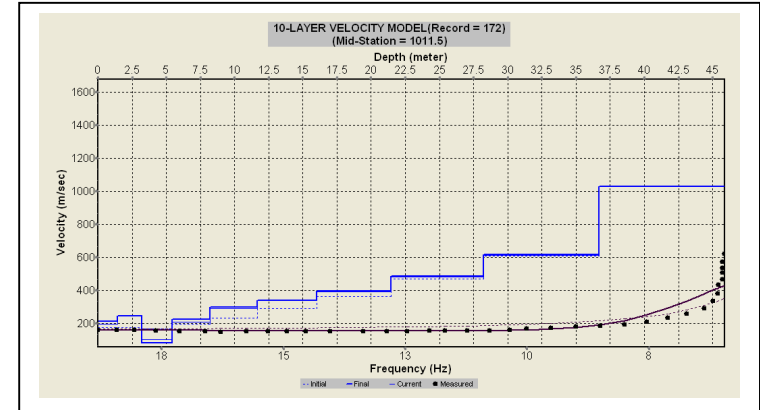
ข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนและการประมวลผลข้อมูลจากจุดเก็บตัวอย่างที่ 24



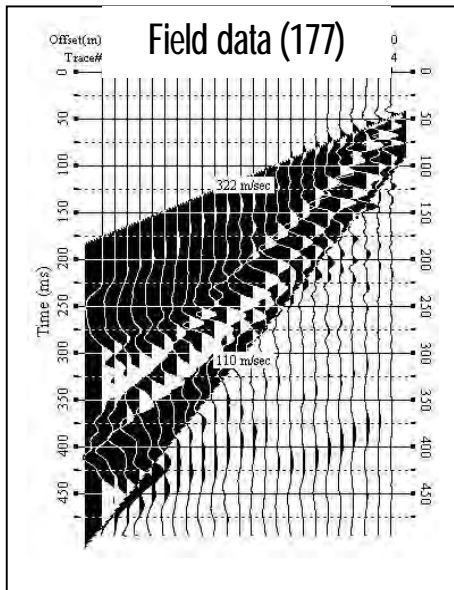
Dispersion curve



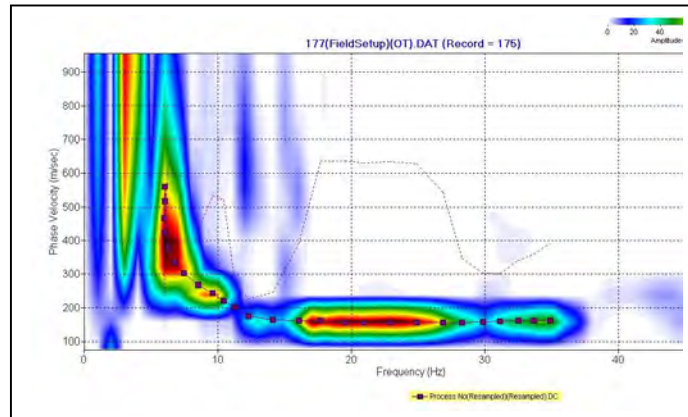
Inversion



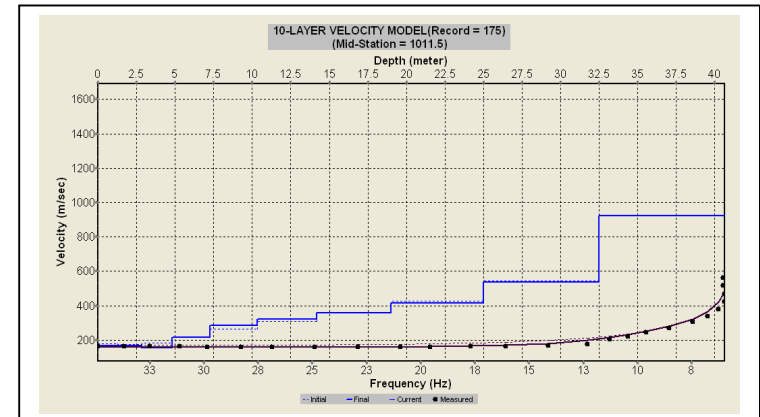
ข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนและการประมวลผลข้อมูลจากจุดเก็บตัวอย่างที่ 25



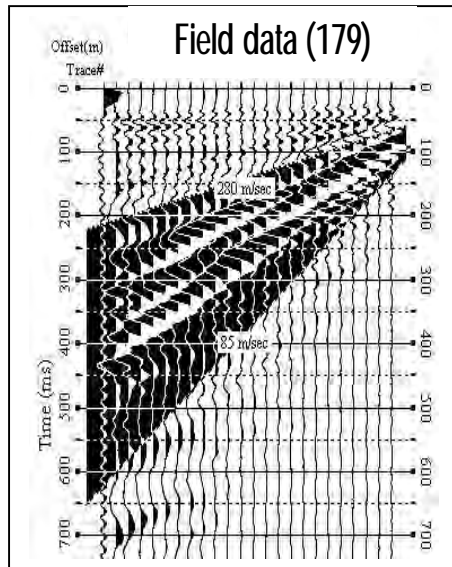
Dispersion curve



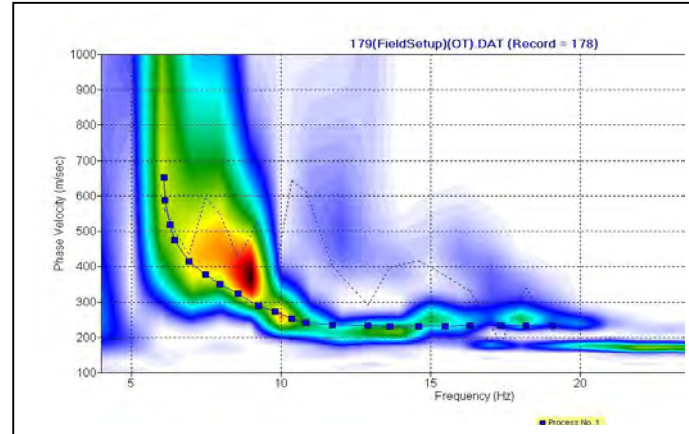
Inversion



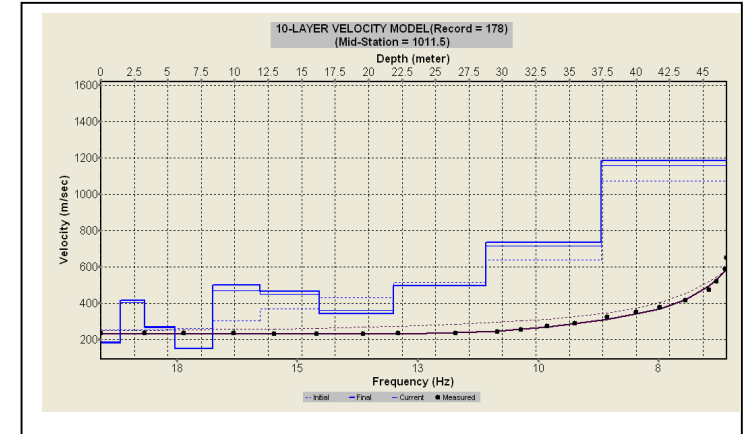
ข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนและการประมวลผลข้อมูลจากจุดเก็บตัวอย่างที่ 26



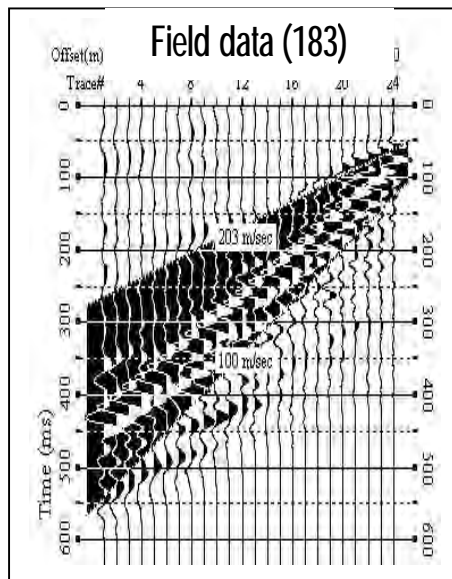
Dispersion curve



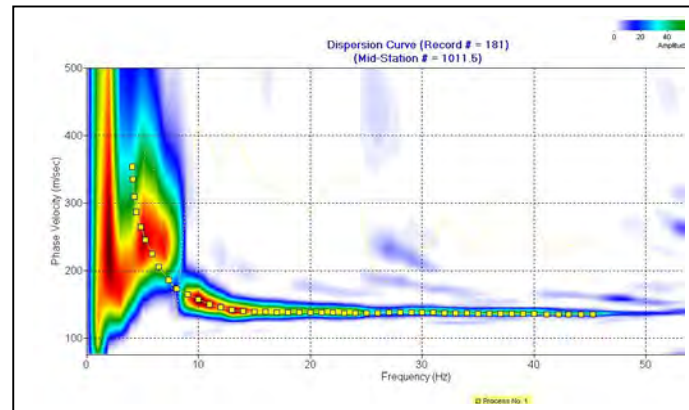
Inversion



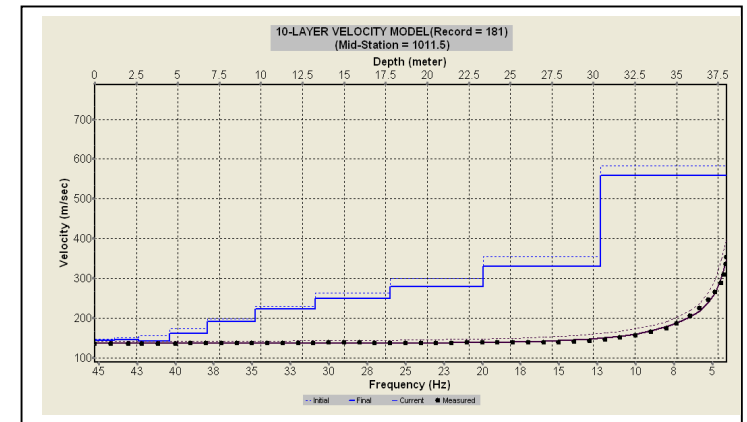
ข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนและการประมวลผลข้อมูลจากจุดเก็บตัวอย่างที่ 27



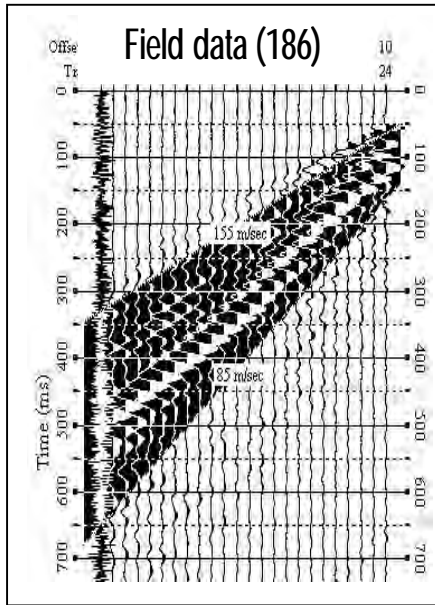
Dispersion curve



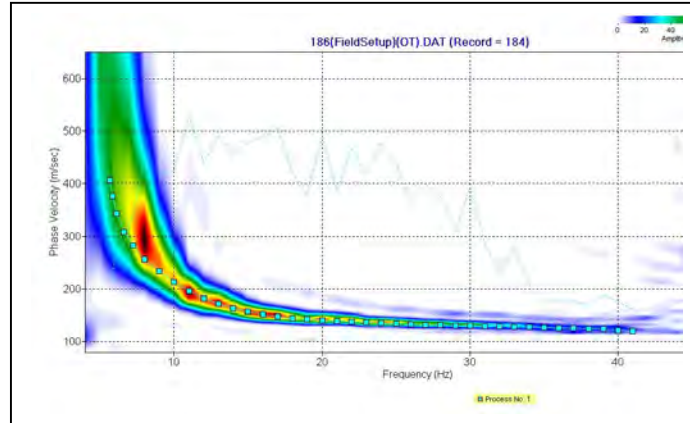
Inversion



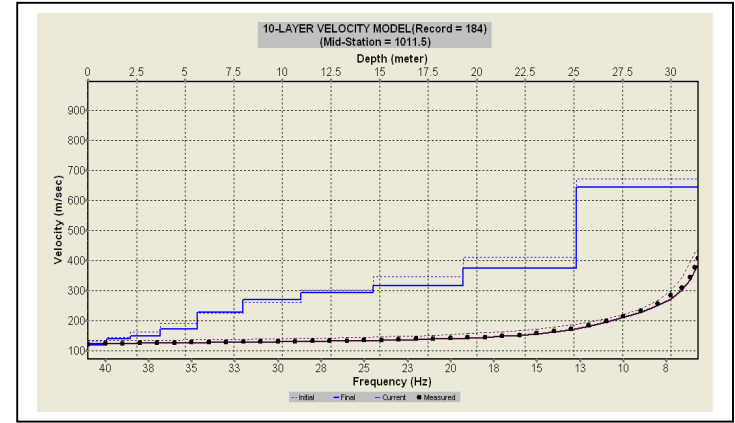
ข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนและการประมวลผลข้อมูลจากจุดเก็บตัวอย่างที่ 28



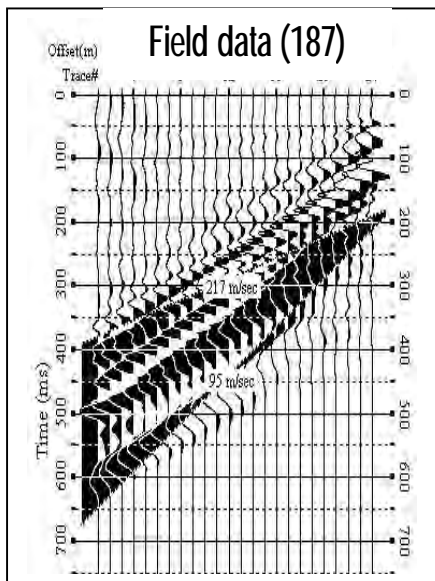
Dispersion curve



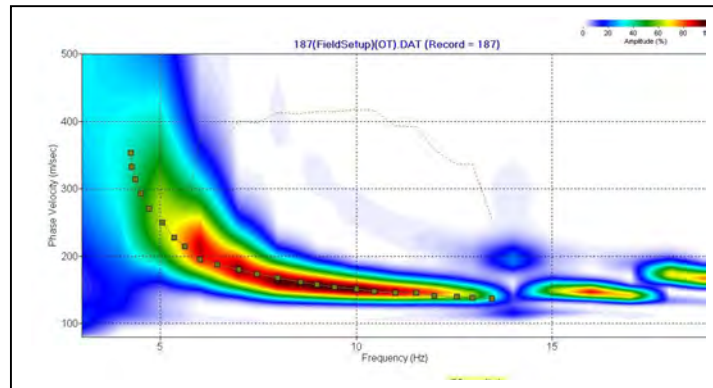
Inversion



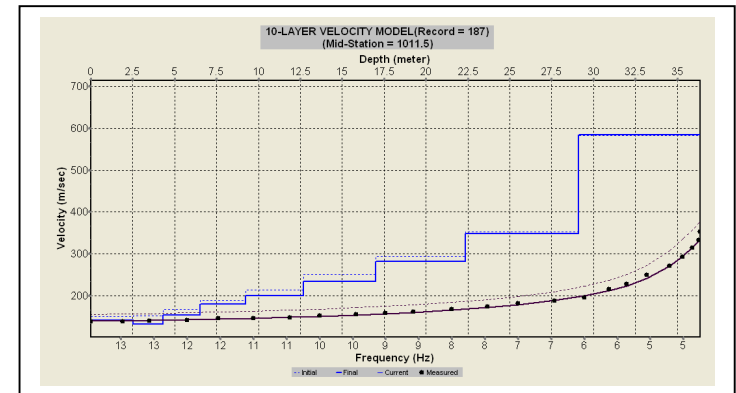
ข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนและการประมวลผลข้อมูลจากจุดเก็บตัวอย่างที่ 29



Dispersion curve



Inversion



ข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนและการประมวลผลข้อมูลจากจุดเก็บตัวอย่างที่ 30

ภาคผนวก ค

รายงานสถิติแผ่นดินไหวรู้สึกได้ในพื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงราย

รายงานสถิติแผ่นดินไหวรู้สึกได้ที่จังหวัดเชียงราย ตั้งแต่ พ.ศ.2473 ถึง กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2546 (ปรับปรุงจากรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์โครงการสำรวจศึกษารอยเลื่อนมีพลัง และการประเมินระดับอันตรายจากแผ่นดินไหวบริเวณภาคเหนือและภาคตะวันตกของประเทศไทยของ ปัญญา จารุศิริ และคณะ, 2554)

ลำดับ	วัน/เดือน/ปี	เวลา	ละติจูด	ลองจิจูด	ศูนย์กลางแผ่นดินไหว	ขนาด	หมายเหตุ	แหล่งที่มา
1	22 ก.ย. 2508	11:24:43	20.75	99.26	พม่า	5.3Mb	รู้สึกได้ที่ อ.ฝาง จ.เชียงใหม่ แม่ฮ่องสอน เชียงราย ลำปาง และลำพูน	USGS
2	13 ก.ย. 2518	6:07:44	20.76	99.14	พม่า	4.0Mb	รู้สึกได้ที่ จ.เชียงราย	USGS
3	26 พ.ค. 2521	6:22:29	19.28	99.07	อ.พร้าว จ.เชียงใหม่	4.8Mb	เสียหายเล็กน้อยที่ อ.พร้าว รู้สึกสั้นไหว นานประมาณ 15 วินาที ที่ จ.เชียงราย เชียงใหม่ และลำปาง	USGS
4	24 มิ.ย. 2521	2:59:02	20.98	99.53	พม่า	3.7MI	รู้สึกสั้นไหวที่ อ.เมือง อ.เชียงแสน และอ.แม่สาย จ.เชียงราย	TMD
5	29 มิ.ย. 2521	0:42:27	21.00	99.60	พม่า	3.9MI	รู้สึกสั้นไหวที่ อ.เชียงแสน อ.แม่สาย จ.เชียงราย	TMD
6	2 ต.ค. 2521	14:45:52	20.50	100.70	ลาว	5.1Mb	รู้สึกสั้นไหวที่ อ.เชียงของ จ.เชียงราย	TMD
7	1 ก.ย. 2521	11:55:17	20.44	100.62	ลาว	4.9Mb	รู้สึกสั้นไหวที่ จ.เชียงราย นาน 2-3 วินาที	TMD
8	22 ม.ค. 2522	14:34:59	20.34	100.75	ลาว	4.5Mb	รู้สึกสั้นไหวที่ จ.เชียงราย	TMD
9	18 มี.ค. 2522	13:41:00	20.90	102.00	ไทย-ลาว	4.5MI	รู้สึกสั้นไหวที่ จ.เชียงราย	TMD
10	20 มิ.ย. 2525	20:20:40	18.92	99.18	เชียงใหม่	4.3MI	รู้สึกสั้นไหวที่ จ.เชียงใหม่ เชียงราย ลำพูน ลำปาง และมีเสียงดังคล้ายฟ้าร้อง	TMD
11	24 มิ.ย. 2527	5:29:58	22.04	99.15	พม่า-จีน	5.9Mb	รู้สึกสั้นไหวที่ จ.เชียงราย	USGS
12	6 พ.ย. 2531	20:03:19	22.79	99.61	พม่า-จีน	6.1Mb	รู้สึกสั้นไหวที่ จ.เชียงราย เชียงใหม่ และอาคารสูงในกทม.	USGS
13	1 มี.ค. 2532	10:25:08	21.73	97.94	พม่า	5.1MI	รู้สึกสั้นไหวบริเวณภาคเหนือตอนบน	TMD
14	8 เม.ย. 2532	4:45:19	20.58	100.59	ลาว	4.6MI	รู้สึกสั้นไหวที่ จ.เชียงราย	USGS
15	20 ต.ค. 2532	11:36:59	20.26	99.16	พม่า-ไทย	4.3Mb	รู้สึกสั้นไหวบริเวณภาคเหนือตอนบน	USGS
16	20 ต.ค. 2532	11:42:36	20.27	99.32	พม่า-ไทย	4.6Mb	รู้สึกสั้นไหวบริเวณภาคเหนือตอนบน	USGS
17	27 ต.ค. 2532	22:20:46	20.36	99.81	พม่า-ไทย	4.5Mb	รู้สึกสั้นไหวบริเวณภาคเหนือตอนบน	USGS
18	29 ก.ย. 2532	4:52:17	20.33	98.82	พม่า-ไทย	5.4Mb	รู้สึกสั้นไหวบริเวณภาคเหนือตอนบน	USGS
19	1 ต.ค. 2532	1:19:23	20.24	98.85	พม่า-ไทย	5.3Mb	รู้สึกสั้นไหวทั่วภาคเหนือตอนบน หลายคนตกใจตื่น เสียหายเล็กน้อยแก่อาคาร ที่ จ.เชียงใหม่ และเชียงราย	USGS
20	14 ก.ค. 2533	10:51:56	20.53	100.67	พม่า-ลาว	4.5Mb	รู้สึกสั้นไหวที่ อ.แม่สาย จ.เชียงราย	TMD
21	21 ก.ค. 2533	8:50:00	19.80	100.20	เชียงราย	3.2MI	รู้สึกสั้นไหวที่ อ.เมือง จ.เชียงราย	TMD
22	23 มิ.ย. 2535	21:18:39	22.34	98.85	พม่า	6.0MI	รู้สึกสั้นไหวที่ จ.เชียงใหม่ จ.เชียงราย และพะเยา	USGS
23	28 ต.ค. 2535	14:02:00	18.30	96.80	พม่า	6.0MI	รู้สึกสั้นไหวที่ จ.เชียงใหม่ จ.เชียงราย แม่ฮ่องสอน และอาคารสูงในกทม.	USGS

ลำดับ	วัน/เดือน/ปี	เวลา	ละติจูด	ลองจิจูด	ศูนย์กลางแผ่นดินไหว	ขนาด	หมายเหตุ	แหล่งที่มา
24	11ก.ย.2537	3:34:00	19.46	99.60	อ.สรวาย อ.พาน	3.0MI	รู้สึกได้ที่ อ.สรวาย อ.พาน จ.เชียงราย	CHTO
25	11ก.ย.2537	8:31:00	19.46	99.60	อ.สรวาย อ.พาน	5.1MI	รู้สึกได้ที่ อ.สรวาย อ.พาน จ.เชียงราย มีความเสียหายกับสิ่งก่อสร้างใกล้ศูนย์กลางเช่น โรงพยาบาล โรงเรียน วัด ใน อ.พาน จ.เชียงราย	USGS
26	16ม.ค.2538	12:43:00	20.20	100.50	อ.เชียงของ	3.1MI	รู้สึกได้ที่ อ.เชียงของ จ.เชียงราย	CHTO
27	25ม.ค.2538	11:56:00	21.00	100.60	พม่า-ลาว	5.0MI	รู้สึกได้ที่ อ.เมือง จ.เชียงราย	CHTO
28	24ก.พ.2538	15:11:00	21.80	99.50	พม่า	5.0MI	รู้สึกได้ที่ อ.เมือง จ.เชียงราย	CHTO
29	30มี.ย.2538	6:04:00	22.10	99.00	พม่า	5.5MI	รู้สึกได้ที่ อ.เมือง จ.เชียงราย	CHTO
30	10ก.ค.2538	3:32:00	22.10	99.00	พม่า	6.6MI	รู้สึกได้ที่ อ.เมือง จ.เชียงใหม่และอ.เมือง จ.เชียงราย	CHTO
31	21 ก.ค.2538	4:47:00	22.00	99.20	พม่า	7.2Mb	รู้สึกได้ที่บริเวณภาคเหนือตอนบนและอาคารสูงในกทม. มีความเสียหายเล็กน้อยต่ออาคารและสิ่งก่อสร้าง	CHTO
32	7ส.ค.2538	10:27:00	22.00	99.30	พม่า	5.0MI	รู้สึกได้ที่ อ.เมือง จ.เชียงราย	USGS
33	9ธ.ค.2538	20:26:00	18.20	99.80	อ.ร่องกวาง จ.แพร่	5.1MI	รู้สึกได้ที่ จ.เชียงใหม่ เชียงราย ลำพูน ลำปาง พะเยา แพร่ อุตรดิตถ์ และน่าน เสียหายเล็กน้อยที่ จ.แพร่	USGS
34	21ธ.ค.2538	23:30:00	19.70	99.00	อ.พร้าว จ.เชียงใหม่	5.2MI	รู้สึกได้ที่ จ.เชียงใหม่ เชียงราย ลำพูน ลำปาง พะเยา และแม่ฮ่องสอน	CHTO
35	5ม.ค.2539	11:14:00	20.80	99.60	พม่า-จีน	4.2MI	รู้สึกได้ที่ อ.เมือง จ.เชียงราย	USGS
36	5ม.ค.2539	11:29:00	20.80	99.60	พม่า-จีน	4.1MI	รู้สึกได้ที่ อ.เมือง จ.เชียงราย	CHTO
37	15ก.ค.2539	12:28:00	22.00	99.30	พม่า-จีน	5.0MI	รู้สึกได้ที่ หอบังคับการบิน อ.เมือง จ.เชียงราย	USGS
38	9พ.ย.2539	10:40:00	22.00	99.30	พม่า-จีน	5.0MI	รู้สึกได้ที่ อ.เมือง จ.เชียงราย	CHTO
39	11พ.ย.2539	16:22:00	18.50	95.60	พม่า	6.5MI	รู้สึกได้ที่ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ และอ.เมือง จ.เชียงราย	CHTO
40	22ธ.ค.2539	0:51:00	20.40	100.10	ไทย-ลาว	5.5MI	รู้สึกได้ที่ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ และมีความเสียหายเล็กน้อยที่ อ.เมือง จ.เชียงราย	CHTO
41	15ม.ค.2540	8:26:00	18.50	95.60	พม่า	4.6MI	รู้สึกได้ที่ อ.เมือง จ.เชียงใหม่	CHTO
42	2ก.พ.2540	19:35:00	18.40	99.90	อ.สอง จ.แพร่	4.0MI	รู้สึกได้ที่ อ.สอง จ.แพร่	CHTO
43	6มี.ย.2540	18:06:00	20.00	99.00	ไทย-พม่า	4.0MI	รู้สึกได้ที่ อ.เมือง จ.เชียงราย	CHTO
44	13ก.ค.2541	9:20:00	19.70	99.10	อ.ฝาง จ.เชียงใหม่	4.1MI	รู้สึกได้ที่ อ.ฝาง จ.เชียงใหม่และจ.เชียงราย	CHTO
45	13ก.ค.2541	12:56:00	19.60	99.10	อ.ฝาง จ.เชียงใหม่	3.5MI	รู้สึกได้ที่ อ.ฝาง จ.เชียงใหม่และจ.เชียงราย	CHTO
46	3เม.ย.2542	7:47:00	20.50	99.80	ไทย-พม่า	3.2MI	รู้สึกได้ที่ อ.เชียงแสน จ.เชียงราย	CHTO
47	29มี.ย.2542	6:38:00	21.00	100.50	พม่า	5.6MI	รู้สึกได้ที่ จ.เชียงราย	CHTO
48	20ม.ค.2543	3:59:00	19.90	100.78	อ.หงสา จ.สขามูร์ ลาว	5.9MI	รู้สึกได้ที่ อ.เมือง อ.ท่าวังผา อ.ทุ่งช้าง จ.น่าน จ.แพร่ จ.พะเยา จ.เชียงราย มีความเสียหายเล็กน้อยที่ จ.น่านและจ.แพร่	TMD

ลำดับ	วัน/เดือน/ปี	เวลา	ละติจูด	ลองจิจูด	ศูนย์กลางแผ่นดินไหว	ขนาด	หมายเหตุ	แหล่งที่มา
49	4ม.ค.2544	9:05:00	21.40	98.60	จ.เข็ญคอง พม่า	4.6MI	รู้สึกได้ที่อ.เมือง จ.เข็ญจราย	TMD
50	4ม.ค.2544	11:03:00	21.40	98.60	จ.เข็ญคอง พม่า	5.0MI	รู้สึกได้ที่อ.เมือง จ.เข็ญจราย	TMD
51	11พ.ย.2544	18:38:00	19.29	99.76	จ.เข็ญจราย	3.7MI	รู้สึกได้ที่ อ.พาน จ.เข็ญจราย	TMD
52	8พ.ค.2545	20:05:00	19.50	99.60	อ.แม่สรวย	2.0MI	รู้สึกได้ที่ อ.แม่สรวย อ.เมือง จ.เข็ญจราย	TMD
53	2ก.ค.2545	10:54:00	20.20	100.10	อ.เข็ญจแสน	4.7MI	รู้สึกได้ที่ อ.เมือง อ.เข็ญจแสน จ.เข็ญจราย อ.เมือง จ.พะเยา อ.เมือง จ.น่าน	TMD
54	18ก.ค.2545	16:50:00	20.10	97.50	พม่า	5.0MI	รู้สึกได้ที่ อ.เมือง จ.เข็ญจราย	TMD
55	19ก.ค.2545	12:39:00	20.10	97.50	พม่า	4.6MI	รู้สึกได้ที่อ.เมือง จ.เข็ญจราย	TMD
56	26ก.พ.2546	5:19:00	20.02	99.97	อ.เข็ญจแสน	3.0MI	รู้สึกได้ที่ อ.เข็ญจแสน จ.เข็ญจราย	TMD
57	18ก.ย.2546	18:04:00	20.50	100.90	พรมแดนลาว-พม่า	5.5MI	รู้สึกได้ที่ อ.เมือง จ.เข็ญจราย	TMD
58	22ก.ย.2546	1:16:00	19.40	96.20	พม่า	6.7MI	รู้สึกได้ที่ อ.เมือง อ.เข็ญจดาว จ.เข็ญจใหม่ จ.แม่ฮ่องสอน ลำพูน เข็ญจราย และอาคารสูงในกทม.บางแห่งเสียหายเล็กน้อย	TMD