



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ทุนวิจัย  
กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช

รายงานวิจัย

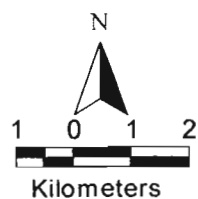
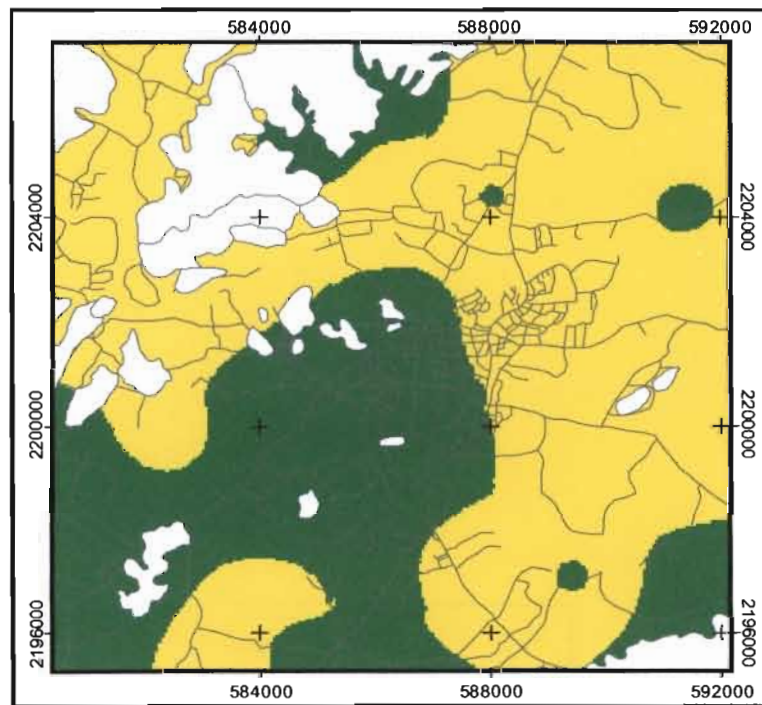
แผนที่ความเร็วคลื่นเฉือนระดับตื้นและการแบ่งชนิดของดิน  
เพื่อประเมินผลกระทบจากแผ่นดินไหว บริเวณอำเภอเมือง  
จังหวัดเชียงราย

โดย

ฐานบ ธิติมากร

กรกฎาคม 2556

แผนที่ความเร็วคลื่นเฉือนระดับต้นและการแบ่งชนิดของดินเพื่อประเมินผล  
กระทบจากแผ่นดินไหว บริเวณอำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย  
(Shear-wave Velocity Mapping and Site Classification of Soil for Earthquake  
Hazard Evaluation in Amphoe Muang, Changwat Chiang Rai, Northern Thailand)



LEGEND  
NEHRP Site Classes

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

ฐานบ ธิติมากร  
ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายงานฉบับสมบูรณ์  
กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช

มิถุนายน 2556

## กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาครั้งนี้ได้รับการสนับสนุนด้านงบประมาณจากกองทุนรัชดาภิเษกสมโภช จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย แลจากภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ ที่สนับสนุนอุปกรณ์ต่างๆในการดำเนินการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

เลขหมู่

เลขทะเบียน 016735

วัน, เดือน, ปี 21 ก.ค. 58

ชื่อโครงการวิจัย: แผนที่ความเร็วคลื่นเฉือนระดับตื้นและการแบ่งชนิดของดิน เพื่อประเมินผลกระทบจากแผ่นดินไหว บริเวณอำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย

ชื่อผู้วิจัย: สุานบ ธิติมากร  
เดือนและปีที่ทำวิจัยเสร็จ: มิถุนายน 2556

### บทคัดย่อ

จังหวัดเชียงรายเป็นจังหวัดทางภาคเหนือที่มีโอกาสได้รับผลกระทบจากแผ่นดินไหว นอกจากหลักฐานแผ่นดินไหวในอดีตแล้ว จังหวัดเชียงรายยังตั้งอยู่ใกล้กับรอยเลื่อนมีพลังทั้งในประเทศไทยและประเทศใกล้เคียง นอกจากนั้นแล้วอำเภอเมืองจังหวัดเชียงรายอยู่บนดินตะกอนที่ยังไม่แข็งตัว ซึ่งตะกอนที่เกิดจากการสะสมตัวจากตะกอนแม่น้ำกก ซึ่งชั้นดินตะกอนเหล่านี้อาจก่อให้เกิดปัญหาภัยพิบัติฐานรากอาคารหรือสิ่งก่อสร้างต่างๆได้เมื่อเกิดแผ่นดินไหวขึ้น โดยเฉพาะคุณสมบัติการขยายแรงแผ่นดินของดิน ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวสามารถจะประเมินได้จากค่าความเร็วคลื่นเฉือนของดิน ซึ่งโดยทั่วไปแล้วดินอ่อนจะค่าความเร็วคลื่นเฉือนต่ำและมักจะมีความสามารถในการขยายแรงแผ่นดินไหวได้มากกว่าดินแข็ง

ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการทำแผนที่ความเร็วคลื่นเฉือนของดินในบริเวณอำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย และแผนที่ชนิดของดินตามข้อกำหนดของหน่วยงาน NEHRP โดยที่ความเร็วคลื่นเฉือนของดินนั้นจะใช้วิธีการวิเคราะห์จากคลื่นพื้นผิวหรือที่เรียกว่าวิธี MASW ในงานวิจัยนี้ได้ทำการเก็บข้อมูล MASW จำนวน 30 จุด ครอบคลุมกลุ่มดินทั้งหมด 5 กลุ่ม ที่พบในพื้นที่ศึกษา จากข้อมูลความเร็วคลื่นเฉือนที่ได้จากวิธี MASW ได้นำมาหาค่าเฉลี่ยที่ระดับความลึก 0 ถึง 30 เมตร และนำมาแบ่งชนิดตามข้อกำหนดของ NEHRP จากผลการสำรวจสามารถจัดจำแนกดินออกได้ 2 ชนิดคือ ดินชนิด C ที่มีความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ย  $V_s(30)$  เท่ากับ 418 m/s และดินชนิด D ที่มีความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ย  $V_s(30)$  เท่ากับ 338 m/s และพื้นที่ส่วนใหญ่ของอำเภอเมืองนั้นประกอบไปด้วยดินชนิด D เป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นจึงมีโอกาสก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งก่อสร้างที่อยู่บนดินชนิดนี้ได้หากเกิดแผ่นดินไหวในบริเวณใกล้เคียง

Project Title: Shear-wave Velocity Mapping and Site Classification of  
Soil for Earthquake Hazard Evaluation in Amphoe Muang,  
Changwat Chiang Rai, Northern Thailand

Name of the Investigators: Thanop Thitimakorn

Year: 2013

#### Abstract

Chiangrai city 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. 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 the city using the ( $V_{s(30)}$ ). In this study, we use the MASW (Multi-channel Analysis of Surface Wave) techniques to determine  $V_s$  of soils. 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 2003 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.

## สารบัญ

กิตติกรรมประกาศ	ii
บทคัดย่อภาษาไทย	iii
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	iv
สารบัญ	iv
สารบัญรูป	vii
สารบัญตาราง	vii
1. บทนำ (Introduction)	
1.1 แนวคิดพื้นฐาน	1
1.2 สมมุติฐานของงานวิจัย	2
1.3 จุดประสงค์ของงานวิจัย (Objective)	2
1.4 พื้นที่ศึกษา	2
1.5 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
1.6 ขอบเขตการศึกษา	6
1.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
1.8 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	9
2. ธรณีวิทยาทั่วไป	
2.1 ภูมิสังฐาน	10
2.2 ลักษณะทางน้ำ	10
2.3 ลักษณะทางธรณีวิทยา	11
2.4 ธรณีวิทยาโครงสร้าง	13
3. ระเบียบวิธีวิจัย	
3.1 ขั้นตอนงานวิจัย	17
3.2 วิธีการดำเนินงานวิจัย	18
3.3 แผนที่แสดงการกระจายตัวของดินในพื้นที่ศึกษา	20
3.4 ออกเก็บข้อมูลภาคสนาม	22
3.5 ประมวลผลข้อมูลคลื่นพื้นผิว MASW	24
4. การวิเคราะห์ผล	
4.1 การคำนวณค่า Vs(30)	25

4.2	แผนที่แสดงการกระจายตัวของค่า Vs(30)	28
4.3	การสร้างแผนที่ชนิดของดิน (NEHRP Site Class Map)	29
บทที่ 5	สรุปผลงานวิจัย (Conclusions)	32
	เอกสารอ้างอิง	33
ภาคผนวก ก	ตารางค่าความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยและการจำแนกประเภทพื้นที่	35
ภาคผนวก ข	ข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนของแต่ละจุดสำรวจ	37
ภาคผนวก ค	รายงานสถิติแผ่นดินไหวรู้สึกได้ที่จังหวัดเชียงราย ตั้งแต่ พ.ศ.2473 ถึง กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2546	53

## สารบัญตาราง

ตารางที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยของ Vs(30) กับกลุ่มของดินในพื้นที่ศึกษา	26
ตารางที่ 4.2 การแบ่งประเภทของดินตามความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ย 30 เมตร (NEHRP, 2003)	30

## สารบัญรูป

รูปที่ 1.1 พื้นที่ศึกษาบริเวณอำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย ครอบคลุมพื้นที่ 120 ตารางกิโลเมตร	3
รูปที่ 1.2 การเคลื่อนที่ของคลื่นพื้นผิว Love wave และ Rayleigh wave	4
รูปที่ 1.3 รูปแบบการเก็บข้อมูล MASW (Park et al., 1998)	5
รูปที่ 1.4 ขั้นตอน Data Acquisition และ Data Processing ของวิธีการสำรวจ MASW (Park et al., 1998)	5
รูปที่ 2.1 แผนที่ธรณีวิทยาจังหวัดเชียงราย มาตราส่วน 1:250000 (กรมทรัพยากรธรณี, 2550)	15
รูปที่ 2.2 รอยเลื่อนมีพลัง (Active Fault) ในจังหวัดเชียงราย ประกอบด้วยกลุ่มรอยเลื่อนพะเยา กลุ่มรอยเลื่อนแม่จัน และกลุ่มรอยเลื่อนแม่ปิง	16
รูปที่ 3.1 แผนที่แสดงขั้นตอนการทำงานวิจัย	17
รูปที่ 3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ออกภาคสนาม	19
รูปที่ 3.3 แผนที่การกระจายตัวของตะกอนดินทั้งหมด 5 หน่วย ในพื้นที่ศึกษา	21
รูปที่ 3.4 แสดงตำแหน่งจุดเก็บข้อมูลภาคสนามทั้ง 30 จุด	22
รูปที่ 3.5 การเก็บข้อมูลในภาคสนาม	23
รูปที่ 3.6 แผนที่ขั้นตอนการประมวลผลข้อมูลโดยใช้โปรแกรม SurfSeis v.2.0	24
รูปที่ 4.1 ค่าความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยที่ระดับความลึก 30 เมตร กับตำแหน่งเก็บข้อมูล	25
รูปที่ 4.2 ค่าความเร็วคลื่นเฉือนของ soil type ทั้ง 5	27
รูปที่ 4.3 แผนที่ค่าความเร็วคลื่นเฉือนที่ระดับความลึก 30 เมตร	28
รูปที่ 4.4 ชนิดของดินกับตำแหน่งเก็บข้อมูล Vs	30
รูปที่ 4.5 แผนที่การจำแนกประเภทพื้นที่จากค่าความเร็วคลื่นเฉือน	31



# บทที่ 1

## บทนำ (Introduction)

### 1.1 แนวคิดพื้นฐาน (General Statement)

จากบันทึกเหตุการณ์การเกิดแผ่นดินไหวในอดีตจนถึงปัจจุบัน พบว่าพื้นที่บริเวณภาคเหนือของประเทศไทย แสดงให้เห็นว่ามีการเกิดแผ่นดินไหวความรุนแรงระดับปานกลางเกิดขึ้นหลายครั้ง รวมทั้งจากข้อมูลการศึกษารอยเลื่อนมีพลังในภาคเหนือของประเทศไทยโดยปัญญา จารุศิริ และคณะ (2000) พบว่ารอยเลื่อนมีพลังเหล่านี้ มีความสามารถที่จะก่อให้เกิดแผ่นดินไหวความรุนแรงระดับปานกลางได้ ซึ่งจังหวัดเชียงรายนั้นก็ตั้งอยู่ไม่ห่างจากรอยเลื่อนเหล่านี้มากนัก จึงทำให้พื้นที่จังหวัดเชียงรายโดยเฉพาะอย่างยิ่งอำเภอเมือง ที่มีการเติบโตทางเศรษฐกิจ สิ่งปลูกสร้าง และจำนวนประชากรที่เพิ่มมากขึ้น จึงมีโอกาที่จะได้รับผลกระทบและความเสียหายอันเกิดจากแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวดังกล่าวได้

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

คุณสมบัติการขยายแรงสั่นสะเทือนแผ่นดินไหวของดิน สามารถทำการอ้างอิงได้จากค่าความเร็วคลื่นเฉือน (Shear wave Velocity) ของดิน โดยทั่วไปดินที่มีค่าความเร็วคลื่นเฉือนต่ำมักมีคุณสมบัติการขยายแรงมากกว่าดินที่มีค่าความเร็วคลื่นเฉือนสูง ซึ่งค่าความเร็วของคลื่นเฉือนนี้สามารถทำการวัดได้หลายวิธีทั้งในสนาม และในห้องปฏิบัติการซึ่งมักจะใช้เวลาาน และมีค่าใช้จ่ายที่สูง ปัจจุบันได้มีการพัฒนาวิธีวัดค่าความเร็วคลื่นเฉือนในสนามที่มีราคาถูก และสามารถทำได้อย่างรวดเร็วในปริมาณมากๆ วิธีนี้เรียกว่า "การสำรวจคลื่นไหวสะเทือนผิวดินแบบหลายช่องรับสัญญาณ" (Multi-channel Analysis of Surface Wave (MASW)) (Park et al, 1999) ซึ่งเป็นวิธีที่คล้ายคลึงกับการสำรวจคลื่นไหวสะเทือนทั่วไป โดยวิธีนี้จะนำคลื่นพื้นผิว (Surface wave) มาใช้ในการคำนวณหาค่าความเร็วคลื่นเฉือน

การศึกษาครั้งนี้จะทำการศึกษาถึงการกระจายตัวของความเร็วคลื่นเฉือนของดินแต่ละชนิด บริเวณอำเภอเมืองจังหวัดเชียงราย และพื้นที่ใกล้เคียง นำไปสู่การทำแผนที่ NEHRP site classification ซึ่งแสดงถึงคุณสมบัติการขยายแรงแผ่นดินไหวของดินแต่ละชนิดในพื้นที่ศึกษาตามข้อกำหนดของ National Earthquake Hazards Reduction Program (NEHRP) ปี 2003 ซึ่งจะทำให้เกิดประโยชน์ต่อการวางแผนพัฒนา และวางแผนป้องกันภัยพิบัติอันเกิดจากแผ่นดินไหว บริเวณอำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย

## 1.2 สมมติฐาน (Hypothesis)

ค่าความเร็วคลื่นเฉือนของดิน (Shear-wave Velocity) สามารถใช้ประเมินความเสี่ยงของการขยายแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวได้

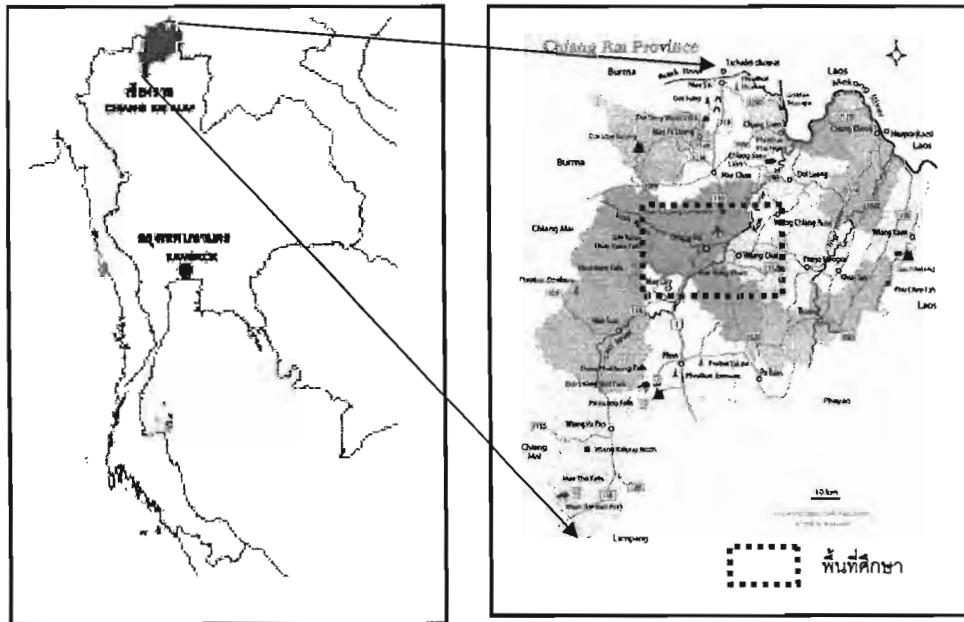
## 1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการ (Objectives)

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 ทางด้านทิศตะวันตกของพื้นที่เป็นบริเวณที่มีเทือกเขา โดยเทือกเขาหินแกรนิต อยู่ทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ และเทือกเขาหินทราย อยู่ทางทิศตะวันตกของพื้นที่ศึกษา มีแม่น้ำสายหลักไหลผ่านคือแม่น้ำกก ที่มีการกวัดแกว่งเป็นลักษณะของ Meandering River เกิดเป็นเนินสันทราย (point bar) รวมทั้งร่องรอยการกวัดแกว่งในอดีต มีทิศทางการไหลจากทิศตะวันตกไปยังทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ส่งผลทำให้ทางด้านทิศตะวันออกมีลักษณะภูมิประเทศเป็นบริเวณที่ราบลุ่มแม่น้ำกก ใช้เส้นทางหลวงหมายเลข 1 ถนนพหลโยธิน เป็นเส้นทางหลักในการเดินทางเข้าสู่พื้นที่

ศึกษา (รูปที่ 1.1) และใช้แผนที่ระวางจังหวัดเชียงราย ลำดับชุด L7017 ระวาง 4948I มาตราส่วน 1:50,000 เป็นแผนที่หลักในการทำงานวิจัยครั้งนี้



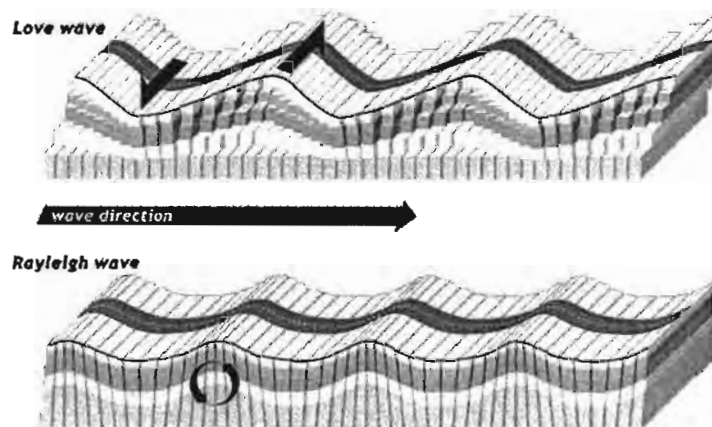
รูปที่ 1.1 พื้นที่ศึกษابริเวณอำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย ครอบคลุมพื้นที่ 120 ตารางกิโลเมตร

[www.guidetothailand.com/thailand-travel-information-files/map-chiang-rai](http://www.guidetothailand.com/thailand-travel-information-files/map-chiang-rai)

## 1.5 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องของ (Relevant Theory)

### 1.5.1 คลื่นพื้นผิว (Surface Wave)

เมื่อเกิดแผ่นดินไหว จะเป็นคลื่นที่เคลื่อนที่บริเวณพื้นผิวของเปลือกโลก เป็นคลื่นที่มีแอมพลิจูดสูงความยาวคลื่นมาก และความถี่ต่ำ จึงทำให้เดินทางช้ากว่าคลื่นหลัก (Body wave) และแอมพลิจูดจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อความลึกเพิ่มมากขึ้น เป็นคลื่นหลักที่ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนของพื้นดิน มีความสามารถที่จะทำสิ่งที่อยู่บนพื้นดินเคลื่อนที่ได้ ก่อให้เกิดความเสียหาย คลื่นพื้นผิวที่สำคัญมี 2 ประเภท ได้แก่ (รูปที่ 1.2) Rayleigh wave คือคลื่นที่มีการเคลื่อนตัวของอนุภาคทั้งในแนวตั้งและในแนวราบ หรือเกิดการหมุนของอนุภาคในขณะที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่านตัวกลาง Love wave คือคลื่นที่มีการเคลื่อนตัวของอนุภาคในแนวราบขนานกับผิวดิน



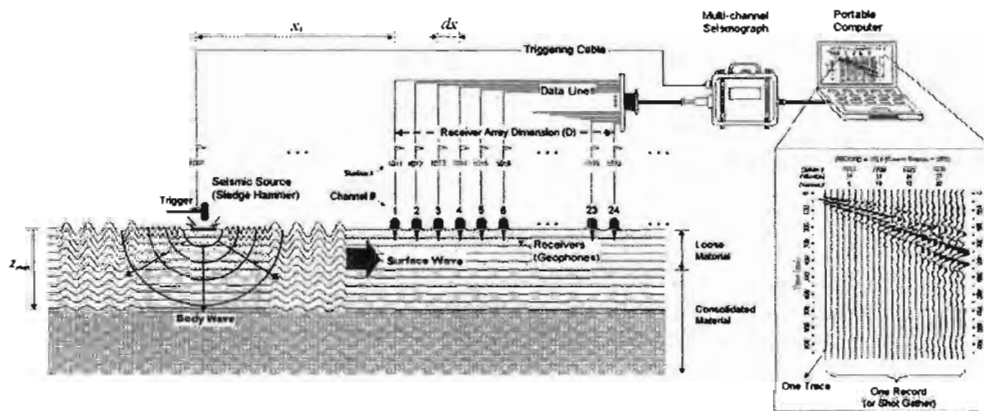
รูปที่ 1.2 การเคลื่อนที่ของคลื่นพื้นผิว Love wave และ Rayleigh wave

([http://www.exploratorium.edu/faultline/basics/images/ayleighlove\\_lrg.gif](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 และคณะในปี ค.ศ. 1999 ซึ่งตรวจวัดการเคลื่อนตัวของคลื่นพื้นผิวประเภทคลื่นคลีนเรลีย์ (Rayleigh Wave) แล้วแปลงคลื่นพื้นผิวให้เป็นคลื่นความเร็วเฉือน สำหรับคลื่นผิวดินนั้น ในการสำรวจคลื่นไหวสะเทือนทั่วไปมักจัดให้เป็นคลื่นรบกวน (Noise) แต่วิธี MASW คลื่นผิวดินจัดให้เป็นสัญญาณที่ต้องการ ข้อดีของการวิเคราะห์โดยใช้คลื่นผิวดิน คือ สามารถให้กำเนิดได้ง่ายและเป็นคลื่นที่มีพลังงานมาก จึงทำให้การตรวจวัดได้ข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนที่ชัดเจน จึงเป็นวิธีการสำรวจที่เหมาะสมทางวิศวกรรมธรณีและสิ่งแวดล้อม ที่มีค่าใช้จ่ายน้อยและทำได้รวดเร็ว

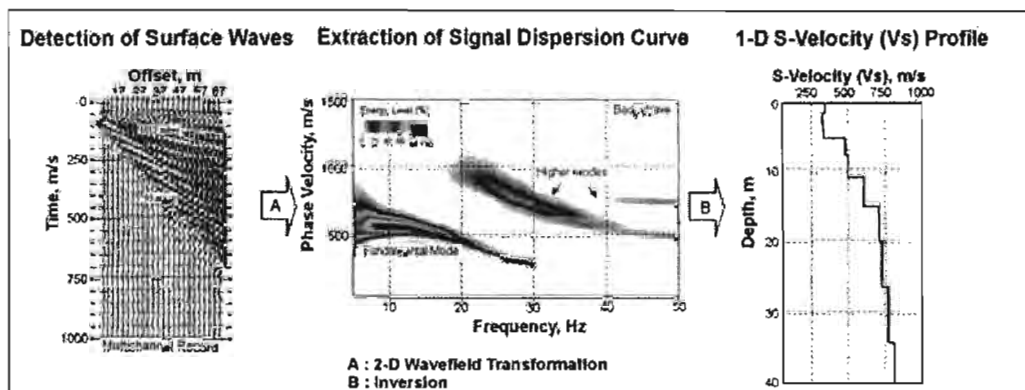
วิธีการนี้เป็นที่รู้จักครั้งแรกในทางวิศวกรรมธรณี เมื่อปี ค.ศ. 1999 โดย Park และคณะ เป็นวิธีการสำรวจคลื่นไหวสะเทือนโดยต้องมีตัวกำเนิดคลื่น เช่น ใช้ค้อนปอนด์ (sledge hammer) เป็นตัวกำเนิดคลื่น และวางตัวรับสัญญาณหลายๆตัว โดยทั่วไปใช้ตัวรับสัญญาณ 24 ตัวหรืออาจมีมากกว่านั้น วางเป็นแนวเส้นตรงบนพื้นดิน ในระยะห่างที่เท่ากัน และตัวรับสัญญาณหลายๆตัวนี้จะถูกเชื่อมต่อกับเครื่อง seismograph ซึ่งเป็นตัวบันทึกข้อมูล เมื่อมีสัญญาณที่ตรวจวัดได้ ตัวรับสัญญาณก็จะส่งคลื่นสัญญาณมายัง เครื่อง seismograph และส่งไปเก็บในเครื่องคอมพิวเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 1.3



รูปที่ 1.3 รูปแบบการเก็บข้อมูล MASW (Park et al., 1998)

วิธีการสำรวจ MASW ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนคือ (รูปที่ 1.4)

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



รูปที่ 1.4 ขั้นตอน Data Acquisition และ Data Processing ของวิธีการสำรวจ MASW (Park et al., 1998)

## 1.6 ขอบเขตการศึกษา (Scope of work)

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

## 1.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature Review)

การศึกษาทางประวัติศาสตร์ และบันทึกจากประเทศข้างเคียง ตลอดจนหลักฐานทาง โบราณคดี เช่น สภาพเมืองโบราณและซากปรักหักพังของเจดีย์ ของ Nutalaya และคณะ (1985) ซึ่งได้แสดงไว้ในดั่งภาคผนวกตารางที่ 1 ทำให้ทราบว่าในอดีตที่ผ่านมาเคยเกิดแผ่นดินไหวใน ประเทศไทยและบริเวณข้างเคียงหลายครั้ง โดยเฉพาะทางตอนเหนือของประเทศไทย ข้อมูล แผ่นดินไหวในประเทศไทยและประเทศข้างเคียงที่มีบันทึกความเสียหายตั้งแต่ พ.ศ.1558 จนถึง พ.ศ. 2502 ได้แสดงไว้ในดั่งภาคผนวกตารางที่ 2 โดยมีแผ่นดินไหวที่มีขนาดความรุนแรง (ตาม มาตราเมอร์คัลลี) ตั้งแต่ VII เกิดขึ้นทั้งหมด 60 ครั้ง จากการบันทึกทางประวัติศาสตร์ ระบุว่าใน ปี พ.ศ.1003 มีแผ่นดินไหวขนาดใหญ่เกิดขึ้นบริเวณโยนกนคร หรือ อำเภอเชียงแสน ทำให้แผ่นดิน ยุบตัวลงกลายเป็นหนองน้ำขนาดใหญ่ เป็นผลทำให้เมืองทั้งเมืองเกิดการถล่มล่มสลาย นับได้ว่า รุนแรงที่สุดโดยจัดขนาดของความรุนแรงประมาณ XII (มาตราเมอร์คัลลี) เหตุการณ์แผ่นดินไหว เมื่อปี พ.ศ.2088 ได้ก่อให้เกิดความเสียหายแก่องค์พระเจดีย์หลวงในตัวเมืองเชียงใหม่ ซึ่งมีความ ยาว 26 เมตร สูง 80 เมตร พังทลายลงมา เหลือความสูงเพียง 60 เมตร เหตุการณ์แผ่นดินไหวใกล้ เมืองเชียงแสนในเวลารุ่งเช้าของวันที่ 6 เดือนเจ็ด ก่อให้เกิดความเสียหายต่อวัด และเจดีย์ต่างๆ ซึ่ง จัดได้ว่าเหตุการณ์ดังกล่าวนี้มีระดับความรุนแรงสูงสุดถึง VI (มาตราเมอร์คัลลี) เหตุการณ์ แผ่นดินไหวขนาดปานกลางเมื่อวันที่ 2 สิงหาคม พ.ศ. 2521 ขนาดความรุนแรง 5.1 มาตราริกเตอร์ ได้รับการกำหนดตำแหน่งศูนย์กลางแผ่นดินไหวอยู่ในเขตประเทศลาว ห่างจากจุดเหนือสุดของ ประเทศไทยไปทางทิศตะวันออกประมาณ 80 กม นอกจากนี้ยังมีรายงานว่ารู้สึกได้ที่ตัวจังหวัด เชียงราย เหตุการณ์แผ่นดินไหวเมื่อวันที่ 28 และ 30 กันยายน พ.ศ. 2532 ได้เกิดแผ่นดินไหว

ขนาดปานกลางขึ้น 2 ครั้ง มีขนาด 5.3 และ 5.4 เมตรริกเตอร์ ซึ่งเหตุการณ์ครั้งนี้รู้สึกได้ทั่วทั้งภาคเหนือ ได้รับการกำหนดตำแหน่งที่ 100 กม ทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือค่อนไปทางทิศตะวันตกของจังหวัดเชียงราย เหตุการณ์แผ่นดินไหวเมื่อวันที่ 11 กันยายน พ.ศ. 2537 ได้รายงานว่ามีควมรุนแรง 5.1 เมตรริกเตอร์ โดยมีจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหวใกล้กับตัวอำเภอแม่สรวย จังหวัดเชียงราย ห่างจากตัวเมืองเชียงรายไปทางทิศตะวันตกค่อนไปทางทิศใต้ ประมาณ 75 กม เหตุการณ์ดังกล่าวรู้สึกได้ทั้งจังหวัดเชียงรายและ บริเวณใกล้เคียง โดยที่อำเภอพานเสียหายมากที่สุด กล่าวคือตึกโรงพยาบาลอำเภอพานได้รับความเสียหายอย่างหนัก เหตุการณ์แผ่นดินไหวเมื่อวันที่ 22 กันยายน พ.ศ.2546 เกิดแผ่นดินไหวขนาด 6.7 เมตรริกเตอร์ ศูนย์กลางแผ่นดินไหวในประเทศสหภาพพม่า ซึ่งใกล้กับแนวรอยเลื่อนสกาย รู้สึกได้ในบริเวณอำเภอเมือง อำเภอเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่ จังหวัดแม่ฮ่องสอน จังหวัดลำพูน จังหวัดเชียงรายและอาคารสูงหลายแห่งในกรุงเทพมหานครได้รับความเสียหายเล็กน้อย

และล่าสุดเหตุการณ์แผ่นดินไหวเมื่อวันที่ 16 พฤษภาคม พ.ศ. 2550 ขนาดความรุนแรง 6.3 เมตรริกเตอร์ มีตำแหน่งศูนย์กลางแผ่นดินไหวอยู่ในเขตประเทศลาว ห่างจากจุดเหนือสุดของประเทศไทยไปทางทิศตะวันออกประมาณ 100 กม มีรายงานว่าอาคาร สิ่งก่อสร้าง ในจังหวัดเชียงรายได้รับความเสียหายจากเหตุการณ์ดังกล่าว ข้อมูลทางประวัติศาสตร์เหล่านี้มีความสำคัญทำให้ทราบได้ว่า เคยมีแผ่นดินไหวใหญ่เกิดขึ้นทางตอนเหนือของประเทศไทย และทำให้เกิดความเสียหายอย่างมากมายในอดีตที่ผ่านมา (ภาคผนวก ค)

ภายหลังจากการเกิดแผ่นดินไหวครั้งใหญ่เมื่อปี ค.ศ. 1985 ทำให้ Seed และคณะ (1987) ได้ทำการศึกษาคุนสมบัติการขยายแรงแผ่นดินไหวของดินในประเทศเม็กซิโก จากแผ่นดินไหวครั้งดังกล่าว ทำให้เกิดความเสียหายต่อสิ่งก่อสร้างอย่างมากมาย ซึ่งเป็นผลมาจากคุณสมบัติของดินที่มีความสามารถในการขยายแรงแผ่นดินไหวค่อนข้างมาก การศึกษาในครั้งนี้ทำให้เกิดการตื่นตัวในการศึกษาถึงคุณสมบัติของดินในหลายพื้นที่ ที่มีการสร้างเมืองอยู่บนชั้นดินที่มีคุณสมบัติดังกล่าว กระทั่งในปี ค.ศ.2003 ได้มีการศึกษาถึงความสามารถในการขยายแรงแผ่นดินไหวของชั้นดินในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่และเชียงราย โดย Pattarattanakul (2003) ซึ่งมีการใช้ข้อมูลทางธรณีเทคนิคหลายอย่างและข้อมูลหลุมเจาะ ผลจากการศึกษาพบว่าดินบริเวณพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่และเชียงรายสามารถขยายแรงแผ่นดินไหวได้ 1.5 ถึง 3 เท่า นอกจากนั้น Teachavaorainkul

และ Nuntasarn (2005) ได้ศึกษาโอกาสการเกิดสภาพ Liquefaction ในชั้นดินทรายบริเวณพื้นที่ จังหวัดเชียงใหม่ และเชียงราย จากการวิเคราะห์โดยใช้วิธี Effective stress analysis และการลดทอนขนาดของคลื่นแผ่นดินไหวลงไปที่แผ่นดินไหวระยะใกล้ขนาดกลาง ( $M=5.5$ ) พบว่าในบางบริเวณมีโอกาสที่แรงดันน้ำส่วนเกินในชั้นดินทรายจะมีค่าสูงถึง 50% ประกอบกับโครงสร้างอาคารขนาดเล็กในจังหวัดทั้งสองอยู่บนรากฐานที่ตื้น ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ค่อนข้างสูงว่าอาจจะเกิดการวิบัติของอาคารเหล่านี้ หากเกิดแผ่นดินไหวที่มีจุดศูนย์กลางไม่ไกล และขนาดปานกลางมากระทบ

จากการรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับรอยเลื่อนมีพลังในบริเวณประเทศไทยของ Nutalaya (1990) และ Hinthong (1997) พบว่ามีรอยเลื่อนที่คาดว่ายังมีพลังอยู่ทั้งหมด 22 แห่ง โดยที่ 7 แห่งนั้นพบอยู่ในบริเวณภาคเหนือของประเทศไทย นอกจากนั้นยังพบอีกว่ามีรอยเลื่อนที่คาดว่ายังมีพลังอยู่ 2 แนว ที่วางตัวอยู่ระหว่างจังหวัดเชียงใหม่ และเชียงราย ซึ่งก็คือรอยเลื่อนแม่ทา และ รอยเลื่อนเถิน ซึ่งจากการศึกษาดังกล่าวยังบ่งชี้ว่าแนวโน้มที่จะเกิดแผ่นดินไหวขนาดมากกว่า 6 ริกเตอร์ในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทยนั้นมีโอกาสเป็นไปได้

Pekkan และคณะ (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 (2006) ผลของค่าความเร็วคลื่นเฉือนที่ได้จากทั้งสองวิธีการสำรวจ พบว่ามีความแตกต่างกันน้อยกว่า 13% และผลการเปรียบเทียบการจำแนกชนิดดิน ซึ่งอ้างอิงจากค่าความเร็วคลื่นเฉือนนั้น มีค่าความแตกต่างกันน้อยมาก ดังนั้นการหาความเร็วคลื่นเฉือนจากวิธีการวิเคราะห์คลื่นพื้นผิวแบบหลายช่องสัญญาณ (MASW) จึงเป็นวิธีที่สามารถเชื่อถือได้ อีกทั้งเป็นวิธีที่ใช้เวลาและค่าใช้จ่ายในการเก็บข้อมูลน้อยกว่าเมื่อเทียบกับวิธีการวัดจากหลุมเจาะ และ



Luangthavornkul (2007) ได้ศึกษาตัวแปรที่เหมาะสมสำหรับการเก็บข้อมูลคลื่นพื้นผิวแบบ MASW สำหรับชั้นดินกรุงเทพฯ เนื่องจากตัวแปรที่เหมาะสมในการเก็บข้อมูลมีความสำคัญต่อกราฟการกระจายตัว (Dispersion Curve) และผลลัพธ์ของกราฟนั้นจะส่งผลให้ค่าความเร็วคลื่นเฉือนนั้นมีความน่าเชื่อถือด้วย จากการศึกษาพบว่าตัวแปรที่ให้ค่าดีที่สุดสำหรับชั้นดินอ่อน กรุงเทพฯ ได้แก่ slede hammer 14 ปอนด์ ตัวรับสัญญาณที่มีความถี่ 10 เฮิร์ต จำนวน 24 ตัว ระยะห่างระหว่างตัวรับสัญญาณ 1-2 เมตร และระยะห่างจากตัวกำเนิดสัญญาณ 5-10 เมตร

การสำรวจระดับต้นโดยใช้การวิเคราะห์คลื่นผิวดินแบบหลายช่องรับสัญญาณ (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 Dornboonlon (2009) ได้ศึกษาวิธี Passive Remote MASW เพื่อประเมินความเป็นไปได้ในการให้ข้อมูลความเร็วคลื่นเฉือนของชั้นดินกรุงเทพฯ 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

แม่น้ำกกเป็นแม่น้ำสายใหญ่ที่สุด มีต้นกำเนิดจากสันปันน้ำทางด้านตะวันตก ไหลไปทางตะวันออกเฉียงเหนือ ผ่านบริเวณตอนกลางของพื้นที่ มีลักษณะเป็นแบบ Meander river ทำให้มีลักษณะของ Meander scar และ Abandoned channel มากมายทางด้านตะวันตก แม่น้ำกกนี้ไหลไปลงสู่แม่น้ำโขง ที่อำเภอเชียงของ แม่น้ำลาวเป็นแม่น้ำสายที่ยาวมาก มีต้นกำเนิดจากดอยนางแก้ว ในเขตอำเภอเวียงป่าเป้า ไหลขึ้นไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้-ตะวันออกเฉียงเหนือ ยาวประมาณ 25 กิโลเมตร ไหลลงสู่แม่น้ำกก ที่บ้านต้นแห่น 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 (รูปที่ 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 เกิดจากการสะสมตัวของตะกอน ที่ถูกน้ำล้นฝั่งพัดพามาในฤดูน้ำหลาก สะสมตัวบริเวณที่ราบระดับต่ำสุดใกล้หรือติดกับแม่น้ำมีลักษณะเป็นที่ราบกว้างและที่ราบระหว่างหุบเขาตามแม่น้ำสายใหญ่ ทำให้ได้ตะกอนละเอียดเป็นชั้นหนา พบตะกอนชุดนี้เป็นบริเวณกว้างขวางทางฝั่งใต้ของลำน้ำกก และสองฝั่งของน้ำแม่ลาว ส่วนทางฝั่งเหนือของน้ำกกนั้น 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)

เป็นตะกอนที่เกิดจากแม่น้ำกกกวัดแกว่งไปมาในอดีต ทำให้ได้ที่ราบกว้างสองฝั่งลำน้ำในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ พบร่องรอย Meandering scars และ Abandoned channels ตะกอนแบ่งเป็นสองส่วนไม่ต่อเนื่อง ส่วนบนประกอบด้วย Clay และ Silt สีเทา สีน้ำตาล มีจุดปะสีแดง เหนียวเนื้อแน่น ความหนาแตกต่างกันไป ในบริเวณที่หนาจากลำน้ำจะมีความหนามากประมาณ 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 มีรูปร่างสันฐานกลม ลักษณะทั่วไปคล้ายเนินหินแข็ง มีความหนาไม่แน่นอน ประกอบด้วยกรวด ทราย ลูกรัง และศิลาแลง กรวดมีลักษณะกลมมน บางแห่งถูกสารละลายเหล็กออกไซด์เชื่อมประสานจนกลายเป็นชั้นลูกรัง 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 และมักจะเกิดตามเชิงเขา หรือเนินเขา เกิดจากทางน้ำไหลผ่านแล้วกัดเซาะ พัดพาตะกอนต่างๆ มาสะสม ประกอบด้วยทราย ทรายแป้ง และ Clay ปะปนกัน ไม่แสดงเป็นชั้นที่ชัดเจน ไม่มีการคด ขนาด เม็ดทรายค่อนข้างเหลี่ยม สีน้ำตาล น้ำตาลอ่อน บางแห่งมีกรวดปะปนด้วย

#### หินแปร (Metamorphic rocks)

ประกอบด้วยหินแปรเกรดต่ำชนิดหินฟิลไลต์ หินชนวน หินชีสต์ และหินควอร์ตไซต์ พบกระจายตัวเป็นแนวยาวทางด้านตะวันตกของพื้นที่ติดกับแนวเทือกเขาหินแกรนิตมีลักษณะเป็นภูเขาสูงสลับซับซ้อน ส่วนหินฟิลไลต์ หินชนวนและหินชีสต์ ผุพังได้ง่าย ไม่คงสภาพเป็นภูเขาสูงส่วนใหญ่พบเป็นลักษณะเนินเขาเตี้ย

#### หินอัคนี (Igneous rocks)

ประกอบด้วยหิน หินไพрокซีนิต และหินแปรชนิดหินเซอเพนทีนไนต์ มักมีสีดำ เขียวเข้ม ผุกร่อนง่าย ทำให้ภูมิประเทศในบริเวณนี้ไม่คงสภาพเป็นภูเขาสูง ยกเว้นที่เป็นเทือกเขาสูงทางด้านตะวันออก พบกระจายมากทางด้านตะวันออก และพบเป็นหย่อมๆ ทางตอนเหนือ ด้านตะวันตก และตอนใต้ของพื้นที่ส่วนใหญ่วางตัวในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ หินอัคนีแทรกซอนชนิดหินแกรนิต หินไดออไรต์ พบแผ่กระจายกว้างขวางทางทิศตะวันตกของจังหวัด หินภูเขาไฟชนิดหินบะซอลต์ ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 50 ตารางกิโลเมตร มีเนื้อละเอียด สีดำแน่นแข็ง บางส่วนมีรูพรุนในเนื้อหินเนื่องมาจากมีฟองอากาศเข้าไปแทรกในลาวาขณะแข็งตัวกลายเป็นหิน มีการหาอายุโดยวิธีกัมมันตภาพรังสี K/Ar ได้อายุประมาณ 1.6-1.7 ล้านปี หินไรโอไลต์ หินแอนดีไซต์ หินกรวดภูเขาไฟ และหินแก้วภูเขาไฟ พบแผ่กระจายตัวเป็นหย่อมๆ ทางด้านตะวันออกของพื้นที่วางตัวในทิศทางตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ และทิศเหนือ-ใต้ มีลักษณะภูมิประเทศเป็นภูเขา

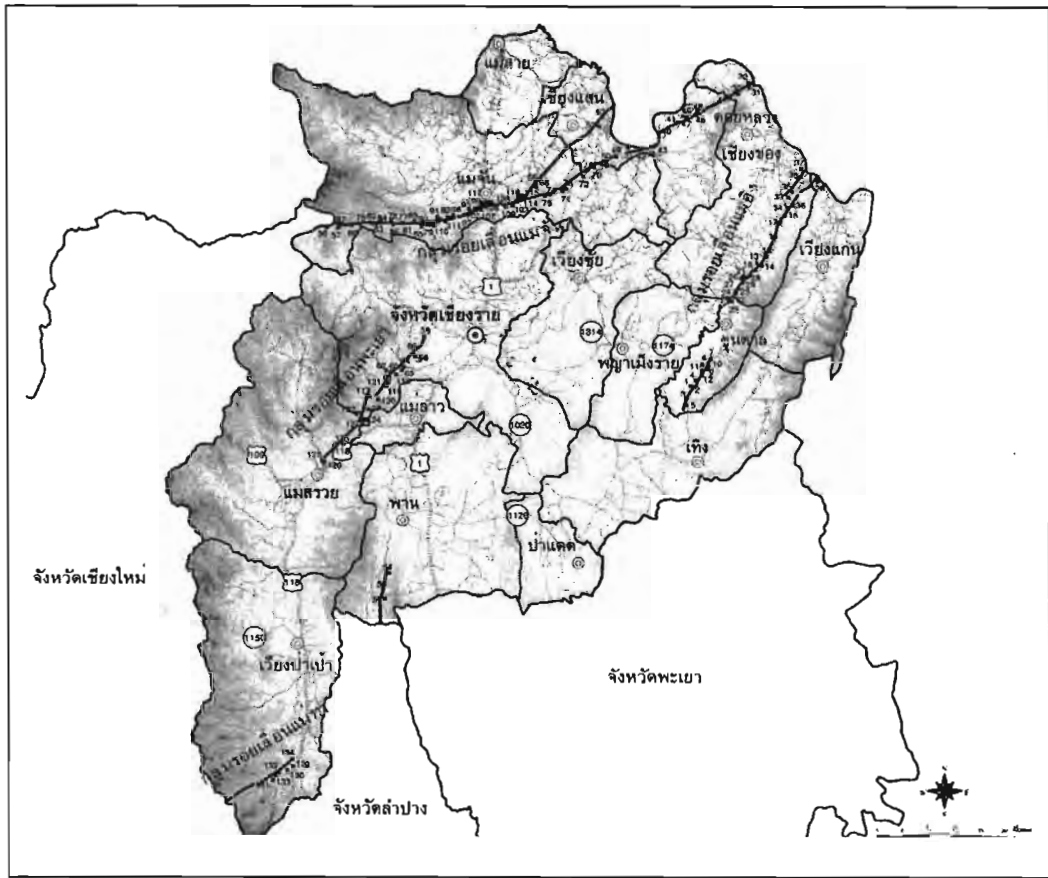
#### 2.4 ธรณีวิทยาโครงสร้าง

โครงสร้างใหญ่ของชั้นหินทางด้านตะวันตกวางตัวในแนวประมาณเหนือ-ใต้ และทางด้านตะวันออกวางตัวในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ โดยมีชั้นหิน คดโค้งรูปประทุน หายแบบตลบทับในหินทรายและหินกรวดมน บริเวณด้านเหนือและด้านตะวันออกของอำเภอปาน ทำให้ลักษณะภูมิประเทศเป็นเขาสูงในบริเวณที่ราบลุ่มน้ำแม่กก ซึ่งอยู่ทางตอนใต้ของพื้นที่แกนของชั้นหินคดโค้งอยู่ในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ และแนวประมาณเหนือ-ใต้ โดยมีระนาบแกนเฉียงไปทางทิศตะวันตก การแทรกดันตัวของหินแกรนิตทางด้านตะวันตกของ

พื้นที่ และหินภูเขาไฟทางด้านตะวันออกของพื้นที่ ส่งผลให้หินในบริเวณดังกล่าวมีการคดโค้งแบบซับซ้อนและมีภูมิประเทศเป็นเขาสูง โดยเฉพาะด้านตะวันออกของพื้นที่ ที่ชั้นหินมีการเอียงเทตัวมากและเมื่อมีการกัดกร่อนตามธรรมชาติ ร่วมด้วยทำให้เกิดลักษณะภูมิประเทศที่สวยงาม คือ ภูเขาไฟ และผาตั้ง

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





รูปที่ 2.2 รอยเลื่อนมีพลัง (Active Fault) ในจังหวัดเชียงราย ประกอบด้วยกลุ่มรอยเลื่อนพะเยา กลุ่มรอยเลื่อนแม่จัน และกลุ่มรอยเลื่อนแม่ปิง

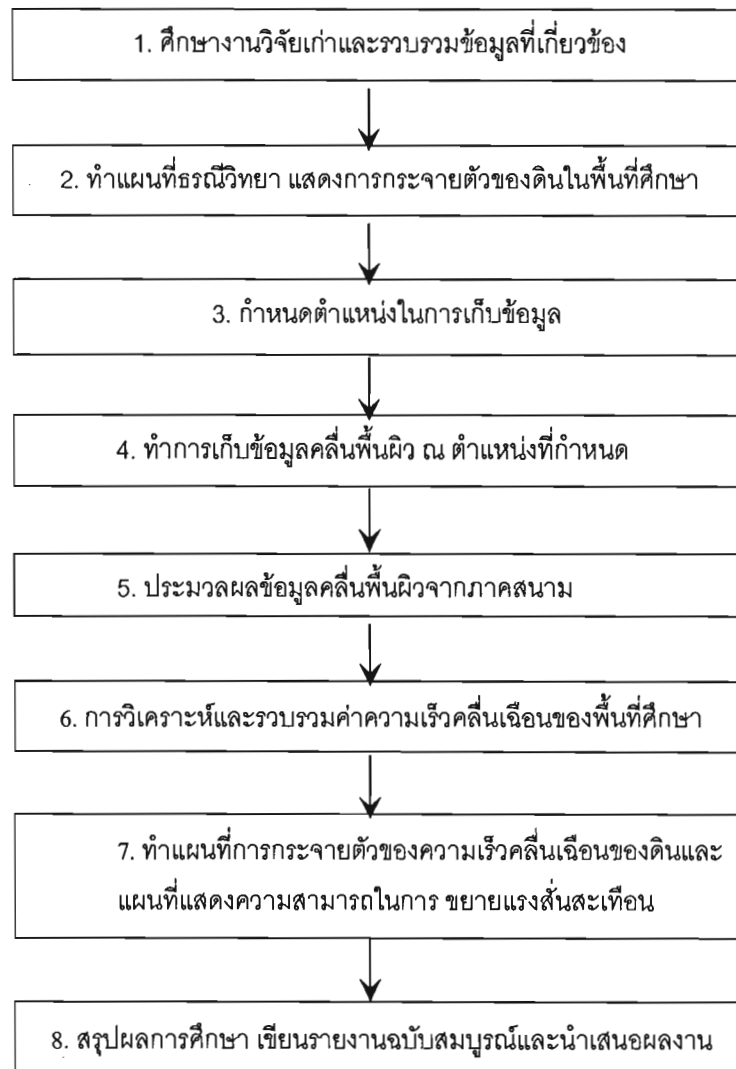
([http://www.dmr.go.th/download/article/article\\_20100625093557.jpg](http://www.dmr.go.th/download/article/article_20100625093557.jpg))



### บทที่ 3 ระเบียบงานวิจัย (Methodology)

#### 3.1 ขั้นตอนงานวิจัยประกอบด้วย 8 ขั้นตอนหลัก ดังนี้

ในงานวิจัยครั้งนี้ได้แบ่งขั้นตอนการทำงานออกเป็น 8 ขั้นตอนหลัก ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนผังแสดงขั้นตอนการทำงานวิจัย

### 3.2 วิธีการดำเนินงานวิจัย (Methodology)

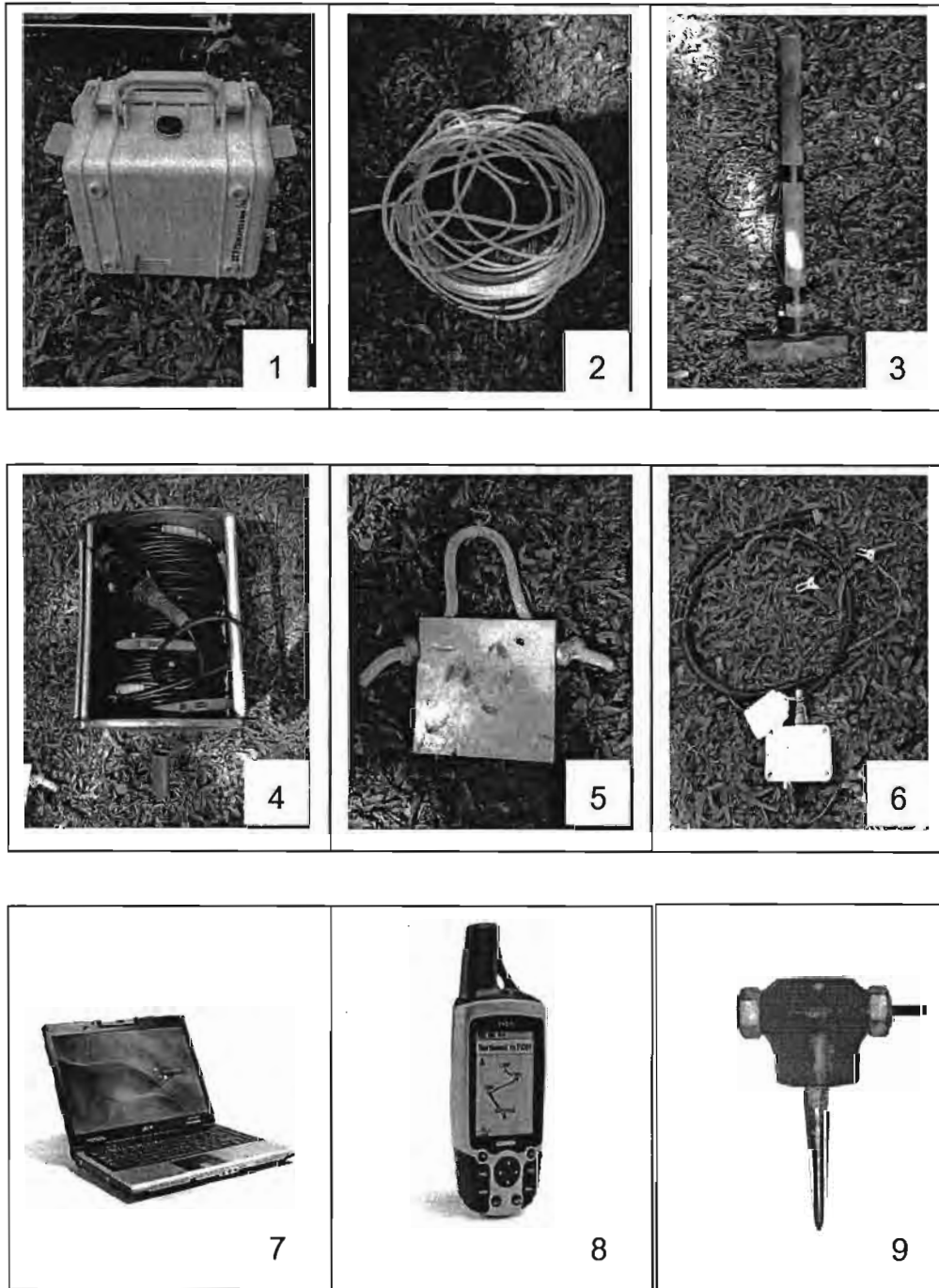
#### 3.2.1 ศึกษางานวิจัยเก่าและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

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

#### 3.2.2 เครื่องมือใช้ในการออกภาคสนาม (Instruments)

ในการเก็บข้อมูลภาคสนามได้ใช้เครื่องมือหลายอย่างซึ่งประกอบด้วย (รูปที่ 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. เครื่องบอกพิกัด GPS
9. ตัวรับสัญญาณคลื่นไหวสะเทือนจำนวน 24 ตัว มีความถี่ธรรมชาติเท่า 4.5 Hz

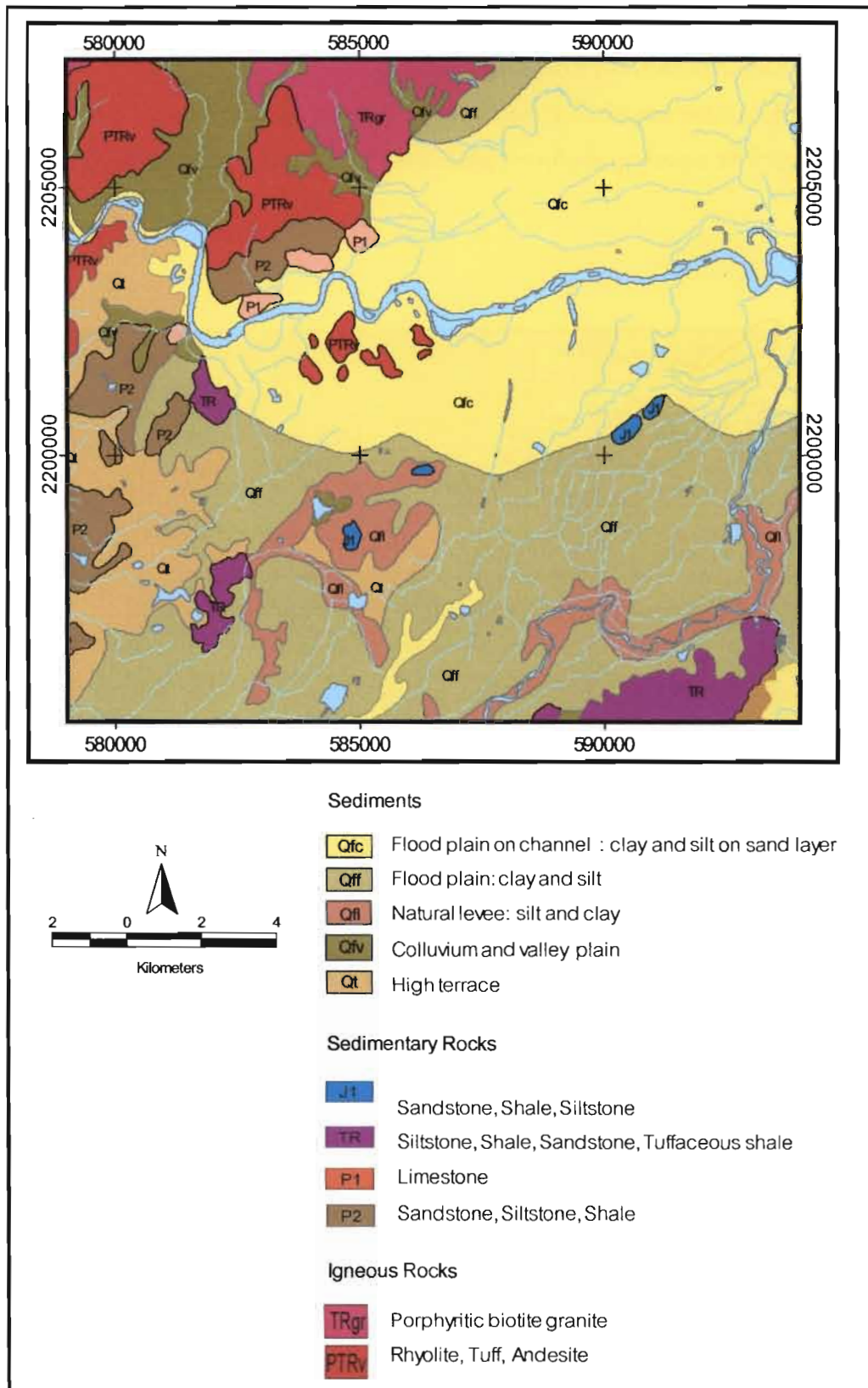


รูปที่ 3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ออกภาคสนาม

### 3.3 แผนที่แสดงการกระจายตัวของดินในพื้นที่ศึกษา

ในการศึกษาครั้งนี้ได้มีการทำแผนที่การกระจายตัวของดินในพื้นที่ศึกษาชั้นใหม่ โดยจำแนกดินออกเป็นกลุ่มๆตามลักษณะทางธรณีสังฐาน จากการแปลภาพถ่ายทางอากาศและดาวเทียม และการปรับปรุงจากแผนที่ธรณีวิทยาประเทศไทย จังหวัดเชียงราย มาตราส่วน 1:50000 ระวัง 4948I จากการศึกษาดังพบสามารถทำการแบ่งดินออกได้เป็น 5 หน่วย คือ (รูปที่ 3.3)

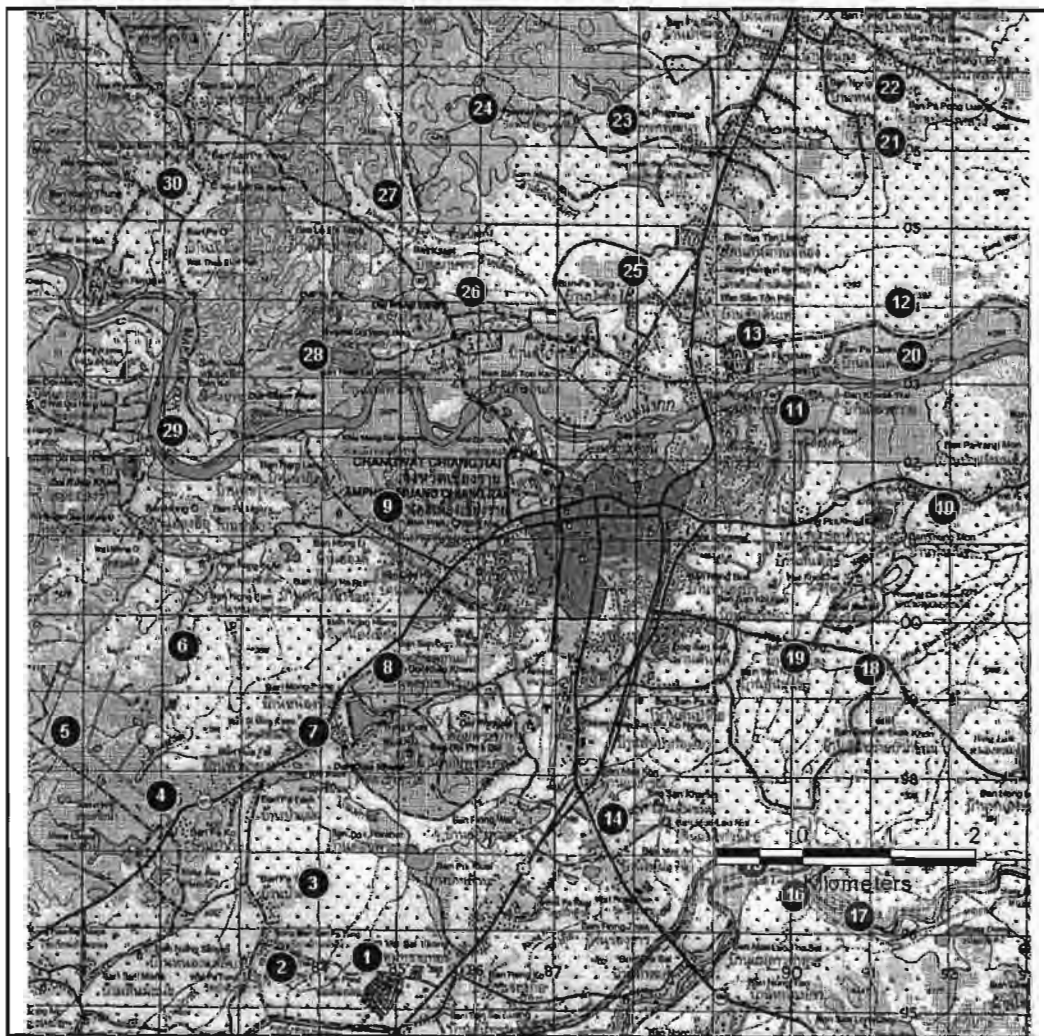
1. ดินกลุ่ม Qfc ซึ่งได้แก่ดินที่สะสมตัวบริเวณที่ราบน้ำท่วมถึงใกล้กับแม่น้ำกก ดินส่วนใหญ่ประกอบด้วยดินทรายและดินเหนียวปนทรายเป็นส่วนใหญ่
2. ดินกลุ่ม Qff ซึ่งได้แก่ดินที่สะสมตัวบริเวณที่ราบน้ำท่วมถึงบริเวณที่ห่างออกไปจากแม่น้ำกก ดินส่วนใหญ่ในหน่วยดินนี้ประกอบด้วย น้ำเหนียวและดินทรายละเอียดเป็นส่วนใหญ่
3. ดินกลุ่ม Qfi ซึ่งได้แก่ดินบริเวณคันดินธรรมชาติของแม่น้ำและลำธาร ประกอบด้วยดินทรายละเอียดและดินเหนียว
4. ดินกลุ่ม Qtv ซึ่งได้แก่ดินบริเวณเชิงเขาและร่องเขา ประกอบด้วยดินกรวดและดินทรายหยาบเป็นส่วนใหญ่
5. ดินกลุ่ม Qt ได้แก่ดินบริเวณตะพักลำน้ำ ประกอบด้วยดินพวกรวดและทรายจากแม่น้ำกก



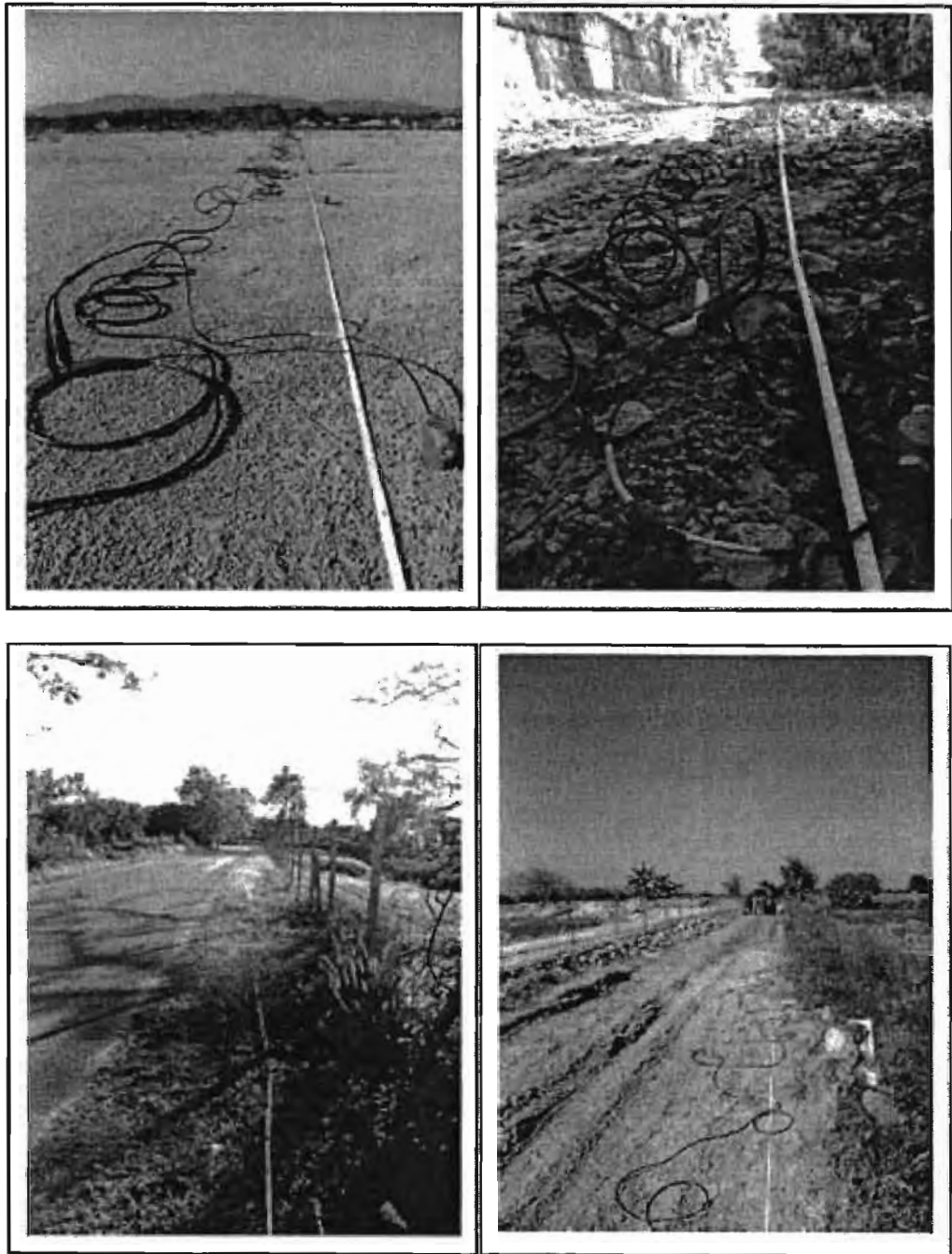
รูปที่ 3.3 แผนที่การกระจายตัวของตะกอนดินทั้งหมด 5 หน่วย ในพื้นที่ศึกษา

### 3.4 การเก็บข้อมูลภาคสนาม

การเก็บข้อมูลภาคสนามใช้วิธีการเก็บข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนแบบ Multi-channel Analysis of Surface Wave (MASW) ตำแหน่งในการเก็บข้อมูลภาคสนามได้กำหนดให้ครอบคลุมพื้นที่ศึกษาและกลุ่มดิน ในการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการเก็บข้อมูลทั้งหมด 30 ตำแหน่ง (รูปที่ 3.4 และรูปที่ 3.5)



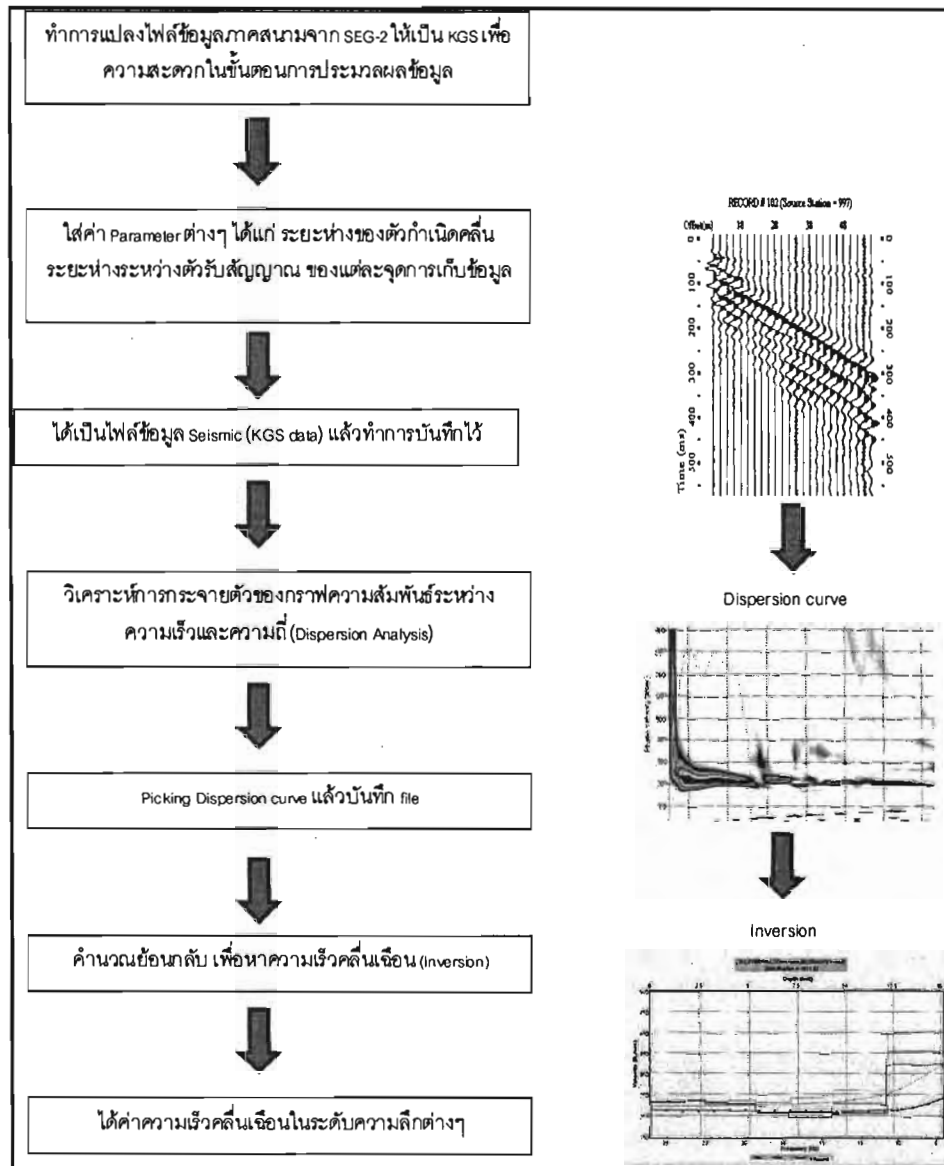
รูปที่ 3.4 แสดงตำแหน่งจุดเก็บข้อมูลภาคสนามทั้ง 30 จุด



รูปที่ 3.5 รูปตัวอย่างการเก็บข้อมูลในพื้นที่ศึกษา

### 3.5 ประมวลผลข้อมูลคลื่นพื้นผิว MASW

การประมวลผลข้อมูลคลื่นพื้นผิวในงานวิจัยนี้ใช้ซอฟต์แวร์ SurfSeis v.2.0 ซึ่งมีขั้นตอนการประมวลผลดังแสดงในรูปที่ 3.6 และข้อมูลการประมวลผลของทุกตำแหน่งเก็บข้อมูลดูได้จากภาคผนวก ข



รูปที่ 3.6 แผนผังขั้นตอนการประมวลผลข้อมูลโดยใช้โปรแกรม SurfSeis v.2.0



## บทที่ 4

### การวิเคราะห์ผล (Data analysis)

#### 4.1 การคำนวณค่า $V_{s(30)}$

จากขั้นตอนการประมวลผลข้อมูลคลื่นไหวสะเทือน ทำให้ได้ค่าความเร็วคลื่นเฉือนที่ระดับความลึกต่างๆ ในแต่ละจุดเก็บข้อมูลทั้ง 30 จุด (ภาคผนวก ก) ดังนั้นจะนำค่าความเร็วคลื่นเฉือนกับระดับความลึกต่างๆ นั้น มาทำการหาค่าเฉลี่ยจนถึงระดับความลึก 30 เมตร เพราะที่ระดับความลึก 30 เมตร เป็นระดับความลึกที่มีผลกระทบต่อรากฐานของสิ่งก่อสร้างโดยทั่วไป ตามสมการที่ (1)

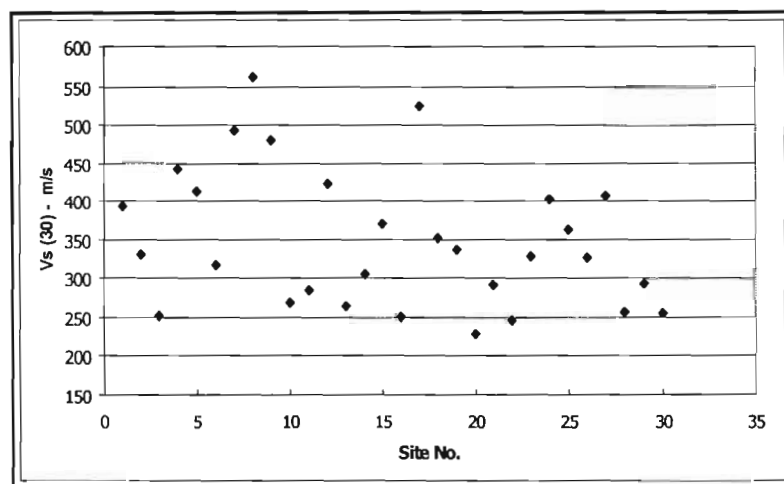
$$V_{s(30)} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n d_i / V_{si}} \quad (1)$$

$V_{s(30)}$  : 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

โดยรูปที่ 4.1 แสดงค่าความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยที่ระดับความลึก 30 เมตร เทียบกับตำแหน่งการเก็บข้อมูล จากข้อมูล  $V_{s(30m)}$  จะเห็นได้ว่าค่าความเร็วของดินในพื้นที่ศึกษามีการกระจายอยู่ตั้งแต่ 230 m/s ถึงประมาณ 550 m/s



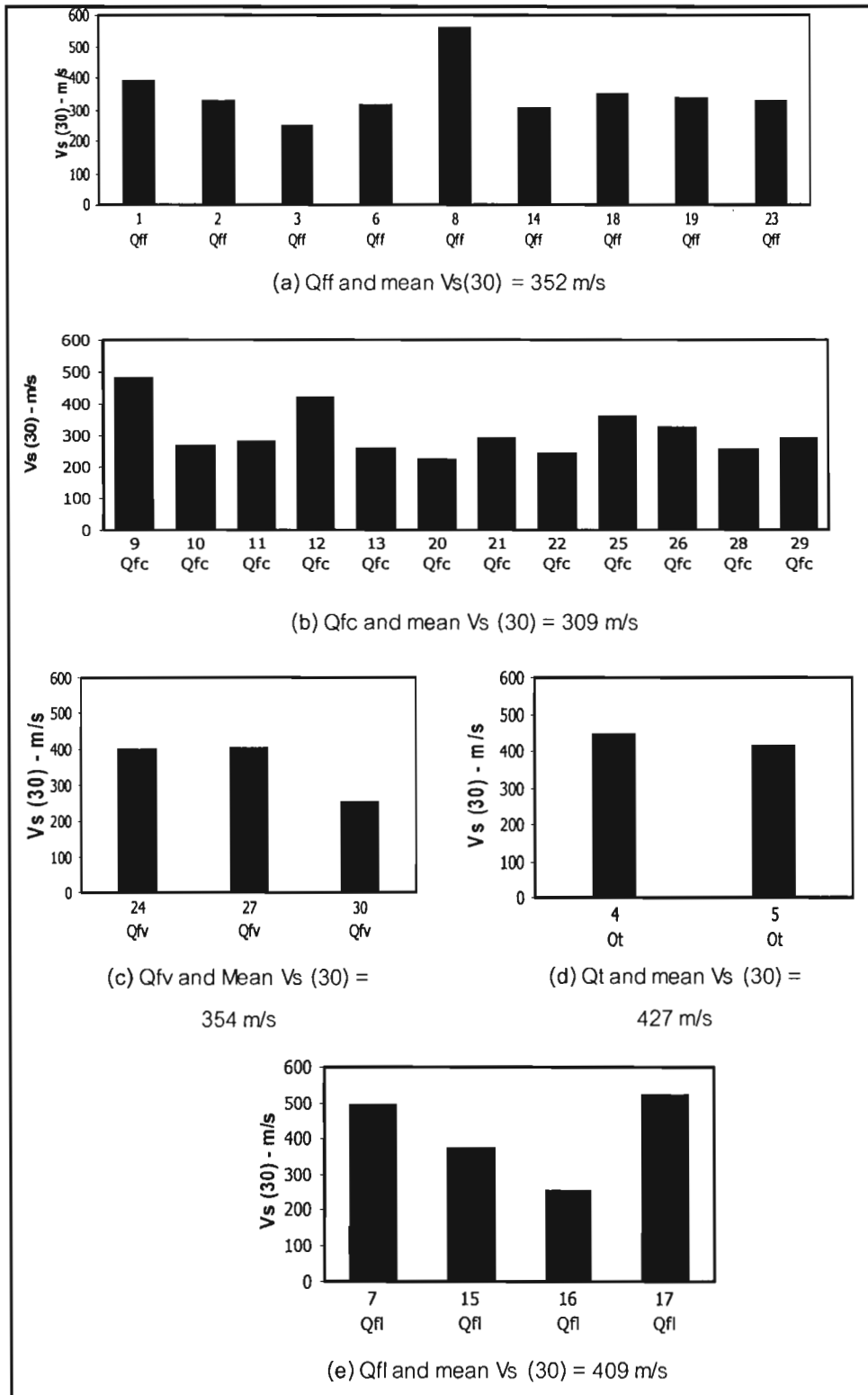
รูปที่ 4.1 ค่าความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยที่ระดับความลึก 30 เมตร กับตำแหน่งเก็บข้อมูล

รูปที่ 4.2 แสดงการกระจายตัวของค่าความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยจากผิวดินถึงความลึก 30 เมตร ( $V_s(30)$ ) กับประเภทของดินทั้ง 5 หนวยในพื้นที่การศึกษา ได้แก่ Qff (Floodplain) Qfc (Floodplain on channel) Qfv (Valley plain) Qt (Colluvium) และ Qfl (Natural levee) ซึ่งการจัดจำแนกนี้สามารถช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูลค่าความเร็วคลื่นเฉือนในแต่ละตำแหน่งของการเก็บข้อมูลให้มีความถูกต้องและน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น สำหรับสาเหตุของข้อมูลที่มีค่าผิดพลาดหรือน่าสงสัยอาจเกิดได้จากลักษณะธรณีวิทยาในแต่ละจุดเก็บข้อมูลที่มีความแตกต่างกัน เช่น ความหนาของตะกอน ชั้นหินฐานที่อยู่ตื้น หรือเกิดจากการบดอัดแน่นของชั้นดินจากการถมพื้นที่หรือสร้างถนนในบริเวณนั้น และอีกปัจจัยที่สำคัญคือการเก็บข้อมูลที่มีสัญญาณรบกวน จากการคมนาคม ส่งผลให้การทำในขั้นตอนการประมวลผลอาจมีการมีความที่ผิดพลาดเกิดขึ้นได้ 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)

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าเฉลี่ย  $V_s(30)$  ของกลุ่มดินในพื้นที่ ซึ่งกลุ่มดินเหล่านี้แสดงตำแหน่งที่พบเอาไว้ในแผนที่แสดงการกระจายของกลุ่มดินที่พบดังแสดงในรูปที่ 3.3 โดยที่ดินในกลุ่ม Colluvium และ Natural levee มีค่าเฉลี่ย  $V_s(30)$  ค่อนข้างสูง ซึ่งโดยทั่วไปดินกลุ่มนี้ประกอบด้วยดินกรวดและทรายเป็นหลัก ส่วนดินในกลุ่ม Floodplain และ Valley plain นั้นมีค่าเฉลี่ยของ  $V_s(30)$  ต่ำกว่าดินกลุ่มแรก ดินในกลุ่มนี้จะประกอบไปด้วยดินทรายละเอียด ดินทรายปนดินเหนียว และดินเหนียวเป็นส่วนมาก

ตารางที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยของ  $V_s(30)$  กับกลุ่มของดินในพื้นที่ศึกษา

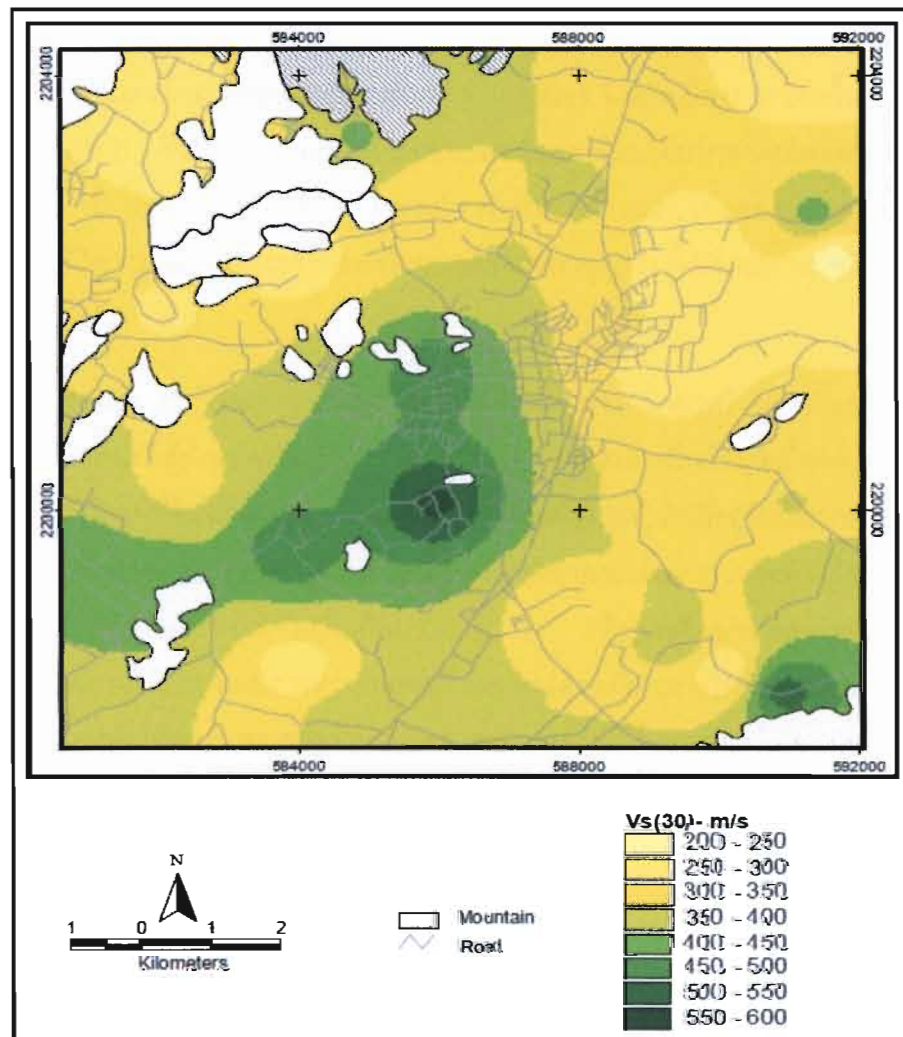
กลุ่มของดิน (Soil Units)	ค่าเฉลี่ยความเร็วคลื่นเฉือนถึง 30 เมตร (Mean $V_s(30)$ )(m/s)
Qfc (Floodplain on channel)	309
Qff (Floodplain)	352
Qfv (Valley plain)	354
Qfl (Natural levee)	409
Qt (Colluvium)	427



รูปที่ 4.2 ค่าความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยที่ 30 เมตร ของดินทั้ง 5 หน่วย

#### 4.2 แผนที่แสดงการกระจายตัวของค่า Vs(30)

จากค่า Vs(30) ของแต่ละจุดสำรวจนำมาสร้างเป็นแผนที่การกระจายตัวของค่า Vs(30) ของพื้นที่ศึกษาได้และแสดงไว้ในรูปที่ 4.3 โดยใช้โทนสีเขียวเป็นบริเวณที่ค่าความเร็วคลื่นเฉือนสูง และโทนสีเหลืองเป็นบริเวณที่มีค่าความเร็วคลื่นเฉือนต่ำ จะสังเกตได้จากพื้นที่ทางตอนกลางในทิศทางเกือบตะวันตกเฉียงใต้ของพื้นที่ศึกษาจะเป็นสีเขียวเข้ม แสดงถึงดินที่มีค่าความเร็วคลื่นเฉือนที่สูง ซึ่งจากแผนที่ดินจะพบว่าบริเวณนี้ประกอบด้วยดินตะกอนเม็ดหยาบบริเวณเชิงเขาและลานตะพักลำน้ำ ส่วนทางด้านทิศตะวันออกของพื้นที่ศึกษามีการลดระดับของโทนเป็นโทนสีเขียวอ่อนไปกระทั่งเป็นโทนสีเหลือง แสดงให้เห็นว่าดินในโทนสีนี้มีค่าความเร็วคลื่นเฉือนอยู่ในระดับต่ำ ซึ่งดินส่วนใหญ่จะเป็นพวกดินที่เกิดสะสมตัวในบริเวณที่ราบน้ำท่วมถึงเป็นส่วนใหญ่ โดยมีขนาดเม็ดตะกอนละเอียดกว่า



รูปที่ 4.3 แผนที่ค่าความเร็วคลื่นเฉือนที่ระดับความลึก 30 เมตร

#### 4.3 การสร้างแผนที่ชนิดของดิน (NEHRP Site Class Map)

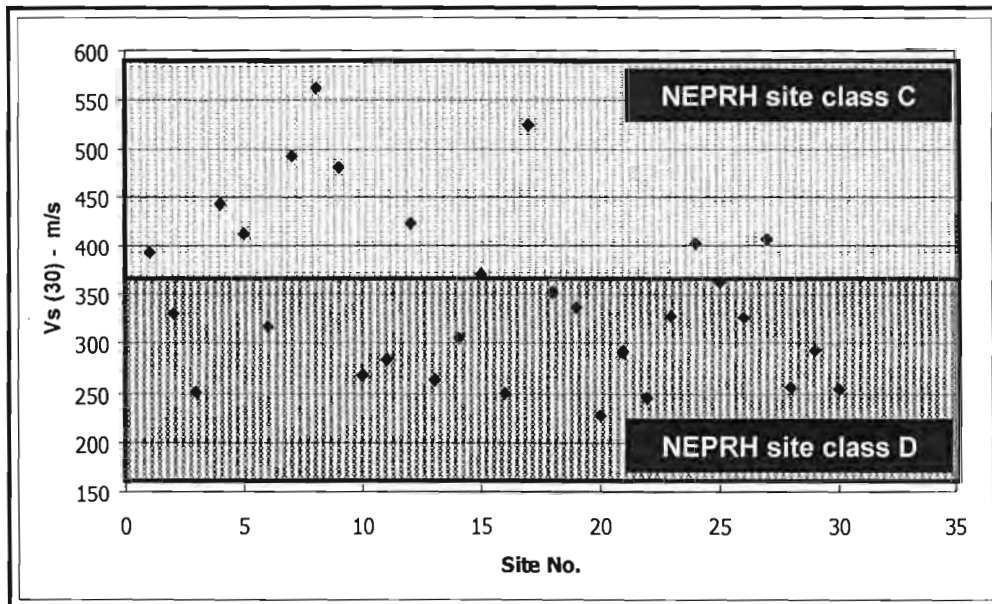
การสร้างแผนที่แสดงชนิดของดินตามข้อกำหนดของ NEHRP, 2003 อาศัยข้อมูล Vs(30) ของแต่ละจุดสำรวจนำมาจัดจำแนกชนิดของดินตามตารางที่ 4.2 และจากรูปที่ 4.4 ซึ่งเป็นกราฟแสดงค่า Vs(30) ของแต่ละจุดสำรวจพร้อมทั้งแสดงขอบเขตของชนิดดินตาม NEHRP ซึ่งพบว่าดินในพื้นที่ศึกษาจะประกอบด้วยเพียง 2 ชนิดเท่านั้นคือ ชนิด C และชนิด D

โดยที่ดินประเภท C ที่มีค่าเฉลี่ย Vs(30) เท่ากับ 418 m/s ซึ่งเป็นตะกอนตะพักลำน้ำ (River Terrace) และตะกอนเนินดิน (Natural Levee) โดยส่วนใหญ่จะกระจายตัวอยู่ทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ของพื้นที่ศึกษา สำหรับดินประเภท D มีค่าเฉลี่ย Vs(30) เท่ากับ 338 m/s เป็นตะกอนบริเวณที่ราบน้ำท่วมถึง (Flood Plain) และที่ราบระหว่างเขา (Valley Plain) โดยส่วนใหญ่จะกระจายตัวอยู่ทางตอนเหนือและตะวันออกเฉียงเหนือของพื้นที่ศึกษา และจากข้อกำหนดของหน่วยงาน NEHRP ในปี 2003 ได้กล่าวไว้ว่า soil type ตั้งแต่ประเภท D ไปจนถึง F เป็นตะกอนดินประเภทที่มีความเสี่ยงต่อการขยายแรงสั่นสะเทือนมากขึ้นตามลำดับจาก จากการจัดจำแนกประเภทพื้นที่ตามค่า Vs(30) ของพื้นที่การศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย โดยพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นดินประเภท D จึงมีความเสี่ยงต่อการขยายแรงสั่นสะเทือนได้มากหากเกิดแผ่นดินไหวขึ้น ดังนั้นเพื่อความไม่ประมาทและความปลอดภัย ควรมีการวางแผนและออกแบบฐานรากของสิ่งก่อสร้างให้มีความมั่นคงแข็งแรง เพื่อลดโอกาสเสี่ยงต่อมาสูญเสียทั้งชีวิตและทรัพย์สินที่อาจจะเกิดขึ้นได้ในพื้นที่ดังกล่าว

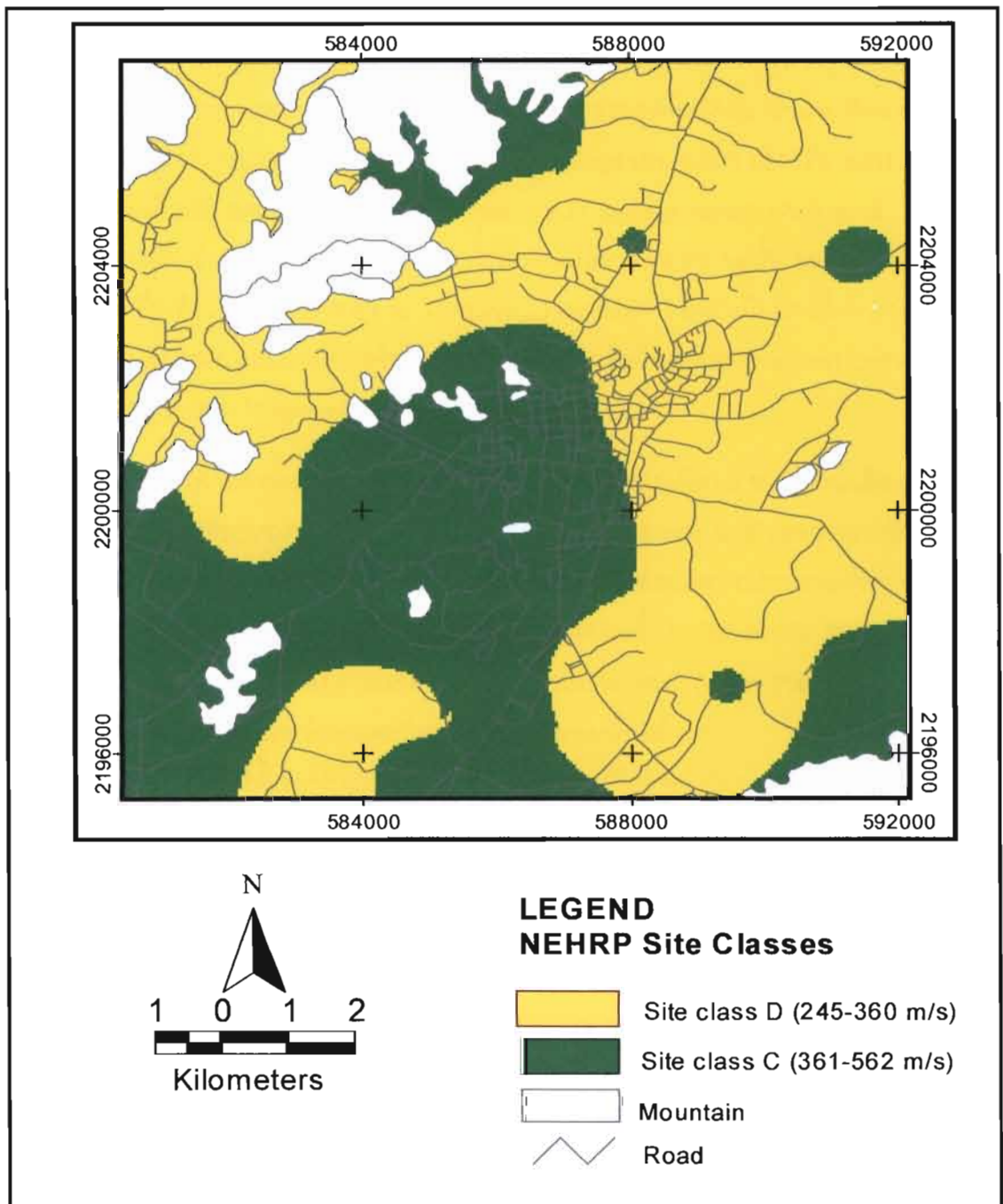
จากชนิดของดินที่จำแนกได้ในแต่ละจุดเก็บข้อมูลสามารถนำมาสร้างแผนที่แสดงขอบเขตชนิดของดินในพื้นที่ได้ดังแสดงในรูป 4.5 ซึ่งแผนที่สามารถนำมาเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการวางแผนการใช้ประโยชน์ที่ดินให้เหมาะสมในอนาคตได้ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วดินที่อยู่ในประเภท D นั้นจะมีโอกาสก่อให้เกิดความเสียหายต่อฐานรากและโครงสร้างอาคารได้มากกว่าดินที่อยู่ในประเภท C ดังนั้นหากจะมีการก่อสร้างใดๆในพื้นที่ดิน Class D แล้วการศึกษาผลตอบสนองต่อแรงแผ่นดินไหวอย่างละเอียดต้องมีการดำเนินการเพื่อความปลอดภัย อย่างไรก็ตามแผนที่ฉบับนี้เป็นแผนที่ฉบับเบื้องต้นเท่านั้น เพราะว่าจำนวนจุดสำรวจอาจจะยังมีไม่มากนัก ในอนาคตหากมีการเก็บข้อมูล Vs มากขึ้นอาจทำได้แผนที่ที่มีความถูกต้องมากขึ้นตามไปด้วย

ตาราง 4.2 การแบ่งประเภทของดินตามความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ย 30 เมตร  
(NEHRP, 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	



รูปที่ 4.4 ชนิดของดินกับตำแหน่งเก็บข้อมูล  $V_s$



รูปที่ 4.5 แผนที่การจำแนกชนิดของดินจากค่าความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยที่ 30 เมตร

## บทที่ 5

### สรุปผลงานวิจัย (Conclusions)

จากการศึกษาและประเมินความเสี่ยงแผ่นดินไหวของพื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัด เชียงราย โดยการรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งในเชิงข้อมูลแผ่นดินไหว และวิธีการสำรวจคลื่น ไหวสะเทือนด้วยวิธี MASW (Multi-channel Analysis of Surface Wave) (Park et al., 1999) สำหรับการเก็บข้อมูลในภาคสนามและการประมวลผลจำนวน 30 จุดนั้น สามารถมาซึ่งค่า ความเร็วคลื่นเฉือนที่ระดับความลึก 30 เมตร ( $V_{s(30)}$ ) นำไปสู่การจัดทำเป็นแผนที่ความเร็วคลื่น เฉือนเฉลี่ย 30 เมตร และแผนที่การจำแนกชนิดของดิน ตามข้อกำหนดของ National Earthquake Hazards Reduction Program (NEHRP) ปี 2003

จากการศึกษาพบว่าดินในพื้นที่ศึกษาจะประกอบด้วยดินเพียง 2 ชนิดเท่านั้นคือ ชนิด C และชนิด D โดยที่ดินประเภท C ที่มีค่าเฉลี่ย  $V_{s(30)}$  เท่ากับ 418 m/s ซึ่งเป็นตะกอนตะพักลำน้ำ (High Terrace) และตะกอนเนินดิน (Natural Levee) โดยส่วนใหญ่จะกระจายตัวอยู่ทางทิศ ตะวันตกเฉียงใต้ของพื้นที่ศึกษา สำหรับดินประเภท D มีค่าเฉลี่ย  $V_{s(30)}$  เท่ากับ 338 m/s เป็น ตะกอนบริเวณที่ราบน้ำท่วมถึง (Flood Plain) และที่ราบระหว่างเขา (Valley Plain) โดยส่วนใหญ่ จะกระจายตัวอยู่ทางตอนเหนือและตะวันออกเฉียงเหนือของพื้นที่ศึกษา

เนื่องจากพื้นที่ตั้งของอำเภอเมือง จังหวัด เชียงราย มีโอกาสสูงในการได้รับผลกระทบจาก แรงสั่นสะเทือนแผ่นดินไหว ทั้งที่มีแหล่งกำเนิดจากภายในประเทศและจากประเทศข้างเคียง การศึกษาถึงความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวในพื้นที่การศึกษานี้ จึงเป็นเรื่องที่ควรให้ความสำคัญ เพื่อใช้ เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการวางแผน และตัดสินใจ สำหรับการก่อสร้างโครงสร้างทางวิศวกรรม รวมทั้งการเตรียมความพร้อมการดำเนินชีวิต



## เอกสารอ้างอิง

- กรมทรัพยากรธรณี, 2528. ธรณีวิทยาระวางจังหวัดเชียงใหม่, กองธรณีวิทยา กรุงเทพฯ: กรมทรัพยากรธรณี ฉบับที่ 0046. 24 หน้า.
- ปัญญา จารุศิริ, สุวิทย์ โคสุวรรณ, วิโรจน์ ดาวฤกษ์, นรินทร์ เวชบันเทิง, และ สุทธิพันธ์ ชูทรานนท์, 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

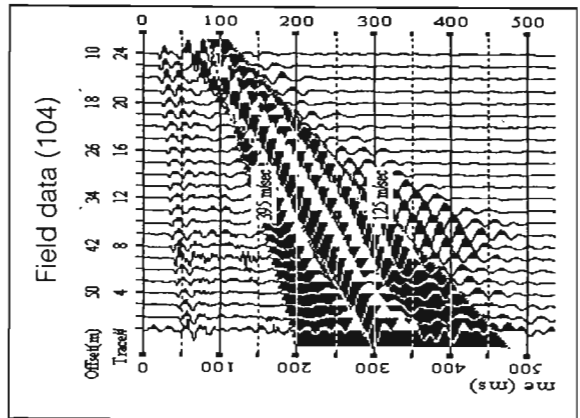
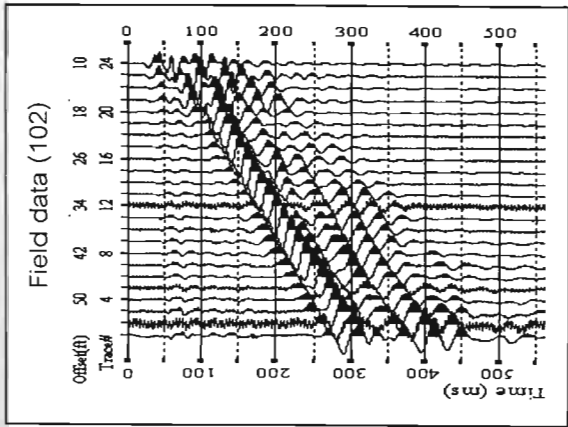
ค่าความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยที่ 30 เมตร และการจำแนกชนิดของดิน ณ  
ตำแหน่งที่เก็บข้อมูล

ตารางค่าความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยและการจำแนกประเภทพื้นที่ ณ ตำแหน่งที่เก็บข้อมูล

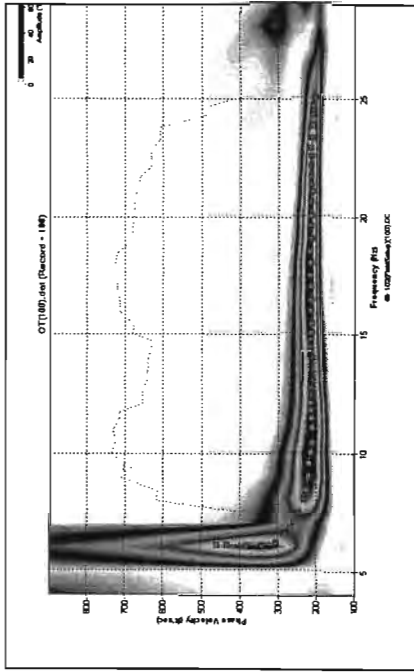
Station	UTM Grid X	UTM Grid Y	Geology	Vs(30) m/s	Site classification
1	584597	2195740	Qff	392	C
2	583501	2195672	Qff	330	D
3	583954	2196638	Qff	251	D
4	582001	2197897	Qt	443	C
5	580893	2198465	Qt	412	C
6	582379	2199746	Qff	316	D
7	583905	2198543	Qfl	493	C
8	585973	2199315	Qff	562	C
9	585940	2201453	Qfc	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

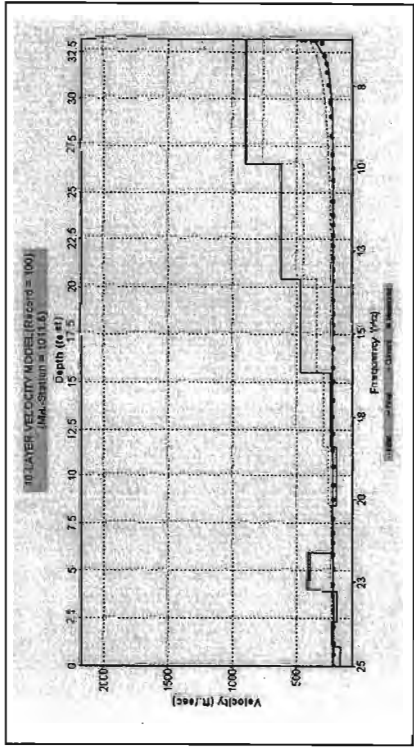
ข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนของแต่ละจุดสำรวจ



Dispersion curve

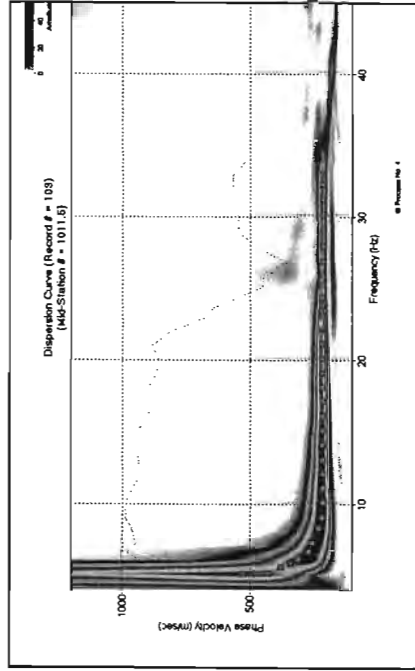


Inversion

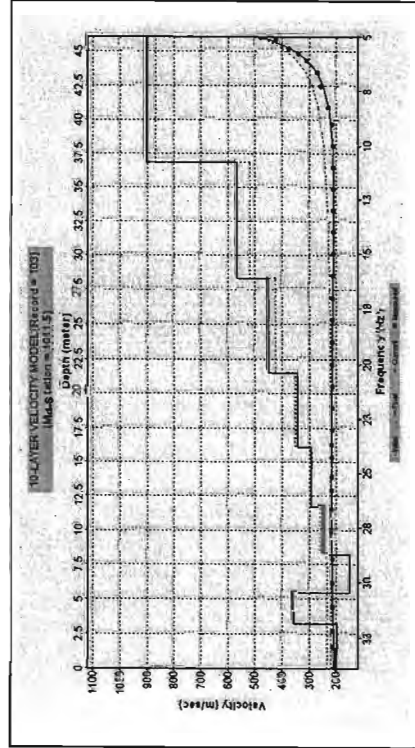


ข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนและการประมวลผลข้อมูลจากจุดสำรวจที่ 1

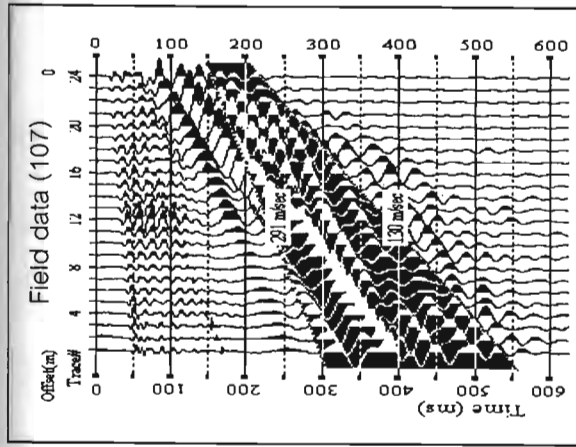
Dispersion curve



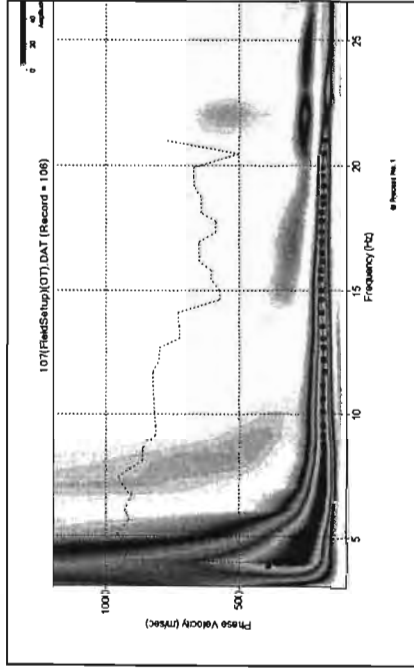
Inversion



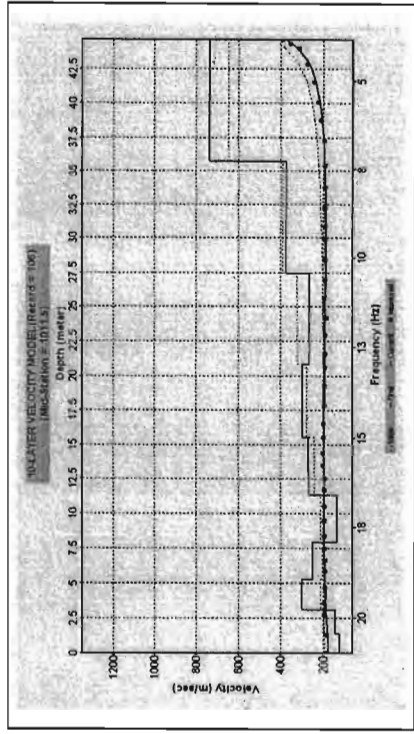
ข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนและการประมวลผลข้อมูลจากจุดสำรวจที่ 2



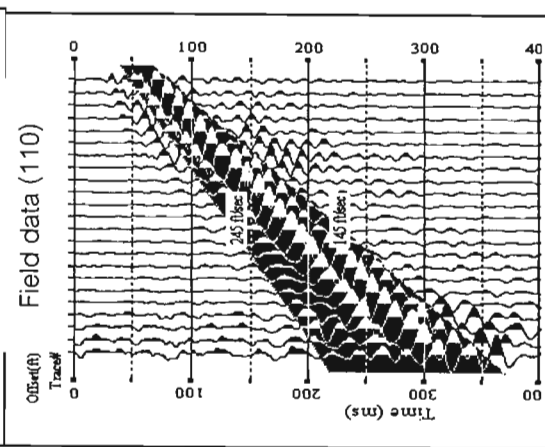
Dispersion curve



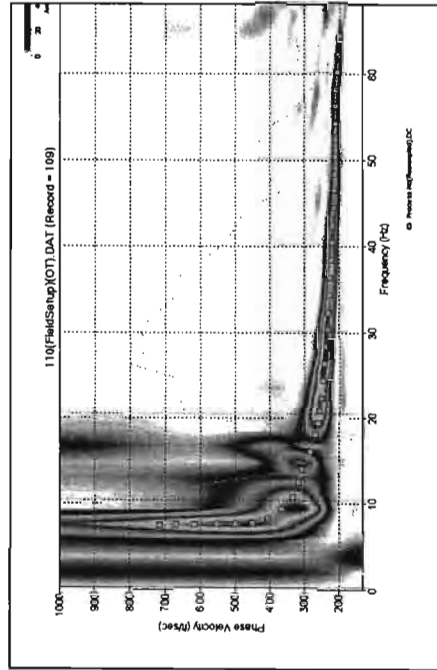
Inversion



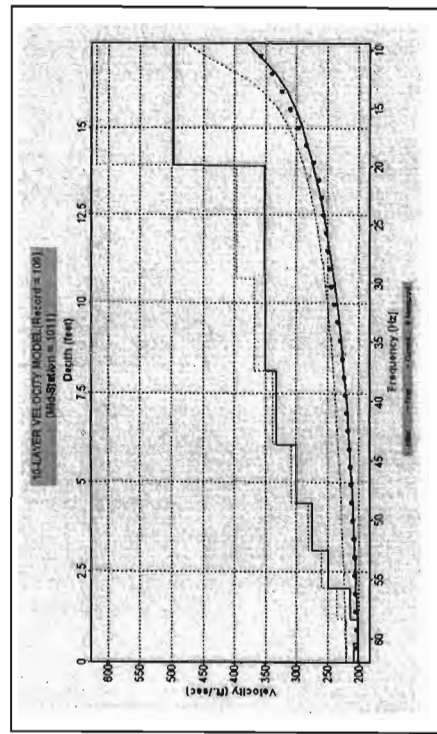
ข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนและการประมวลผลข้อมูลจากจุดสำรวจที่ 3



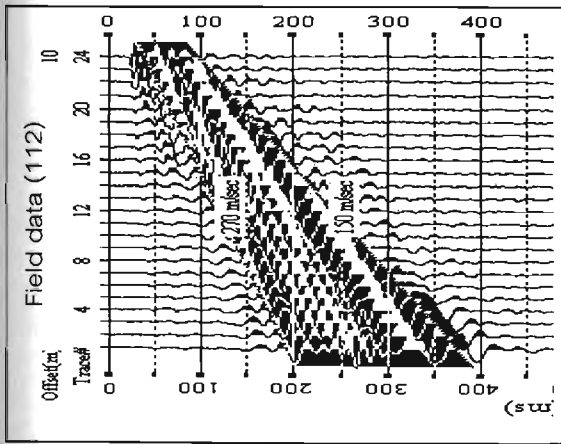
Dispersion curve



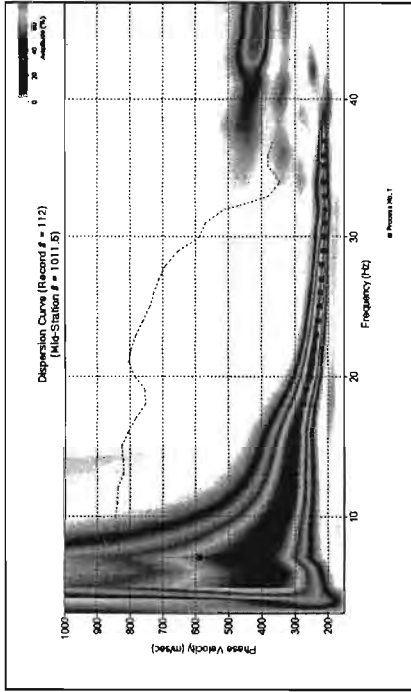
Inversion



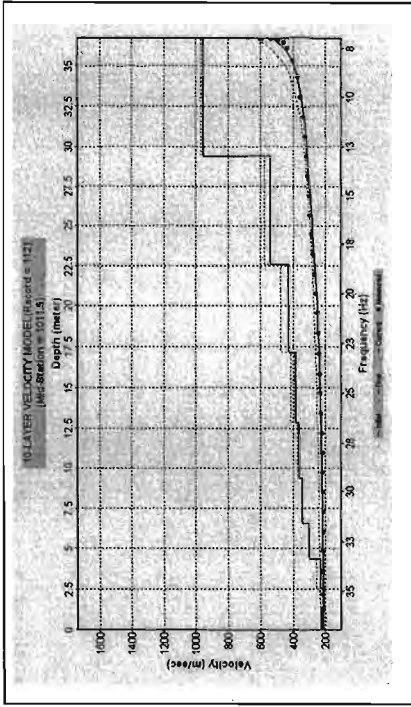
ข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนและการประมวลผลข้อมูลจากจุดสำรวจที่ 4



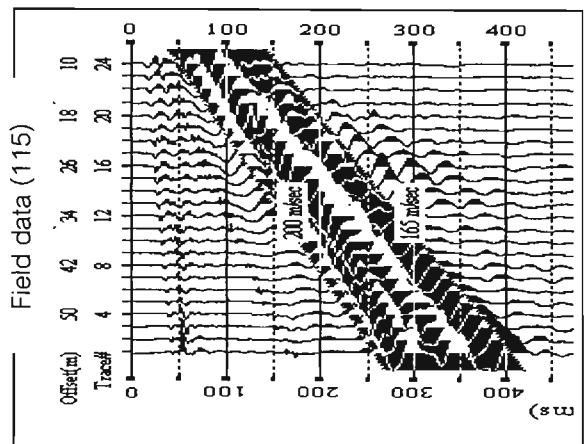
Dispersion curve



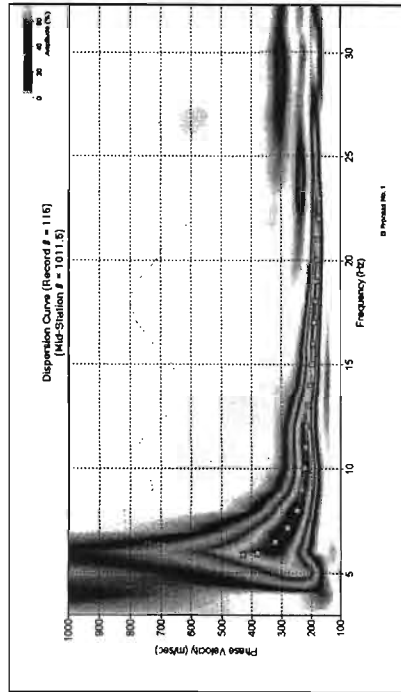
Inversion



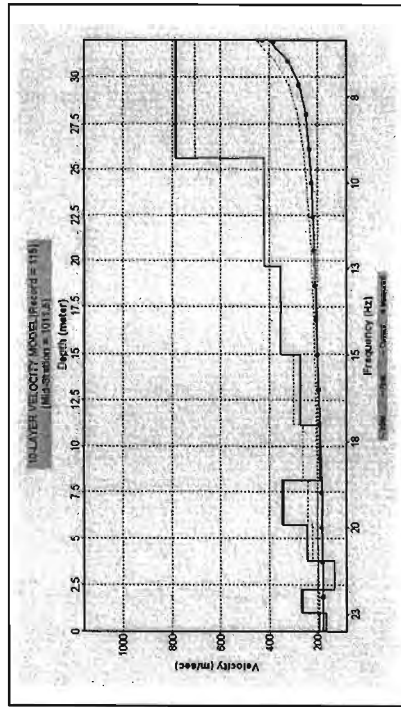
ข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนและการประมวลผลข้อมูลจากจุดสำรวจที่ 5



Dispersion curve

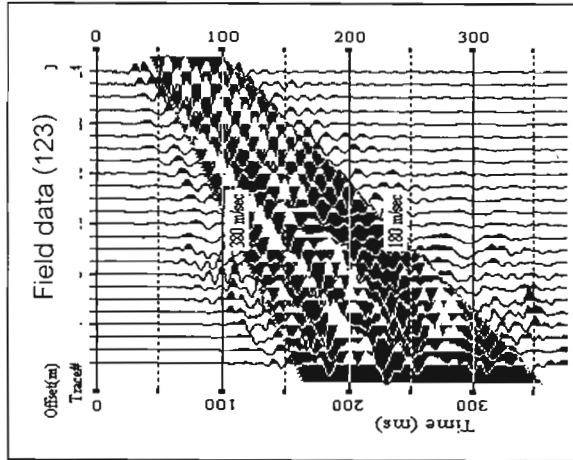
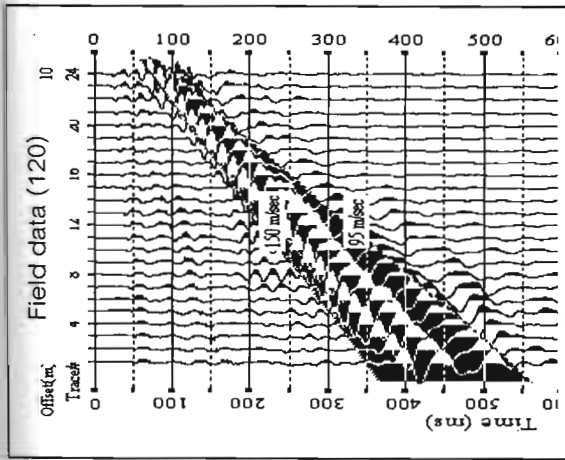


Inversion

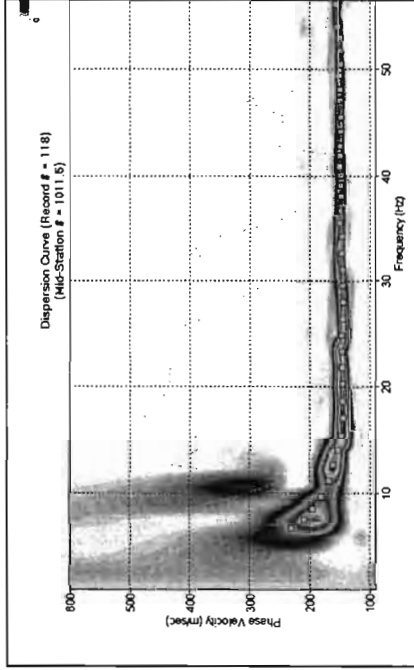


ข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนและการประมวลผลข้อมูลจากจุดสำรวจที่ 6

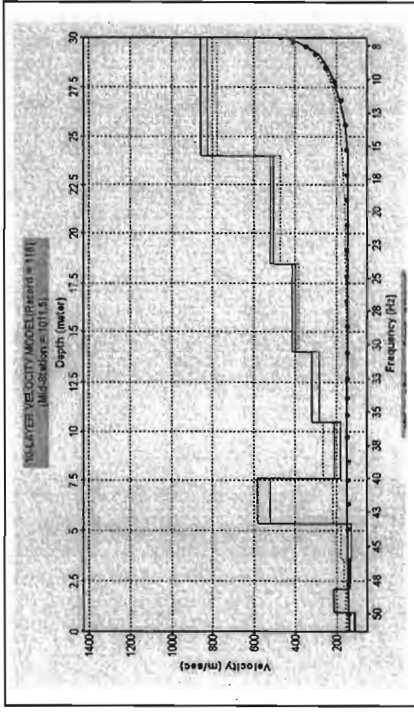




Dispersion curve

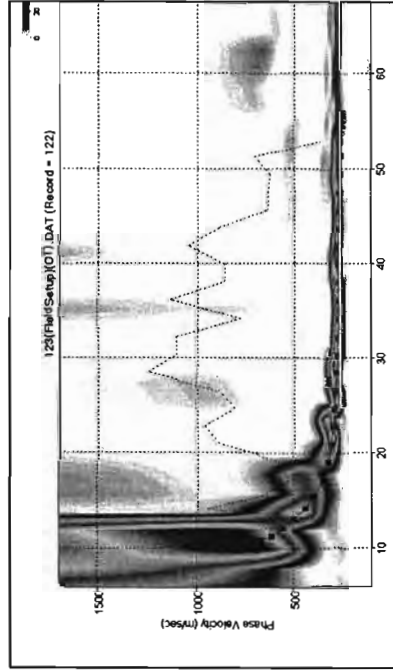


Inversion

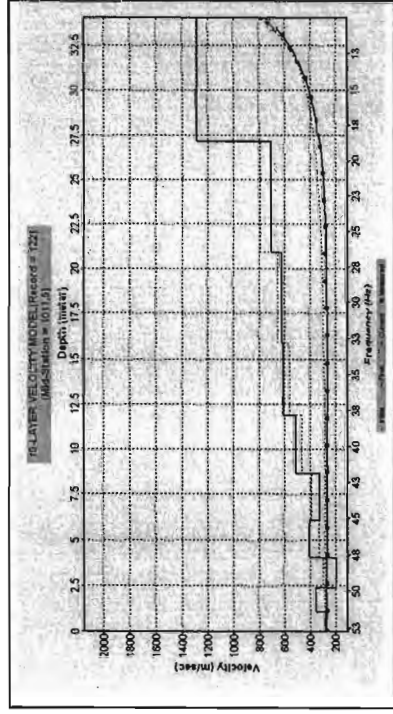


ข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนและการประมวลผลข้อมูลจากจุดสำรวจที่ 7

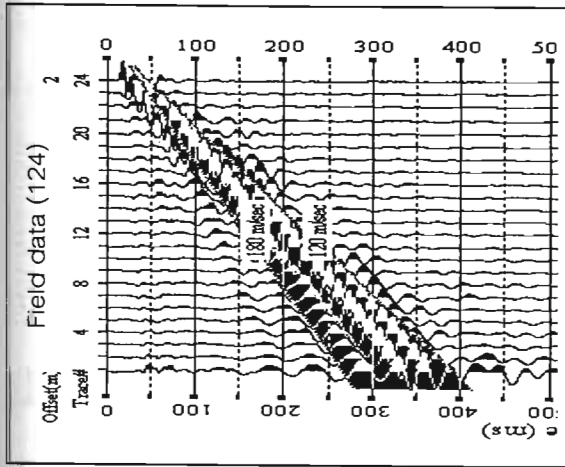
Dispersion curve



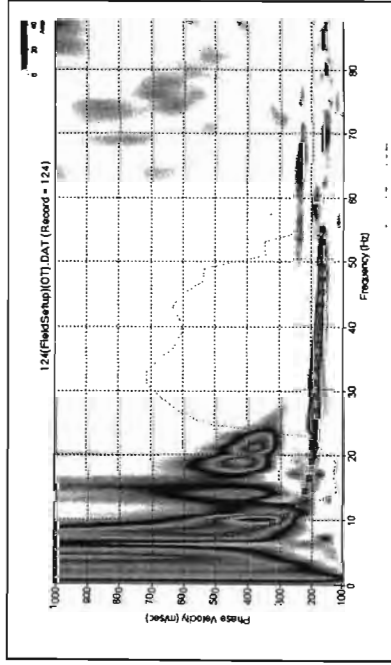
Inversion



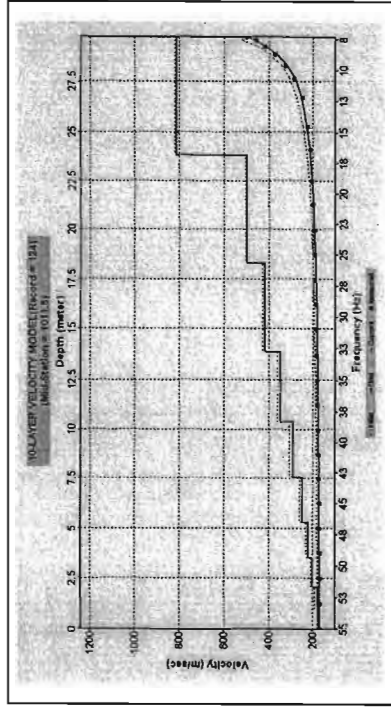
ข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนและการประมวลผลข้อมูลจากจุดสำรวจที่ 8



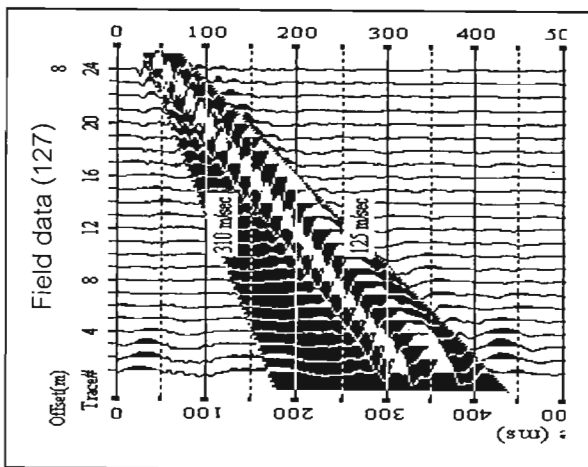
Dispersion curve



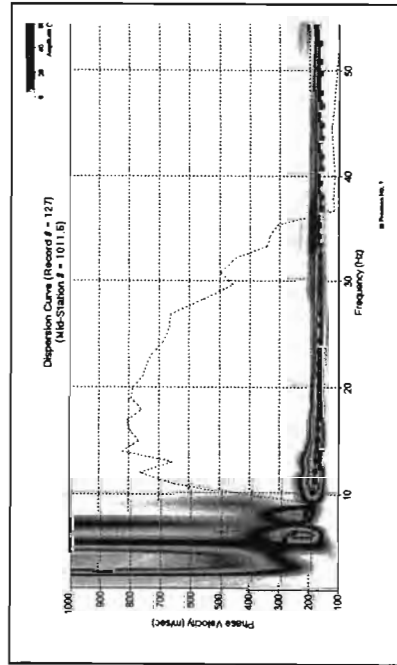
Inversion



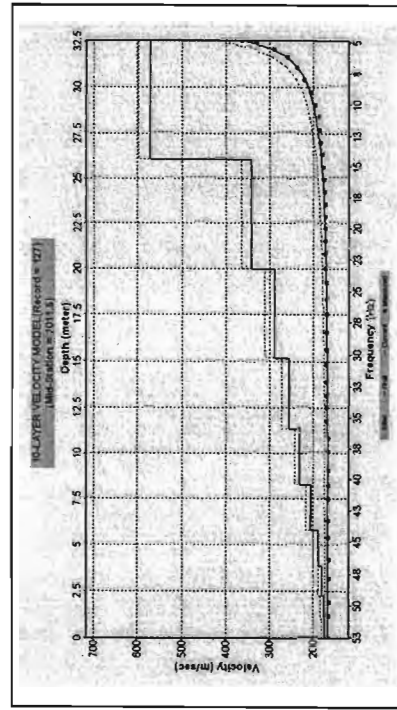
ข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนและการประมวลผลข้อมูลจากจุดสำรวจที่ 9



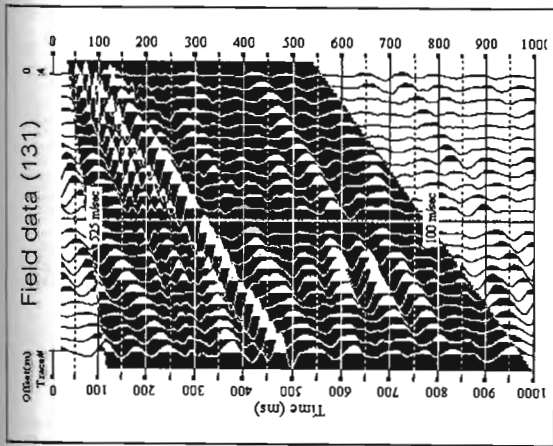
Dispersion curve



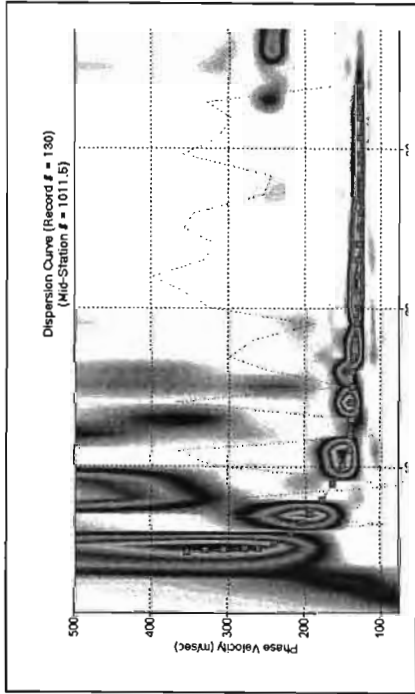
Inversion



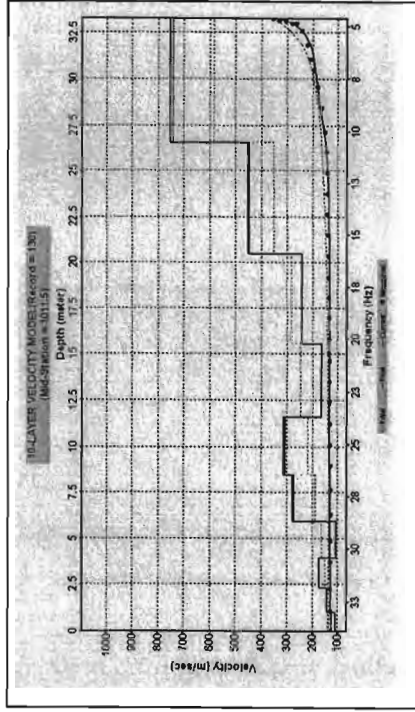
ข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนและการประมวลผลข้อมูลจากจุดสำรวจที่ 10



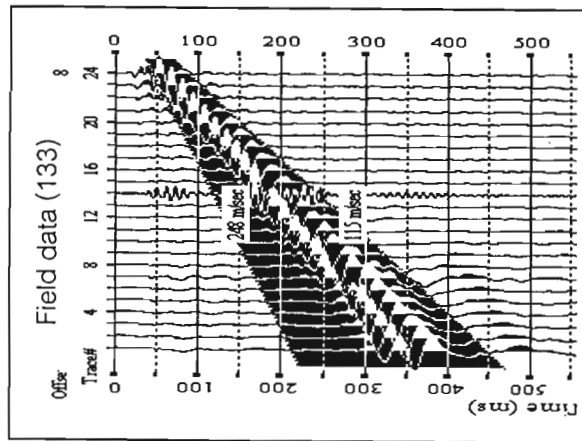
Dispersion curve



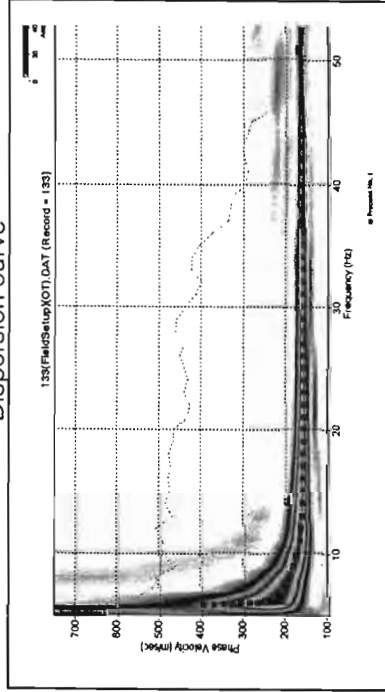
Inversion



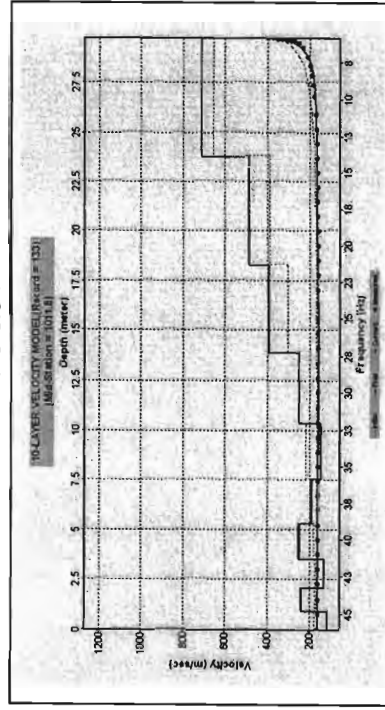
ข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนและการประมวลผลข้อมูลจากจุดสำรวจที่ 11



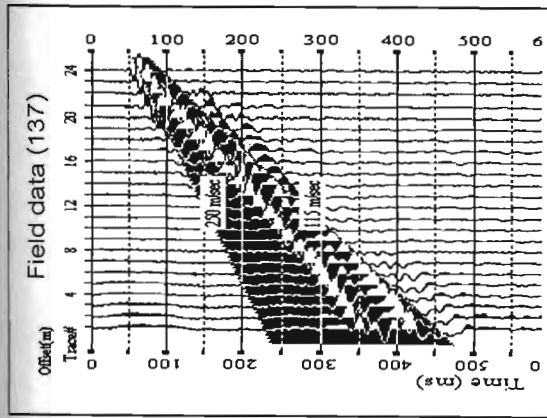
Dispersion curve



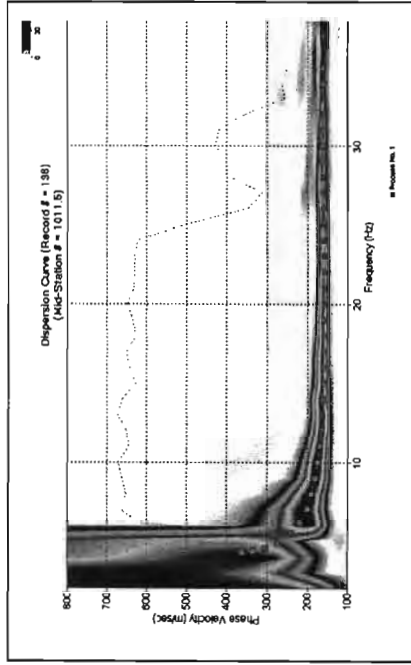
Inversion



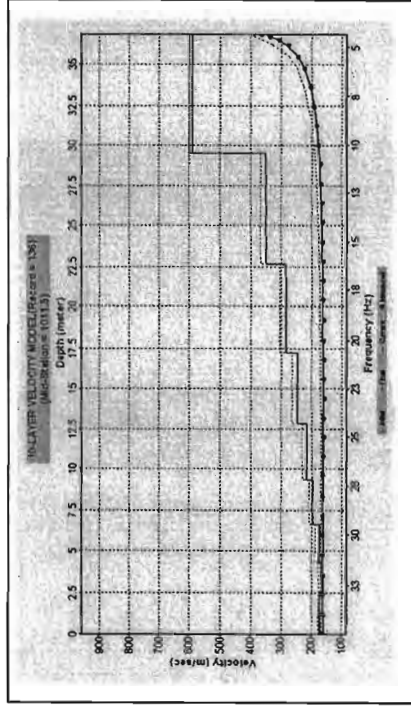
ข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนและการประมวลผลข้อมูลจากจุดสำรวจที่ 12



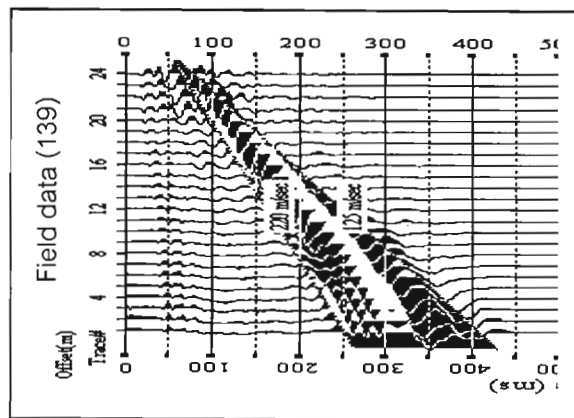
Dispersion curve



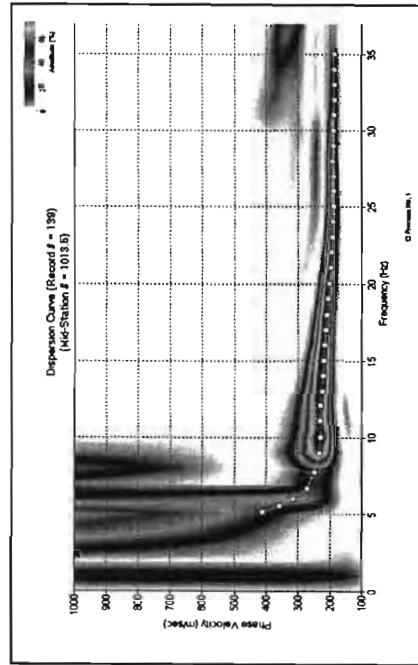
Inversion



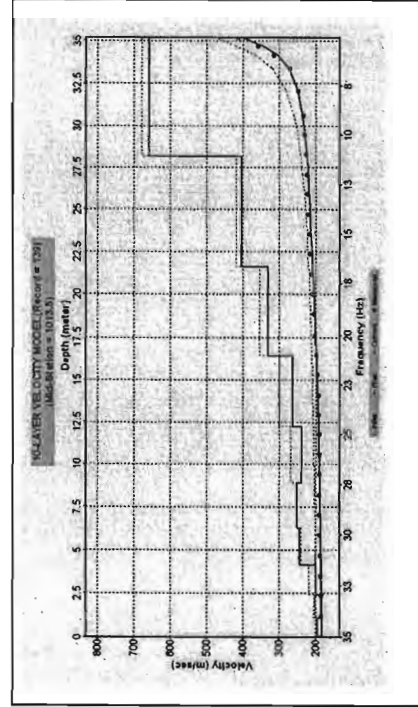
ข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนและการประมวลผลข้อมูลจากจุดสำรวจที่ 13



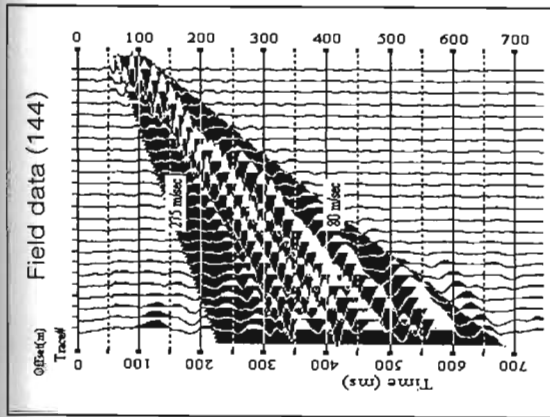
Dispersion curve



Inversion

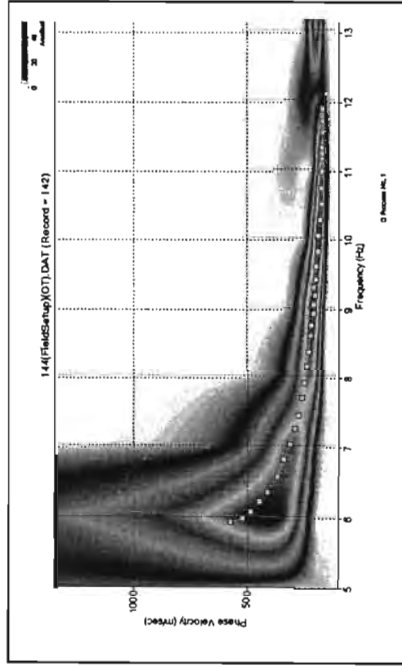


ข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนและการประมวลผลข้อมูลจากจุดสำรวจที่ 14



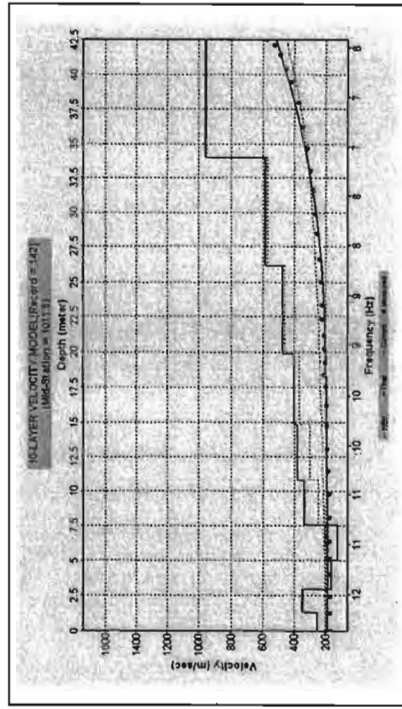
Field data (144)

Dispersion curve



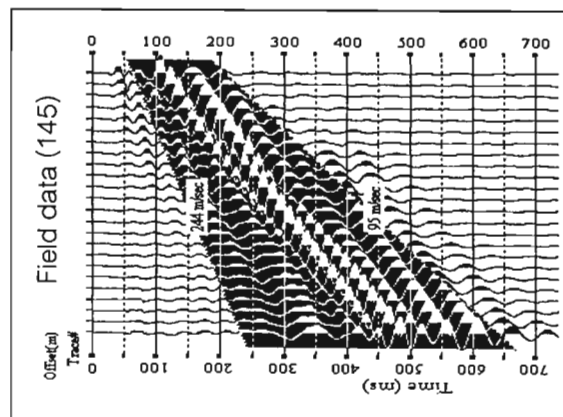
144(FieldSetup)(OT).DAT (Record = 144)

Inversion



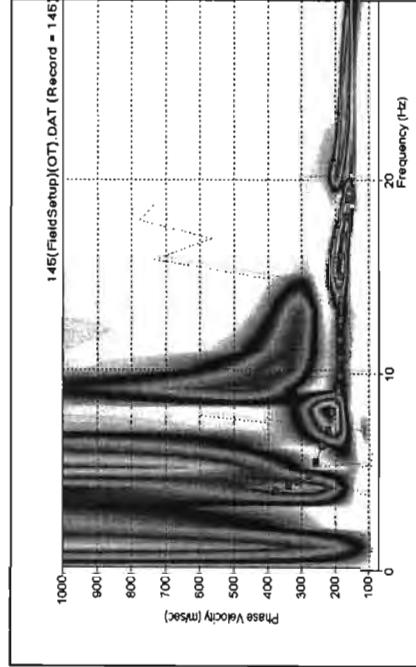
10(LAYER VELOCITY MODEL)(Record = 144)  
(MAG Station = 10113)

ข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนและการประมวลผลข้อมูลจากจุดสำรวจที่ 15



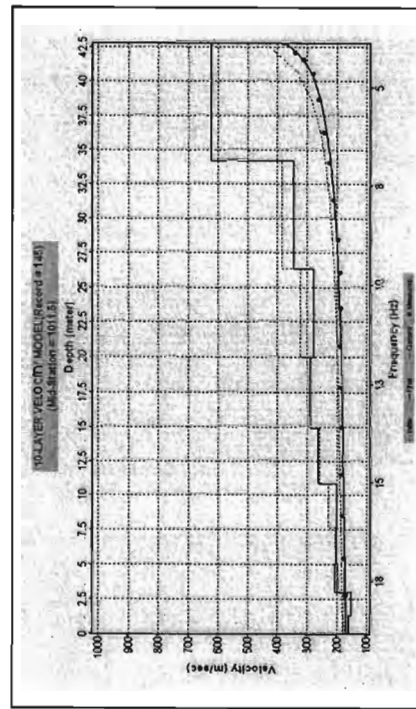
Field data (145)

Dispersion curve



145(FieldSetup)(OT).DAT (Record = 145)

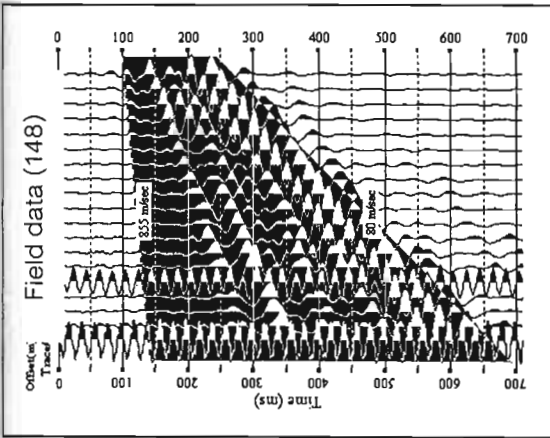
Inversion



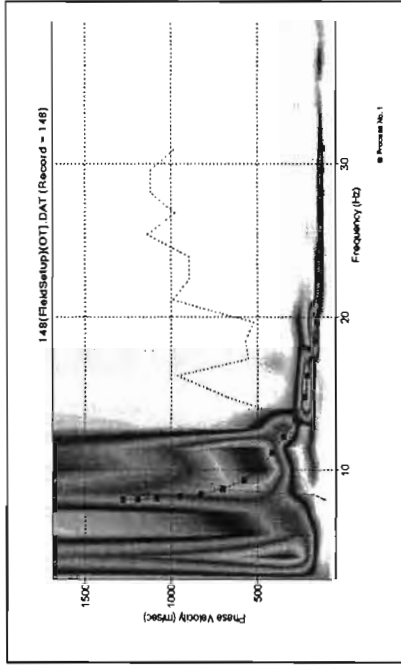
10(LAYER VELOCITY MODEL)(Record = 145)  
(MAG Station = 10113)

ข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนและการประมวลผลข้อมูลจากจุดสำรวจที่ 16

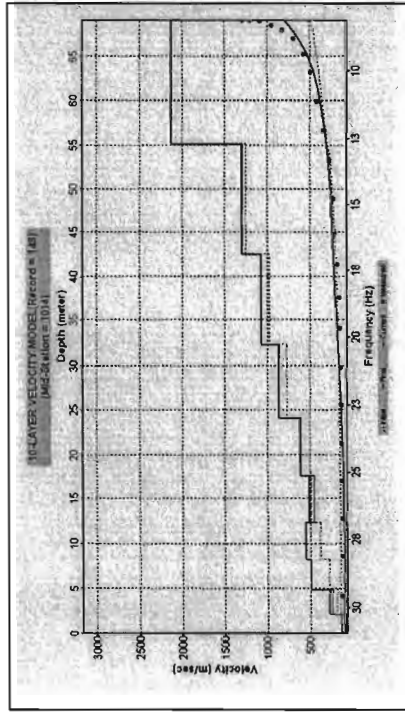
Field data (148)



Dispersion curve

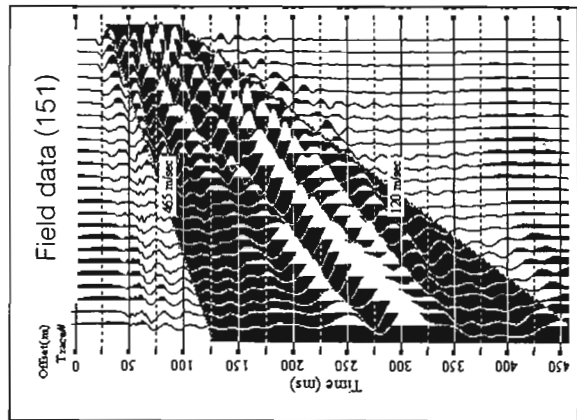


Inversion

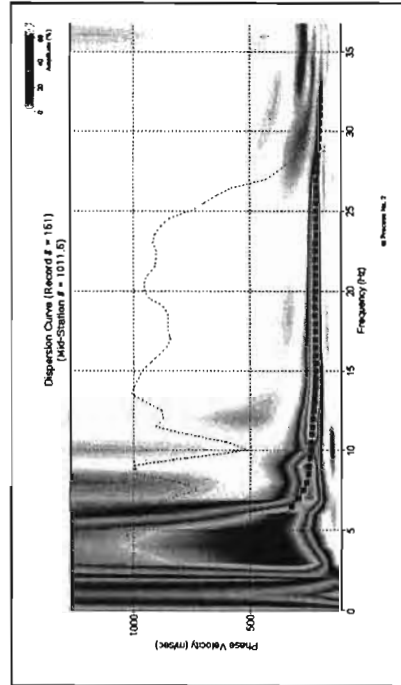


ข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนและการประมวลผลข้อมูลจากจุดสำรวจที่ 17

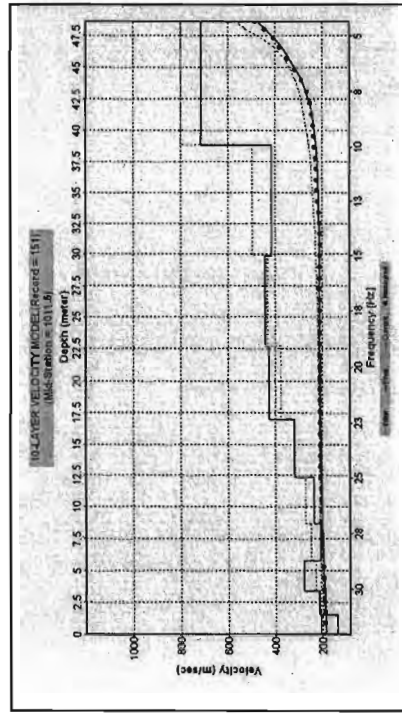
Field data (151)



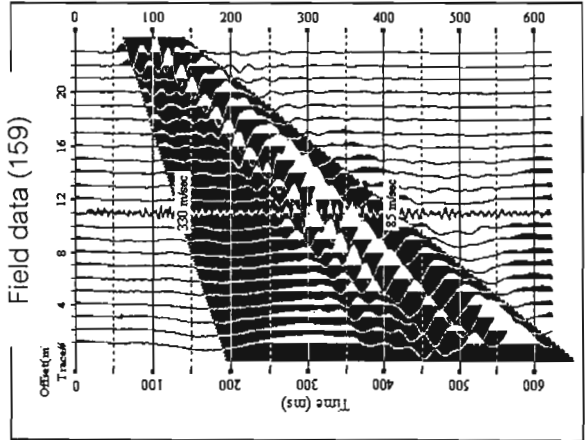
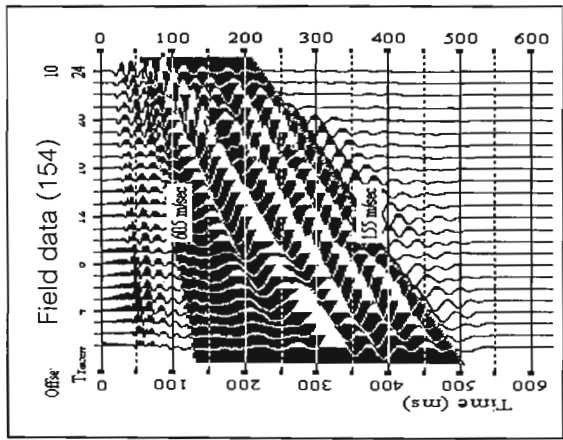
Dispersion curve



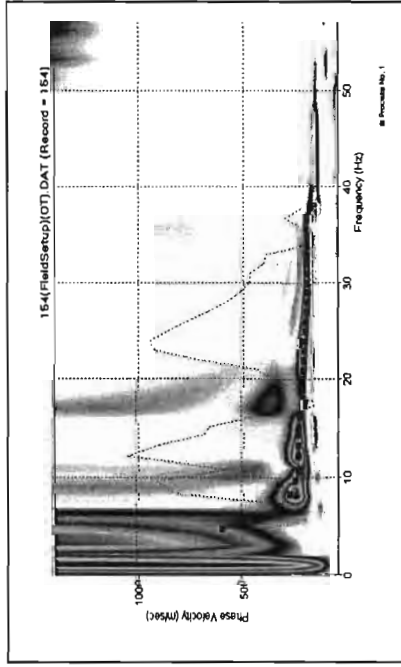
Inversion



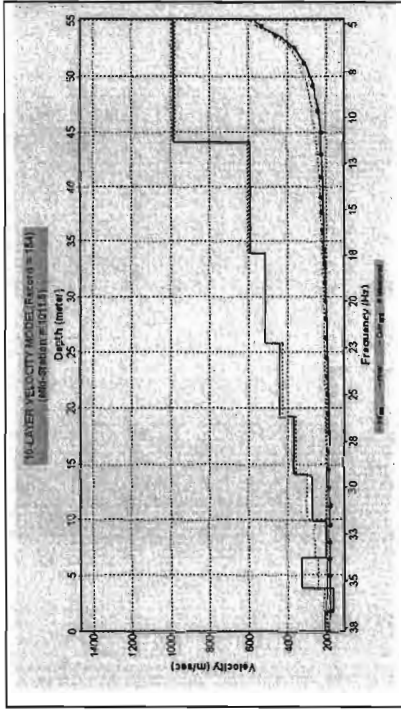
ข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนและการประมวลผลข้อมูลจากจุดสำรวจที่ 18



Dispersion curve

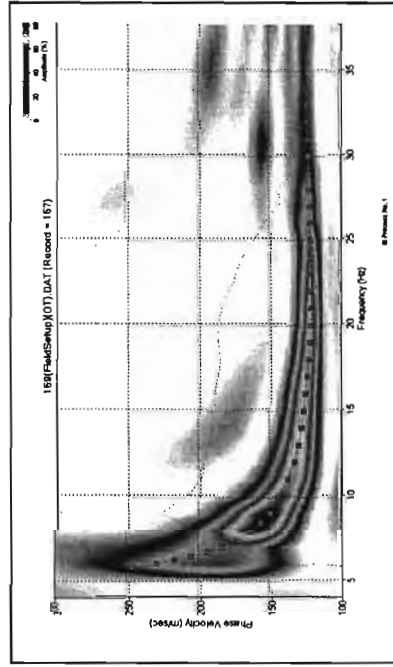


Inversion

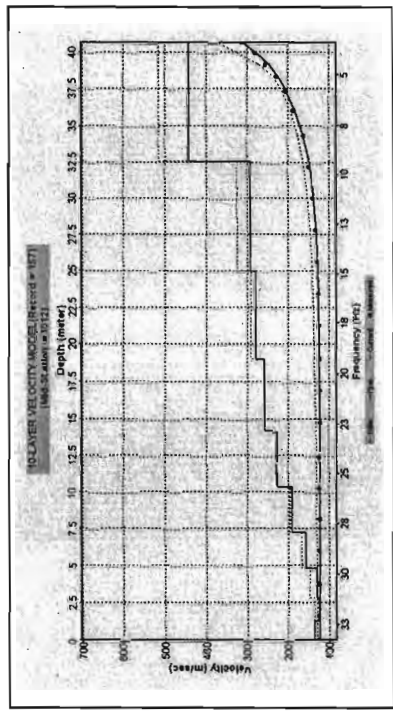


ข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนและการประมวลผลข้อมูลจากจุดสำรวจที่ 19

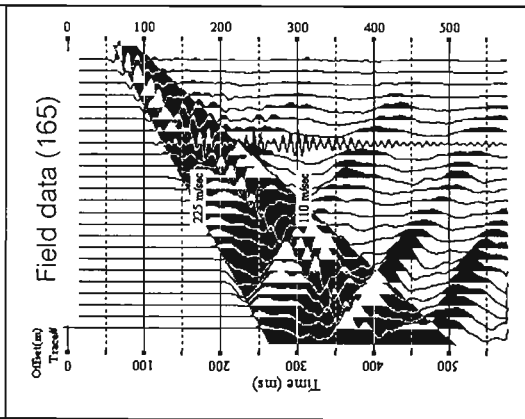
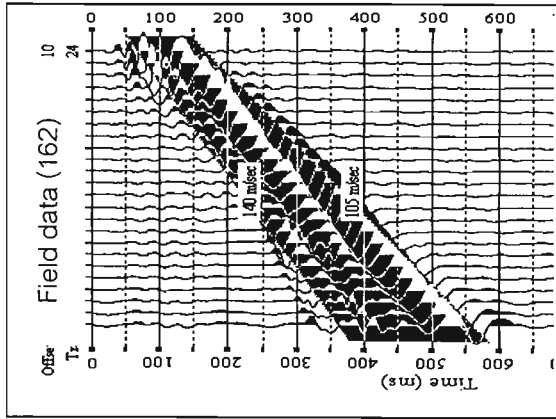
Dispersion curve



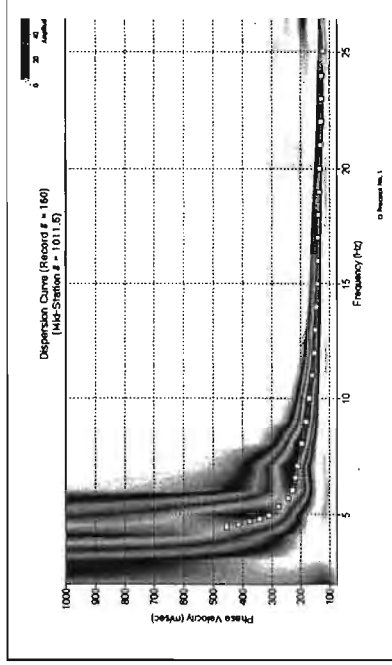
Inversion



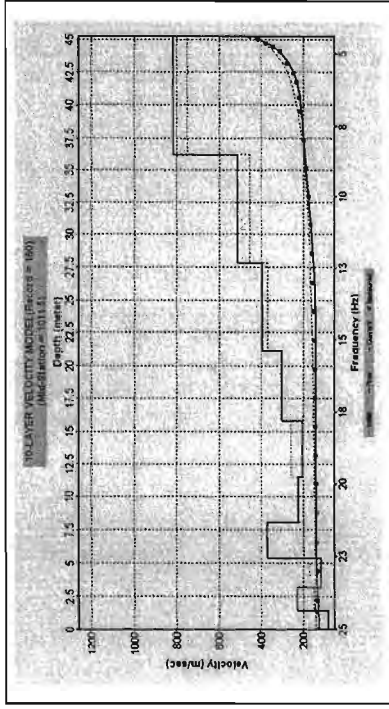
ข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนและการประมวลผลข้อมูลจากจุดสำรวจที่ 20



Dispersion curve

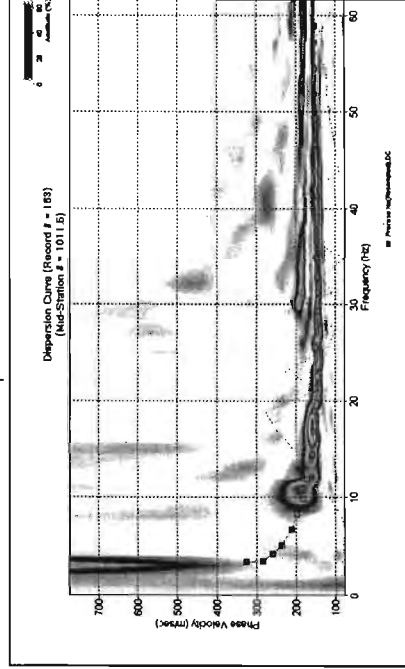


Inversion

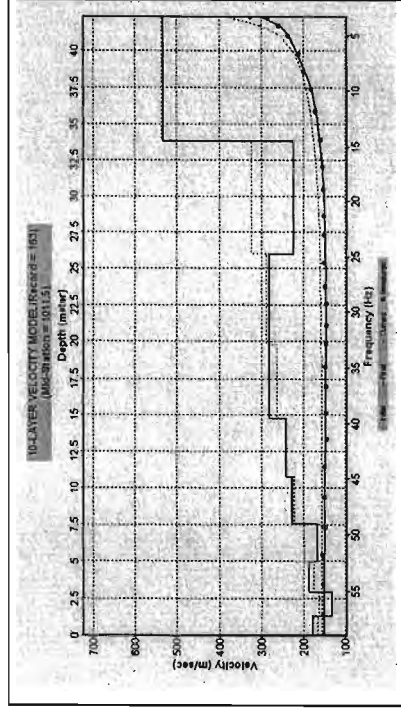


ข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนและการประมวลผลข้อมูลจากจุดสำรวจที่ 21

Dispersion curve

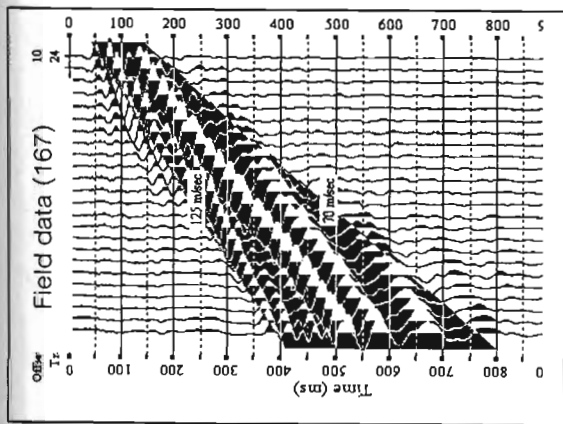


Inversion

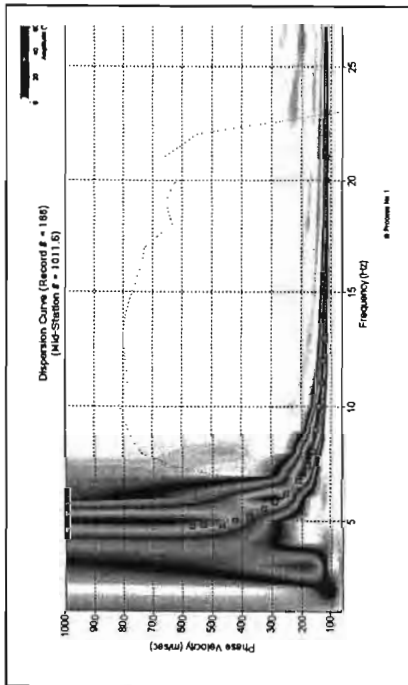


ข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนและการประมวลผลข้อมูลจากจุดสำรวจที่ 22

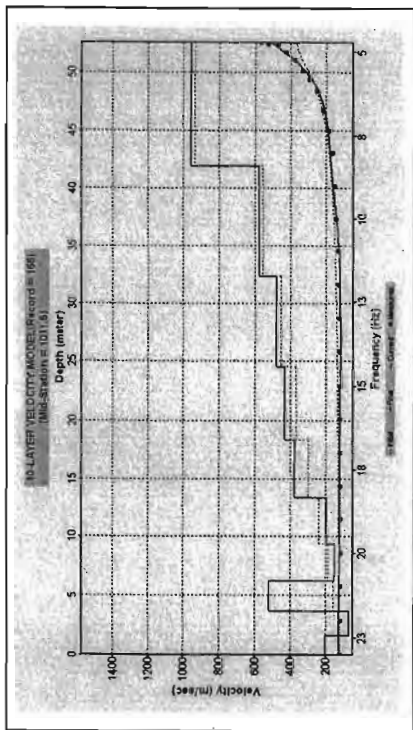




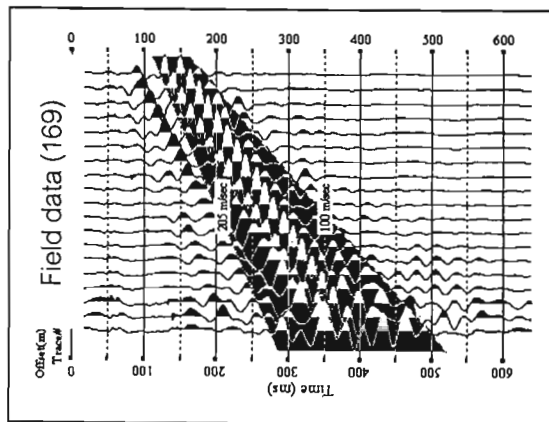
Dispersion curve



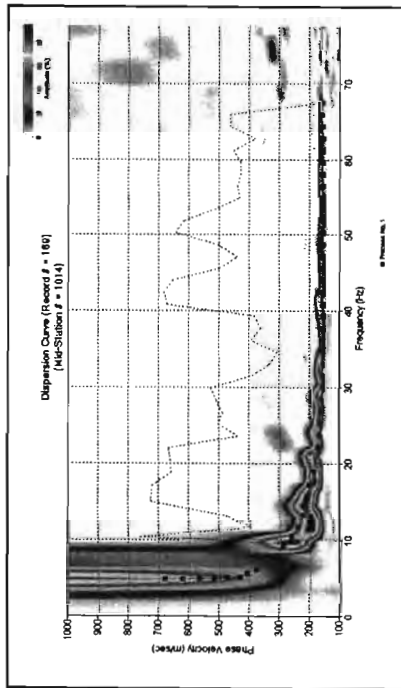
Inversion



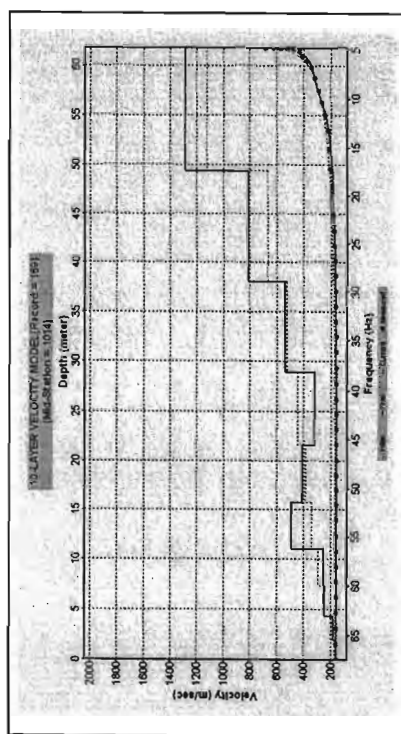
ข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนและการประมวลผลข้อมูลจากจุดสำรวจที่ 23



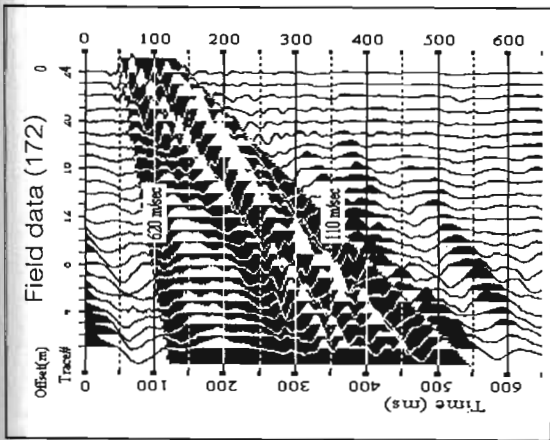
Dispersion curve



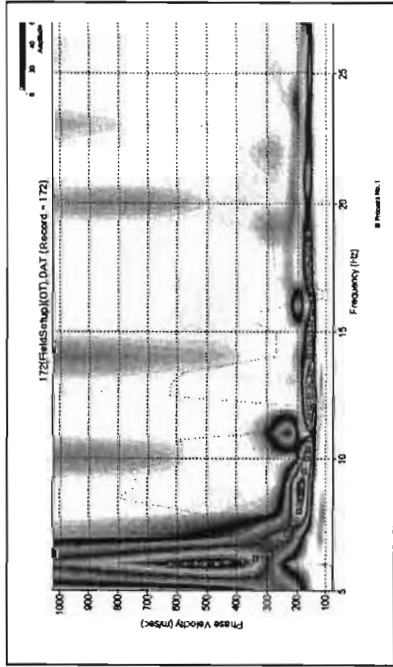
Inversion



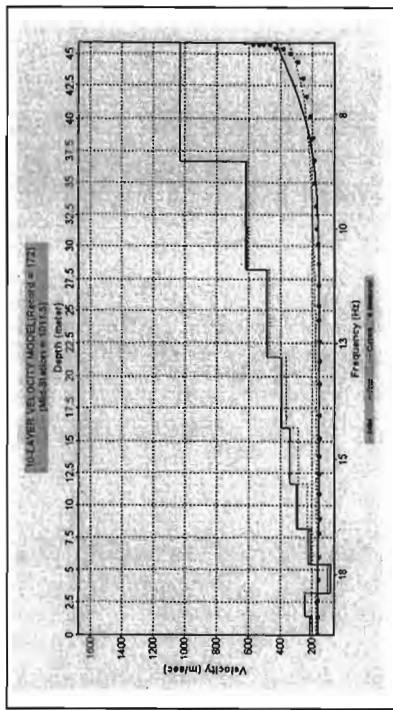
ข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนและการประมวลผลข้อมูลจากจุดสำรวจที่ 24



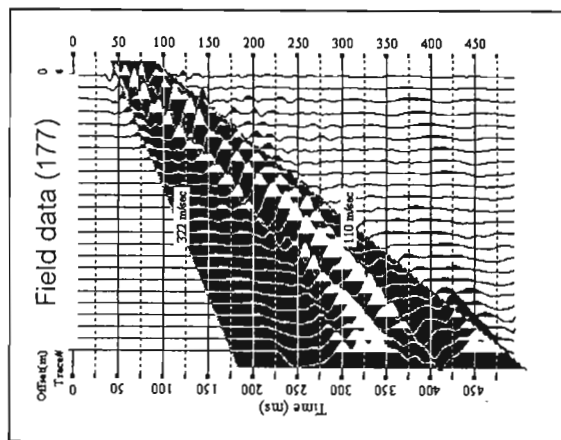
Dispersion curve



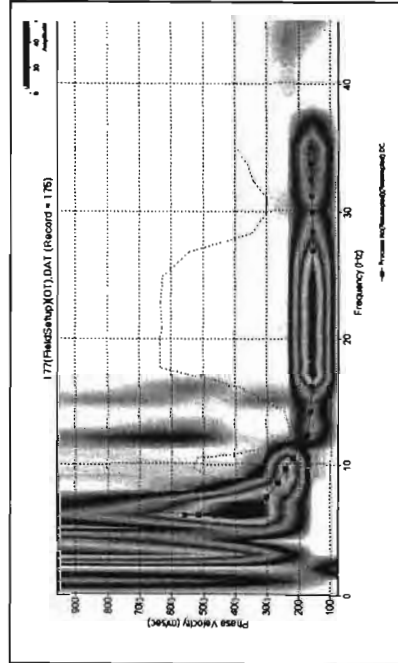
Inversion



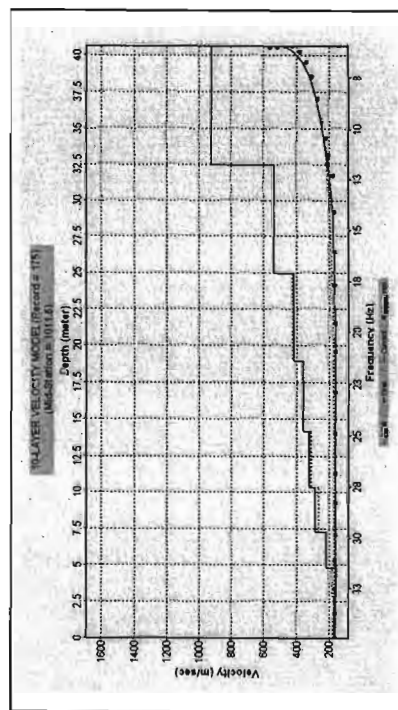
ข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนและการประมวลผลข้อมูลจากสำรวจที่ 25



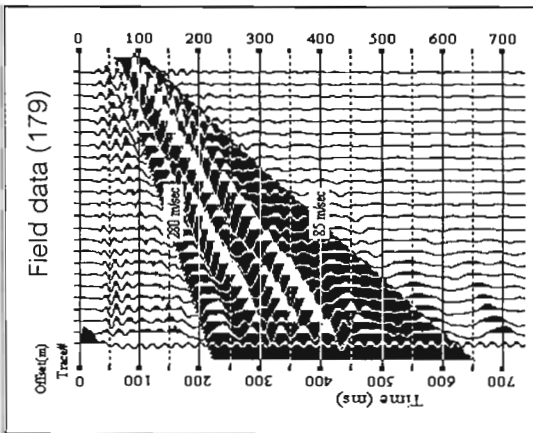
Dispersion curve



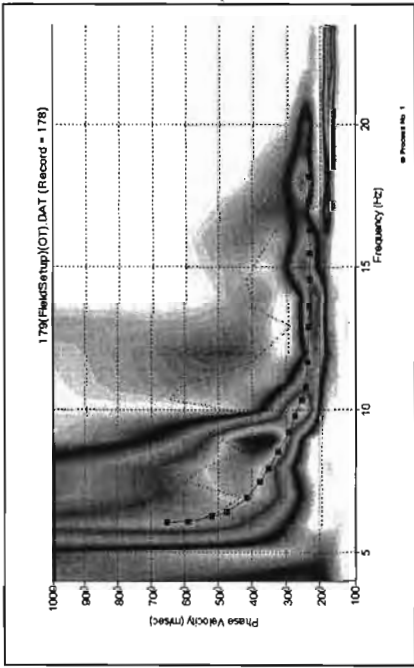
Inversion



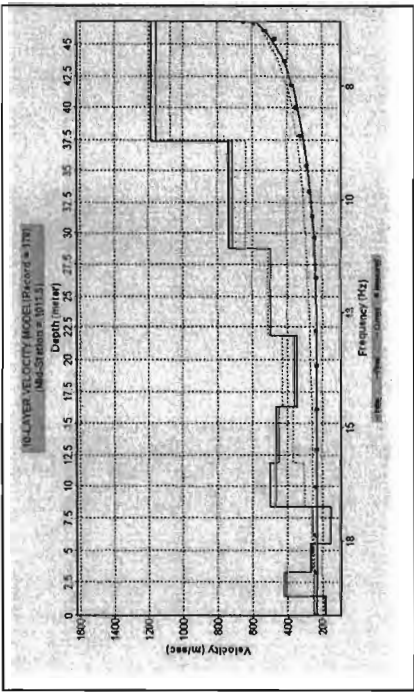
ข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนและการประมวลผลข้อมูลจากสำรวจที่ 26



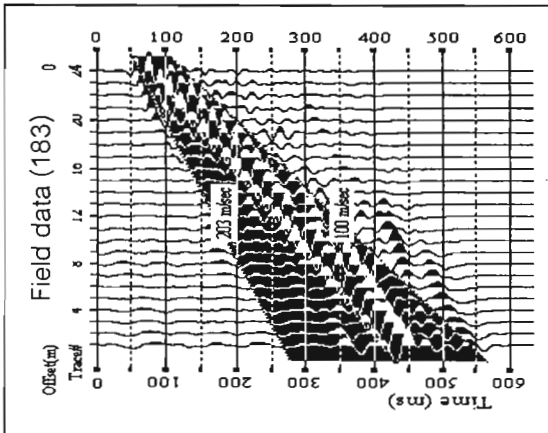
Dispersion curve



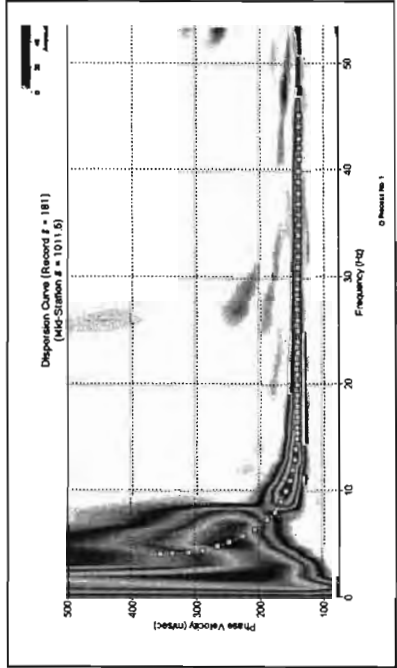
Inversion



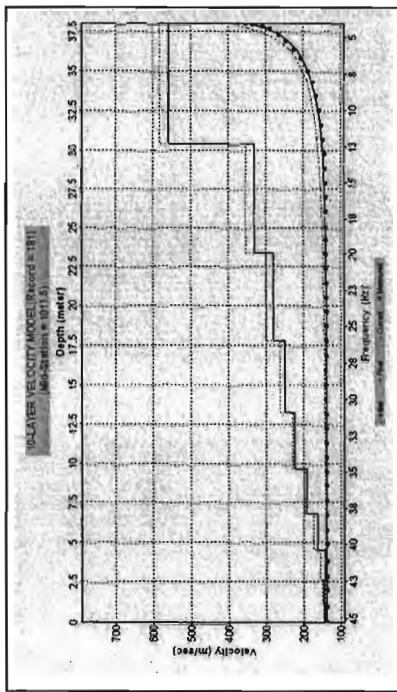
ข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนและการประมวลผลข้อมูลจากจุดสำรวจที่ 27



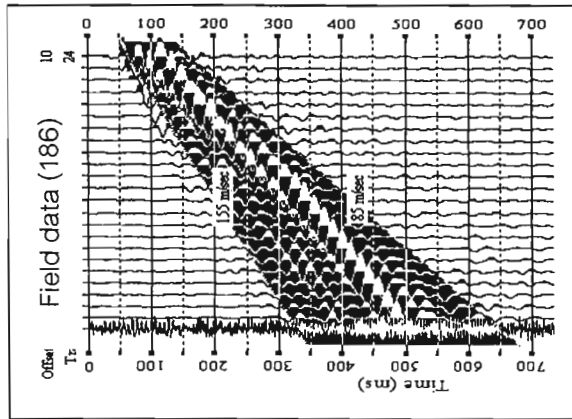
Dispersion curve



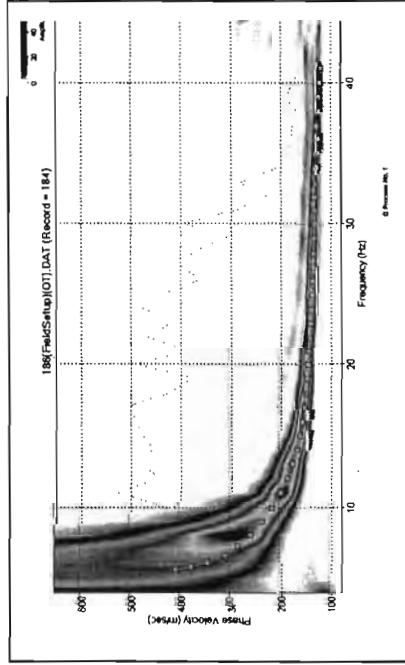
Inversion



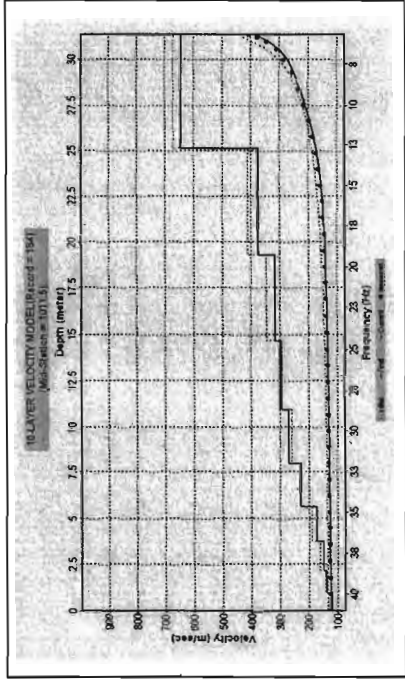
ข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนและการประมวลผลข้อมูลจากจุดสำรวจที่ 28



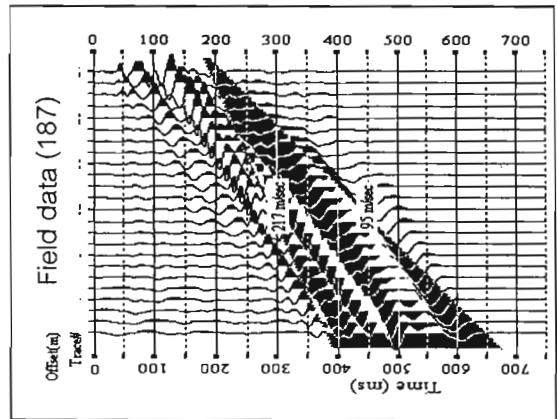
Field data (186)



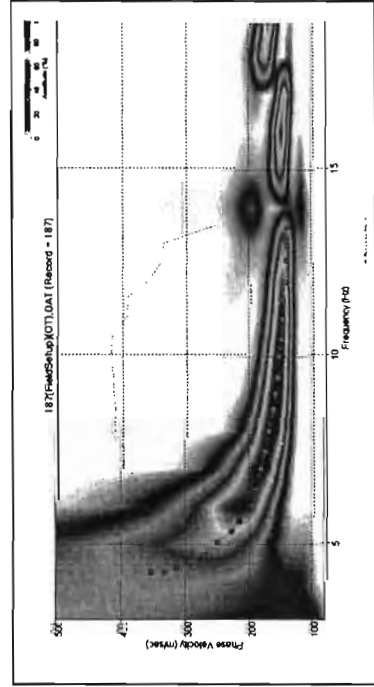
Dispersion curve



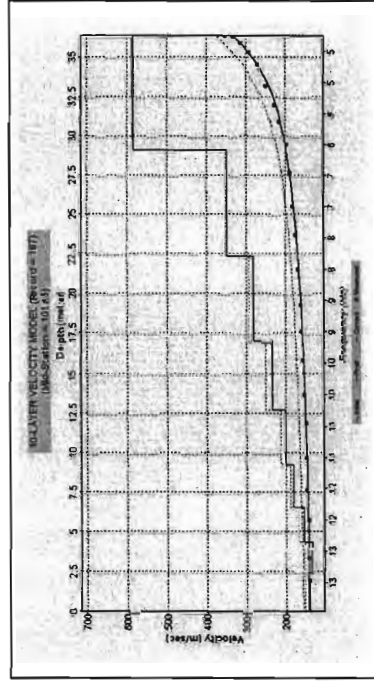
Inversion



Field data (187)



Dispersion curve



Inversion

ข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนและการประมวลผลข้อมูลจากจุดสำรวจที่ 29

ข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนและการประมวลผลข้อมูลจากจุดสำรวจที่ 30

## ภาคผนวก ค

รายงานสถิติแผ่นดินไหวรู้สึกได้ที่จังหวัดเชียงราย ตั้งแต่ พ.ศ.2473 ถึง  
กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2546

รายงานสถิติแผ่นดินไหวรู้สึกได้ที่จังหวัดเชียงราย ตั้งแต่ พ.ศ.2473 ถึง กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2546 (ปรับปรุงจากรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์โครงการสำรวจกิจกรรมรอยเลื่อนมีพลังและการประเมินระดับอันตรายจากแผ่นดินไหวบริเวณภาคเหนือและภาคตะวันตกของประเทศไทยของ ปริญญา จารุศิริ และคณะ, 2554)

ลำดับ	วันเดือนปี	เวลา	ละติจูด	ลองจิจูด	ศูนย์กลางแผ่นดินไหว	ขนาด	หมายเหตุ	แหล่งที่มา
1	22 ก.ย. 2508	11:24:4 3	20.75	99.26	พม่า	5.3Mb	รู้สึกได้ที่อ.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	จ.พร้าว จ.เชียงใหม่	4.8Mb	เสียหายเล็กน้อยที่ อ.พร้าว รู้สึกตื่นไหว นานประมาณ 15 วินาที ที่ จ.เชียงราย เชียงใหม่ และลำปาง	USGS
4	24 มิ.ย.2521	2:59:02	20.98	99.53	พม่า	3.7Mi	รู้สึกตื่นไหวที่ อ.เมือง อ.เชียงแสน และอ.แม่สาย จ.เชียงราย	TMD
5	29 มิ.ย.2521	0:42:27	21.00	99.60	พม่า	3.9Mi	รู้สึกตื่นไหวที่ อ.เชียงแสน อ.แม่สาย จ.เชียงราย	TMD
6	28 ต.ค.2521	14:45:5 2	20.50	100.70	ลาว	5.1Mb	รู้สึกตื่นไหวที่อ.เชียงของ จ.เชียงราย	TMD
7	1 ก.ย.2521	11:55:1 7	20.44	100.62	ลาว	4.9Mb	รู้สึกตื่นไหวที่ จ.เชียงราย นาน 2-3 วินาที	TMD
8	22 มิ.ค. 2522	14:34:5 9	20.34	100.75	ลาว	4.5Mb	รู้สึกตื่นไหวที่ จ.เชียงราย	TMD
9	18 มี.ค. 2522	13:41:0 0	20.90	102.00	ไทย-ลาว	4.5Mi	รู้สึกตื่นไหวที่จ.เชียงราย	TMD
10	20 มิ.ย.2525	20:20:4 0	18.92	99.18	เชียงใหม่	4.3Mi	รู้สึกตื่นไหวที่ จ.เชียงใหม่ เชียงราย ลำพูน ลำปาง และมีเสียงดังคล้ายฟ้าร้อง	TMD
11	24 มิ.ย. 2527	5:29:58	22.04	99.15	พม่า-จีน	5.9Mb	รู้สึกตื่นไหวที่จ.เชียงราย	USGS

12	6พ.ย.2531	20:03:1 9	22.79	99.61	พม่า-จีน	6.1Mb	ผู้ฝึกสอน ไหว้ท้อจ.เชียงราย เชียงใหม่และอาคารสูงในกทม.	USGS
13	1มี.ค.2532	10:25:0 8	21.73	97.94	พม่า	5.1MI	ผู้ฝึกสอน ไหว้บริเวณภาคเหนือตอนบน	TMD
14	8เม.ย.2532	4:45:19	20.58	100.59	ลาว	4.6MI	ผู้ฝึกสอน ไหว้ท้อจ.เชียงราย	USGS
15	20ส.ค. 2532	11:36:5 9	20.26	99.16	พม่า-ไทย	4.3Mb	ผู้ฝึกสอน ไหว้บริเวณภาคเหนือตอนบน	USGS
16	20ส.ค. 2532	11:42:3 6	20.27	99.32	พม่า-ไทย	4.6Mb	ผู้ฝึกสอน ไหว้บริเวณภาคเหนือตอนบน	USGS
17	27ส.ค. 2532	22:20:4 6	20.36	99.81	พม่า-ไทย	4.5Mb	ผู้ฝึกสอน ไหว้บริเวณภาคเหนือตอนบน	USGS
18	29ก.ย.2532	4:52:17	20.33	98.82	พม่า-ไทย	5.4Mb	ผู้ฝึกสอน ไหว้บริเวณภาคเหนือตอนบน	USGS
19	1ต.ค.2532	1:19:23	20.24	98.85	พม่า-ไทย	5.3Mb	ผู้ฝึกสอน ไหว้ท้อจ.เชียงราย เชียงใหม่และอาคารสูงในกทม. เชียงใหม่ และเชียงราย	USGS
20	14ก.ค.2533	10:51:5 6	20.53	100.67	พม่า-ลาว	4.5Mb	ผู้ฝึกสอน ไหว้ท้อ อ.แม่สาย จ.เชียงราย	TMD
21	21ก.ค.2533	8:50:00	19.80	100.20	เชียงราย	3.2MI	ผู้ฝึกสอน ไหว้ท้อ.เมือง จ.เชียงราย	TMD
22	23เม.ย. 2535	21:18:3 9	22.34	98.85	พม่า	6.0MI	ผู้ฝึกสอน ไหว้ท้อ จ.เชียงราย ใหม่ จ.เชียงราย และพะเยา	USGS
23	28ต.ค.2535	14:02:0 0	18.30	96.80	พม่า	6.0MI	ผู้ฝึกสอน ไหว้ท้อ จ.เชียงราย ใหม่ จ.เชียงราย แม่ฮ่องสอนและอาคารสูงในกทม.	USGS
24	11ก.ย.2537	3:34:00	19.46	99.60	อ.สรวอ.อ.พาน	3.0MI	ผู้ฝึกสอน ไหว้ท้อ อ.สรวอ อ.พาน จ.เชียงราย	CHTO
25	11ก.ย.2537	8:31:00	19.46	99.60	อ.สรวอ.อ.พาน	5.1MI	ผู้ฝึกสอน ไหว้ท้อ อ.สรวอ อ.พาน จ.เชียงราย มีความเสียหายกับตึกก่อสร้างใกล้ศูนย์กลางชั้น โรงพยาบาล โรงเรียน วัด ใน อ.พาน จ.เชียงราย	USGS

26	16ม.ค. 2538	12:43:0 0	20.20	100.50	อ.เชียงของ	3.1MI	รัฐสภาได้ที่ อ.เชียงของ จ.เชียงราย	CHTO
27	25ม.ค. 2538	11:56:0 0	21.00	100.60	พม่า-ลาว	5.0MI	รัฐสภาได้ที่ อ.เมือง จ.เชียงราย	CHTO
28	24ก.พ. 2538	15:11:0 0	21.80	99.50	พม่า	5.0MI	รัฐสภาได้ที่ อ.เมือง จ.เชียงราย	CHTO
29	30มิ.ย.2538	6:04:00	22.10	99.00	พม่า	5.5MI	รัฐสภาได้ที่ อ.เมือง จ.เชียงราย	CHTO
30	10ก.ค.2538	3:32:00	22.10	99.00	พม่า	6.6MI	รัฐสภาได้ที่ อ.เมือง จ.เชียงใหม่และอ.เมือง จ.เชียงราย	CHTO
31	21 ก.ค. 2538	4:47:00	22.00	99.20	พม่า	7.2Mb	รัฐสภาได้ที่บริเวณภาคเหนือตอนบนและอาคารสูงในกทม. มีความเสียหายเล็กน้อยต่ออาคารและสิ่งก่อสร้าง	CHTO
32	7ส.ค.2538	10:27:0 0	22.00	99.30	พม่า	5.0MI	รัฐสภาได้ที่ อ.เมือง จ.เชียงราย	USGS
33	9ส.ค.2538	20:26:0 0	18.20	99.80	อ.ร่องขาว จ.แพร่	5.1MI	รัฐสภาได้ที่ จ.เชียงใหม่ เชียงราย ลำพูน ลำปาง พะเยา แพร่ อุตรดิตถ์ และน่าน เสียหายเล็กน้อยที่ จ.แพร่	USGS
34	21ส.ค.2538	23:30:0 0	19.70	99.00	อ.พร้าว จ.เชียงใหม่	5.2MI	รัฐสภาได้ที่ จ.เชียงใหม่ เชียงราย ลำพูน ลำปาง พะเยา และแม่ฮ่องสอน	CHTO
35	5ม.ค.2539	11:14:0 0	20.80	99.60	พม่า-จีน	4.2MI	รัฐสภาได้ที่ อ.เมือง จ.เชียงราย	USGS
36	5ม.ค.2539	11:29:0 0	20.80	99.60	พม่า-จีน	4.1MI	รัฐสภาได้ที่ อ.เมือง จ.เชียงราย	CHTO
37	15ก.ค.2539	12:28:0 0	22.00	99.30	พม่า-จีน	5.0MI	รัฐสภาได้ที่ หอวังกับการบิน อ.เมือง จ.เชียงราย	USGS
38	9พ.ย.2539	10:40:0 0	22.00	99.30	พม่า-จีน	5.0MI	รัฐสภาได้ที่ อ.เมือง จ.เชียงราย	CHTO
39	11พ.ย.2539	16:22:0 0	18.50	95.60	พม่า	6.5MI	รัฐสภาได้ที่ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ และอ.เมือง จ.เชียงราย	CHTO



40	22ธ.ค.2539	0:51:00	20.40	100.10	ไทย-ลาว	5.5MI	รัฐสภาได้ที่ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ และมีความเสียหายเล็กน้อยที่ อ.เมือง จ.เชียงราย	CHTO
41	15ม.ค. 2540	8:26:00	18.50	95.60	พม่า	4.6MI	รัฐสภาได้ที่ อ.เมือง จ.เชียงใหม่	CHTO
42	2ก.พ.2540	19:35:0 0	18.40	99.90	อ.สอง จ.แพร่	4.0MI	รัฐสภาได้ที่ อ.สอง จ.แพร่	CHTO
43	6มิ.ย.2540	18:06:0 0	20.00	99.00	ไทย-พม่า	4.0MI	รัฐสภาได้ที่ อ.เมือง จ.เชียงราย	CHTO
44	13ก.ค.2541	9:20:00	19.70	99.10	อ.ฝาง จ.เชียงใหม่	4.1MI	รัฐสภาได้ที่ อ.ฝาง จ.เชียงใหม่และจ.เชียงราย	CHTO
45	13ก.ค.2541	12:56:0 0	19.60	99.10	อ.ฝาง จ.เชียงใหม่	3.5MI	รัฐสภาได้ที่ อ.ฝาง จ.เชียงใหม่และจ.เชียงราย	CHTO
46	3มิ.ย.2542	7:47:00	20.50	99.80	ไทย-พม่า	3.2MI	รัฐสภาได้ที่ อ.เชียงแสน จ.เชียงราย	CHTO
47	29มิ.ย.2542	6:38:00	21.00	100.50	พม่า	5.6MI	รัฐสภาได้ที่ จ.เชียงราย	CHTO
48	20ม.ค. 2543	3:59:00	19.90	100.78	อ.หงสาว จ.สมุทร ถาว	5.9MI	รัฐสภาได้ที่ อ.เมือง อ.ท่าม่วง อ.ทุ่งช้าง จ.น่าน จ.แพร่ จ.พะเยา จ.เชียงราย มีความเสียหายเล็กน้อยที่ จ.น่านและจ.แพร่	TMD
49	4มิ.ค.2544	9:05:00	21.40	98.60	จ.เชียงตุง พม่า	4.6MI	รัฐสภาได้ที่ อ.เมือง จ.เชียงราย	TMD
50	4มิ.ค.2544	11:03:0 0	21.40	98.60	จ.เชียงตุง พม่า	5.0MI	รัฐสภาได้ที่ อ.เมือง จ.เชียงราย	TMD
51	11พ.ย.2544	18:38:0 0	19.29	99.76	จ.เชียงราย	3.7MI	รัฐสภาได้ที่ อ.พาน จ.เชียงราย	TMD
52	8พ.ค.2545	20:05:0 0	19.50	99.60	อ.แม่สรวย	2.0MI	รัฐสภาได้ที่ อ.แม่สรวย อ.เมือง จ.เชียงราย	TMD
53	2ก.ค.2545	10:54:0 0	20.20	100.10	อ.เชียงแสน	4.7MI	รัฐสภาได้ที่ อ.เมือง อ.เชียงแสน จ.เชียงราย อ.เมือง จ.พะเยา อ.เมือง จ.น่าน	TMD

54	18ก.ค.2545	16:50:00	20.10	97.50	พม่า	5.0M1	รู้จักได้ที่ อ.เมือง จ.เชียงราย	TMD
55	19ก.ค.2545	12:39:00	20.10	97.50	พม่า	4.6M1	รู้จักได้ที่ อ.เมือง จ.เชียงราย	TMD
56	26ก.พ. 2546	5:19:00	20.02	99.97	จ.เชียงใหม่	3.0M1	รู้จักได้ที่ อ.เชียงแสน จ.เชียงราย	TMD
57	18ก.ธ.2546	18:04:00	20.50	100.90	พรมแดนลาว-พม่า	5.5M1	รู้จักได้ที่ อ.เมือง จ.เชียงราย	TMD
58	22ก.ธ.2546	1:16:00	19.40	96.20	พม่า	6.7M1	รู้จักได้ที่ อ.เมือง อ.เชียงดาว จ.เชียงใหม่ จ.แม่ฮ่องสอน ลำพูน เชียงราย และอาคารสูงในกทท.บางแห่งเสียดา เล็กน้อย	TMD

**ภาคผนวก ง**

**บทความวิชาการ**

Thanop Thitimakorn and Saralee Channoo (2012), Shear Wave Velocity of Soils and NEHRP Site Classification Map of Chiangrai City, Northern Thailand, Electronic Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 17 [2012], Bund.U.

# Shear Wave Velocity of Soils and NEHRP Site Classification Map of Chiangrai City, Northern Thailand

**Thanop Thitimakorn\***

*Department of Geology, Faculty of Science, Chulalongkorn University  
Bangkok, Thailand 10330*

*\*Corresponding Author; e-mail: thanop.t@chula.ac.th*

**Saralee Channoo**

*Department of Geology, Faculty of Science, Chulalongkorn University  
Bangkok, Thailand 10330*

*e-mail: milk\_saralee@hotmail.com*

## ABSTRACT

Multi-channel surface wave seismic data was acquired at 30 preselected sites in the Chiangrai City area, northern Thailand. The primary goal was to generate the NEHRP (National Earthquake Hazards Reduction Program) soil classification map for Chiangrai City using the average shear wave velocity values derived from the multi-channel analysis of surface wave (MASW) data. The NEHRP map of the study area generated from these data closely matched the surficial geologic map. Areas mapped on the existing surficial geology map as either alluvium or natural levee soils have weighted average shear-wave velocity values of 30 m depth ( $V_{s(30)}$ ) ranging from 309 to 354 m/s, corresponding to NEHRP soil class D. Areas mapped as colluviums and valley filled soils, in contrast, have values of 427m/s and corresponding to NEHRP soil class C.

**KEYWORDS:** MASW, NEHRP, Shear Wave Velocity

## INTRODUCTION

Most unconsolidated materials amplify earthquake ground motions, which can affect the stability of structures far from the epicenter of the earthquake. Mapping the areas where soil amplification is likely to occur is a very important objective. Geophysical methods have been used to determine shear-wave velocity for earthquake hazard mapping for many years. In this study, we used the multi-channel analysis of surface wave (MASW) method that was recently developed by the Kansas Geological Survey to determine average shear-wave velocities of soils (Park et al. 1999). The method is similar to the single-channel analysis of surface wave (SASW) method used in civil engineering community, except that the MASW method employs several receivers to detect Rayleigh waves (ground roll).

MASW data were acquired at 30 representative sites in the Chiangrai City in northern Thailand (Figure 1). The primary goal of this study was to use the shear wave velocity derived from the acquired MASW data to generate the NEHRP (National Earthquake Hazards Reduction Program) site classification map of the Chiangrai City area. The resulting map will help the city assess its earthquake shaking vulnerability and mitigation. The secondary goal was to evaluate the effectiveness of the MASW method to determine the weighted average shear-wave velocity till 30 m depth ( $V_{S(30)}$ ).  $V_{S(30)}$  is used for the soil classification system adopted by NEHRP for building-code provisions (Building Seismic Safety Council, 2003).

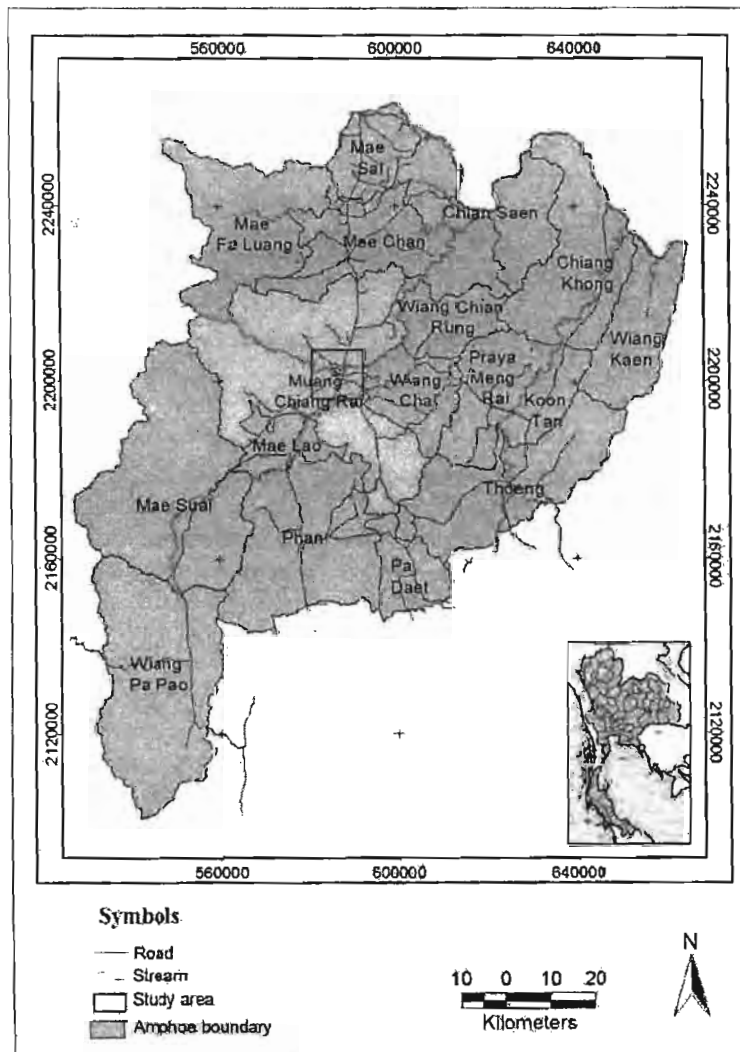


Figure 1: Location of Chiangrai City, Northern Thailand

### GEOLOGIC SETTING

Chiangrai City is located in the northern part of Thailand, approximately 785 kilometers from Bangkok. The city is situated on the Quaternary sediments of Kok River basin. The average

elevation of the city is 580 meters above sea level. The study area covers almost the entire city area and covering about 120 square kilometers. The geological map of the study area is shown in figure 2. Both sedimentary and igneous rocks are found in the area. The sedimentary rocks are limestone and some clastic rocks of Permian age. These rocks can be found mostly in north-west and south-west of the study area also exposed on some small hills in the middle of the area. The igneous rocks of both plutonic and volcanic rocks can be found in the north-western and south eastern part of the area and also found as isolated spot in the middle and south western.

The Quaternary sediments found in the area can be divided into 5 units as shown in figure 2. The flood plain on channel (Qfc) unit is found on or nearby Kok River channel. They consist mainly of sand and silt with some clay. The flood plain (Qff) unit is found at a distance away from Kok River in the southern part of the area and some in the north-western part. This unit consists of mainly clay and silt. The natural levee (Qfl) unit is found in southern part of the area and along the stream. The conlluvium (Qfv) unit consists of mostly gravel and sand and can be found at the foot hill of the area. The terrace (Qt) unit of the Kok River is found at the southern part of the area. This unit consists of sand and gravel.

In terms of seismicity, Chiangrai City is located in low to medium seismic hazard area. There were several historic records of earthquake in the area (Nutalaya et al, 1985). The most recent earthquake was the M6.3 of May 16, 2007 and the epicenter was located at about 100 km to the east of Chiangrai City and the epicenter was in the northern part of Loa. This earthquake caused some damages to several buildings in the city. Figure 3 shows the active faults in the northern Thailand and the vicinity area (DMR, 2004). Mae Chan fault is considered to be the major threat of the city because it can produce an earthquake up to M6 (Hinthong, 1997). Pattararattanukul (2003) studied the amplification of soils in the city and found that the soils underneath the city can amplify earthquake ground motion up to 3 times. Teachavaorainskul and Nuntasarn (2005) also studied the liquefaction potential of soils in Chiangrai City area. The result has shown that the unconsolidated sediments in some area of the city can be subjected to liquefaction of nearby earthquake up to M5.

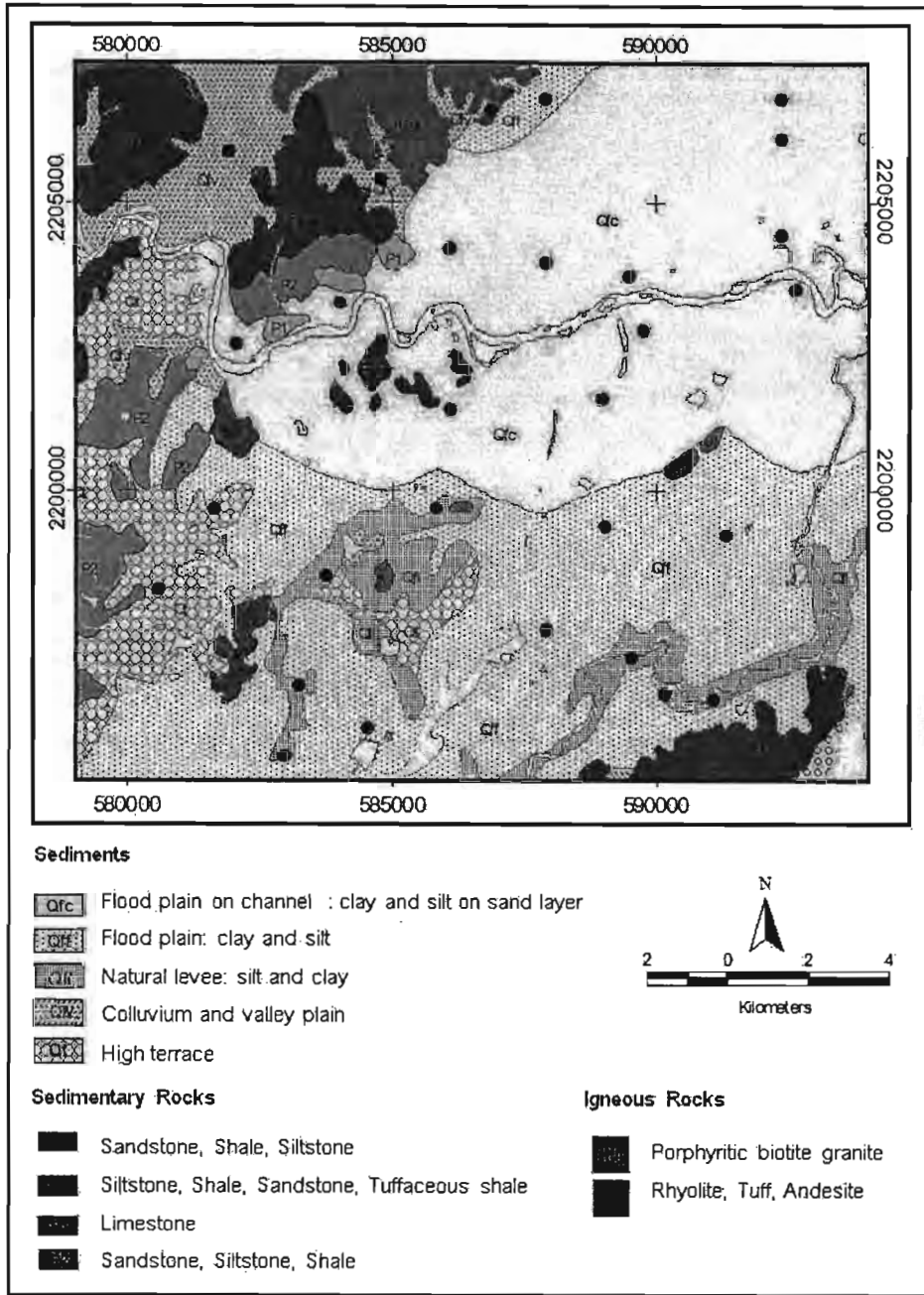


Figure 2: The Geological Map of the study area and the MASW Test Sites (Black dots).





NEHRP shear wave velocity ( $V_s$ ) assigned to the subsurface at a specific site is calculated using the following formula:

$$\bar{V}_s = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{v_{si}}} \quad (1)$$

where:

- $\bar{V}_s$  = the NEHRP shear wave velocity,
- $v_{si}$  = the shear wave velocity of any layer in m/s,
- $d_i$  = the thickness of any layer (between 0 and 30 m)

Table 1 shows the site soil profile classification system used by NEHRP. Anderson et al. (1996) evaluated the use of the average shear-wave velocity in the upper 30 m. According to their work, attenuation affects ground motions as much as shear wave velocity, particularly for deeper geologic deposits. Although attenuation is not directly included in the current NEHRP provisions, it is account for in seismic hazard maps.

**Table 1: Soil profile type classification for seismic amplification (BSSC, 2003)**

Soil type NEHRP	General description	Average shear wave velocity to 30 m (m/s)
A	Hard rock	> 1500
B	Rock	760 < $V_s$ ≤ 1500
C	Very dense soil and soft rock	360 < $V_s$ ≤ 760
D	Stiff soil $15 \leq N \leq 50$ or $50 \text{ kPa} \leq S_u \leq 100 \text{ kPa}$	$180 \leq V_s \leq 360$
E	Soil or any profile with more than 3 m of soft clay defiled as soil with $PI > 20$ , $w \geq 40\%$ , and $S_u < 25 \text{ kPa}$ .	≤ 180
F	Soils requiring site-specific evaluations	

N: SPT blow count,  $S_u$ : Undrained shear strength  
 PI: Plasticity index, w: water content

## MASW TECHNIQUE

The surface wave (Rayleigh wave) has traditionally been viewed as an unwanted signal in conventional seismic surveys and as such is normally discarded during data processing. Rayleigh waves travel along or near the ground surface and are typically characterized by a low velocity, a low frequency and high amplitude (Sheriff 1991). By inverting the fundamental mode of the Rayleigh wave, the  $V_s$  profile of the soil column can be determined.

The MASW method was first introduced into the geotechnical and geophysical community in early 1999 (Park et al. 1999). This seismic method generates a one-dimensional (1-D) vertical shear-wave velocity ( $V_s$ ) profile by analyzing Rayleigh surface waves on a multi-channel record. The method utilizes energy commonly considered to be noise on conventional seismic surveys. The acquisition of the 1-D MASW data was similar to conventional seismic data acquisition (Figure 4). Generally, 24 low-frequency vertical-component geophones, placed at  $\Delta x$  intervals, were centered on each test location. The source usually an impact sources is place at  $X_1$ . The sources can be either a sledge hammer or accelerated-weigh drop. The seismic signal will be detected by the geophones and sent to seismograph for recording and display.

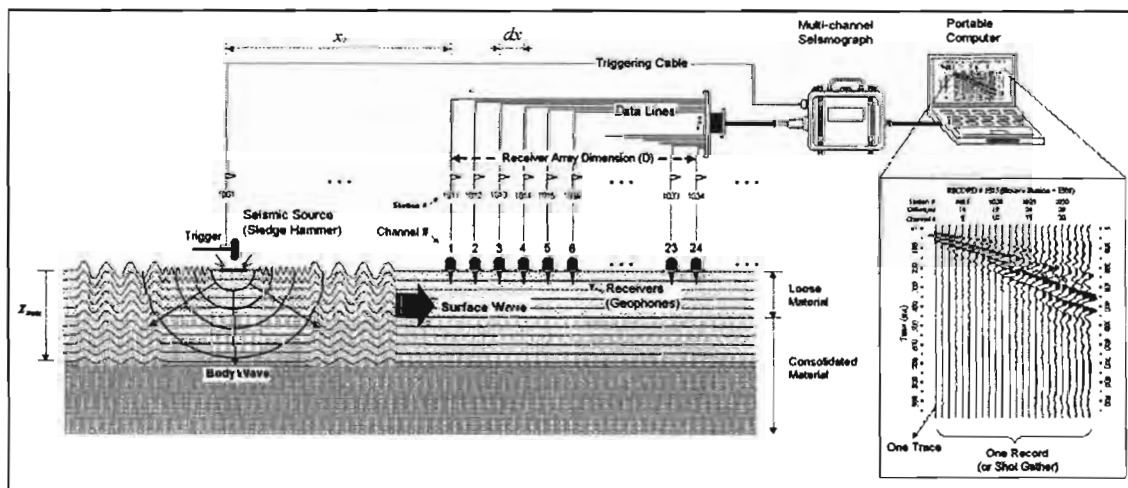
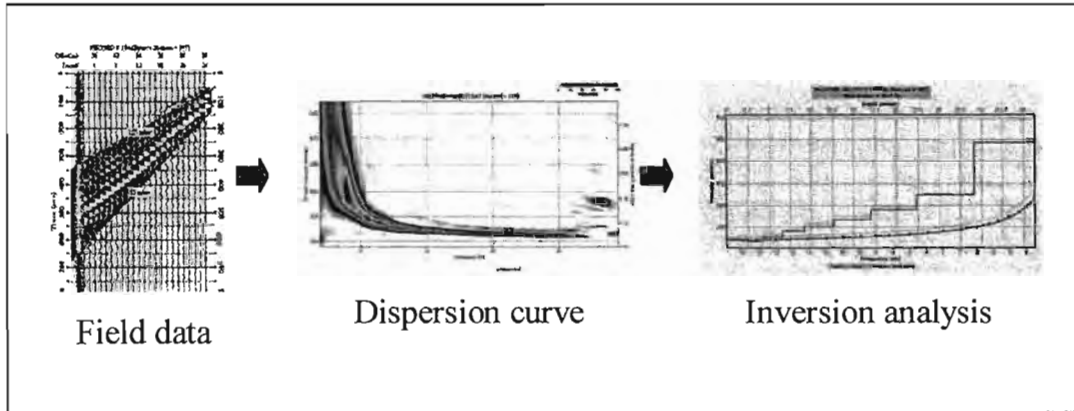


Figure 4: MASW data acquisition field setup (Park et al, 1999).

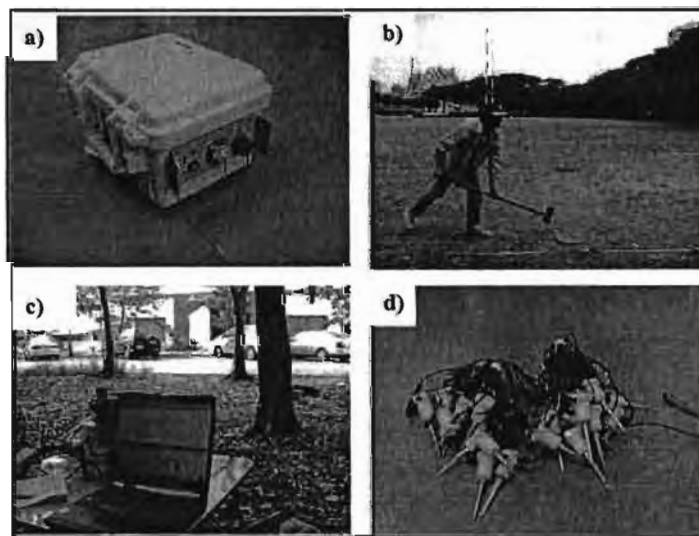
Figure 5 illustrates the processing steps of MASW data. Each set of Rayleigh wave data (24 channels data set for each station location) was transformed from the time domain into the frequency domain using Fast Fourier Transform (FFT) technique. These field-based data were used to generate site-specific dispersion curves (phase velocity versus frequency) for each station location. The site-specific dispersion curves generated from the field-acquired Rayleigh wave data were then transformed into vertical 1-D shear-wave velocity profiles (MASW shear-wave velocity profile) through an inversion method, which was explained in detail in Park et al (1999).



**Figure 5:** MASW data processing steps 1) surface wave shot gather, 2) the corresponding dispersion curve, and 3) the inverted shear wave velocity profile.

### MASW DATA ACQUISITIONS AND PROCESSING

In this study, the MASW data were collected at 30 sites throughout the study area. The site locations are shown in Figure 2. The data was collected with 24-channel geode engineering seismograph. The 24 of 4.5 Hz vertical component geophones were used and each geophone was placed with spacing of 2 m. The 12-lbs sledge hammer was used as a source and was placed at 10 m from the first geophone. Figure 6 shows the equipments used in this study. The acquired Rayleigh wave data were processed using the Kansas Geological Survey software package SURFSEIS.



**Figure 6:** (a) engineering seismograph (b) Sledge hammer and metal plate (c) Computer laptop and (d) Geophones.

## SHEAR WAVE CHARACTERISTICS OF SOILS

Based on  $V_s$  profiles from 30 MASW test sites, the  $V_{s(30)}$  of each site were calculated by using equation 1. Figure 7 shows the plot of  $V_{s(30)}$  from different soil units and the mean of  $V_{s(30)}$  of each units was also determined. The colluviums unit (Qt) has the highest mean  $V_{s(30)}$  about 427 m/s and can be classified as soil class C from NEHRP criteria (Table 1). This unit is found near the foot hills in the study area. The natural levee unit (Qfl) has the mean  $V_{s(30)}$  about 409 m/s and NEHRP soil class C can also be assigned to this unit. The valley plain (Qfv), flood plain (Qff) and flood plain on channel (Qfc) units have  $V_{s(30)}$  of 354, 352, and 309 m/s respectively. All of these soil units have the same NEHRP site class as D.

From  $V_{s(30)}$  of each test sites, the  $V_{s(30)}$  of the study area can be generated and showed in figure 8. The green color represents the zone of high  $V_{s(30)}$  values and the yellow tone color represents the area of low  $V_{s(30)}$  values. The high  $V_{s(30)}$  area are found at the central and south western part of the study area. The soils of this area consist of cross-grained sediments of colluvium and terrace units. The floodplain and levee units are mostly fine grain sediments of Kok river and small stream and generally have low  $V_{s(30)}$ . Table 2 shows the mean  $V_{s(30)}$  and the NEHRP site classification of each soil units.

**Table 2:** NEHRP Site Classification of Soil Units for the Chiangrai City

Soil Units	Mean $V_{s(30)}$ (m/s)	NEHRP Site Class
Qfc (Floodplain on channel)	309	D
Qff (Floodplain)	352	D
Qfv (Valley plain)	354	D
Qfl (Natural levee)	409	C
Qt (Colluvium)	427	C

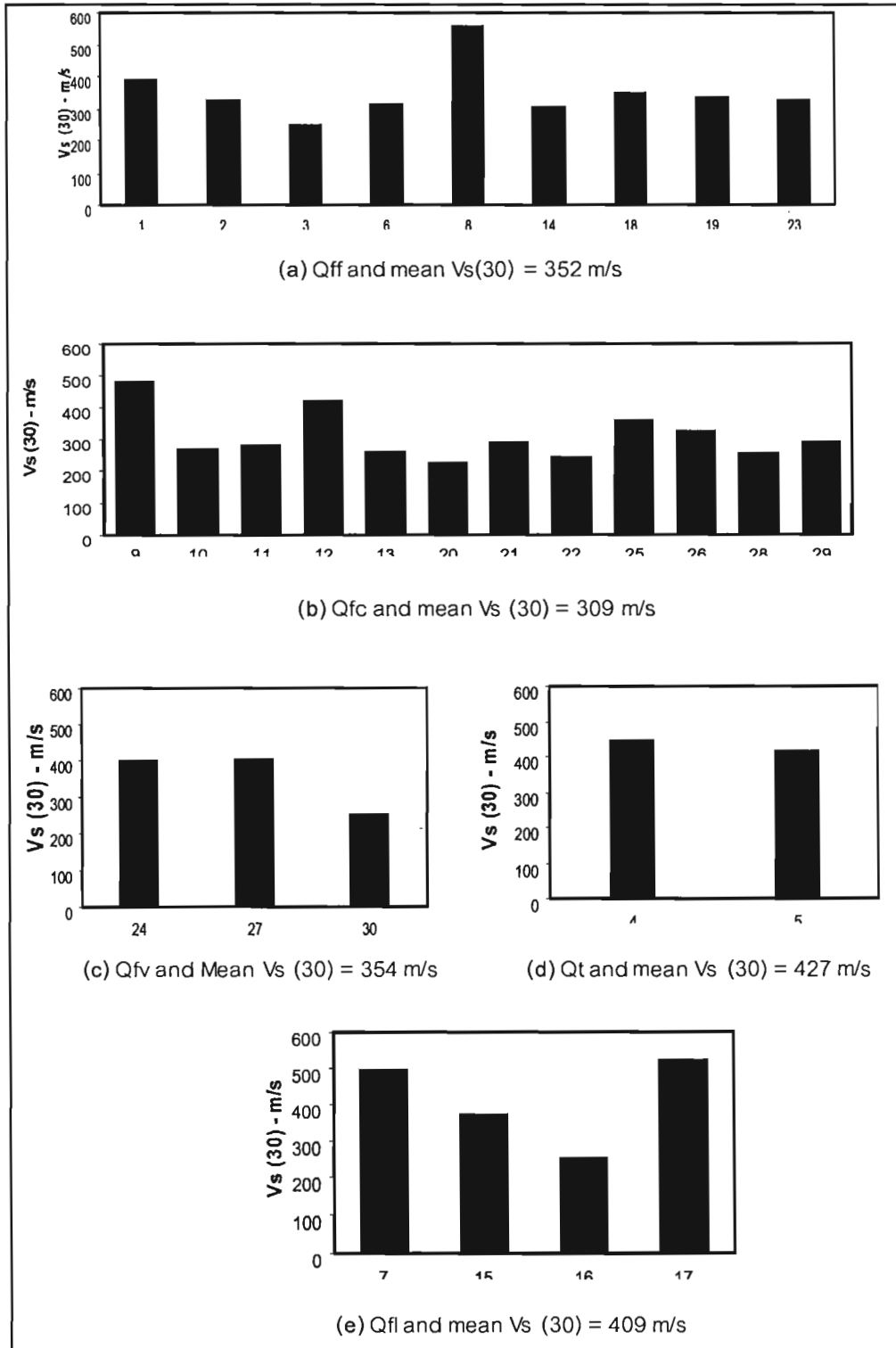


Figure 7:  $V_{s(30)}$  of each test sites and mean of  $V_{s(30)}$  of each soil units.

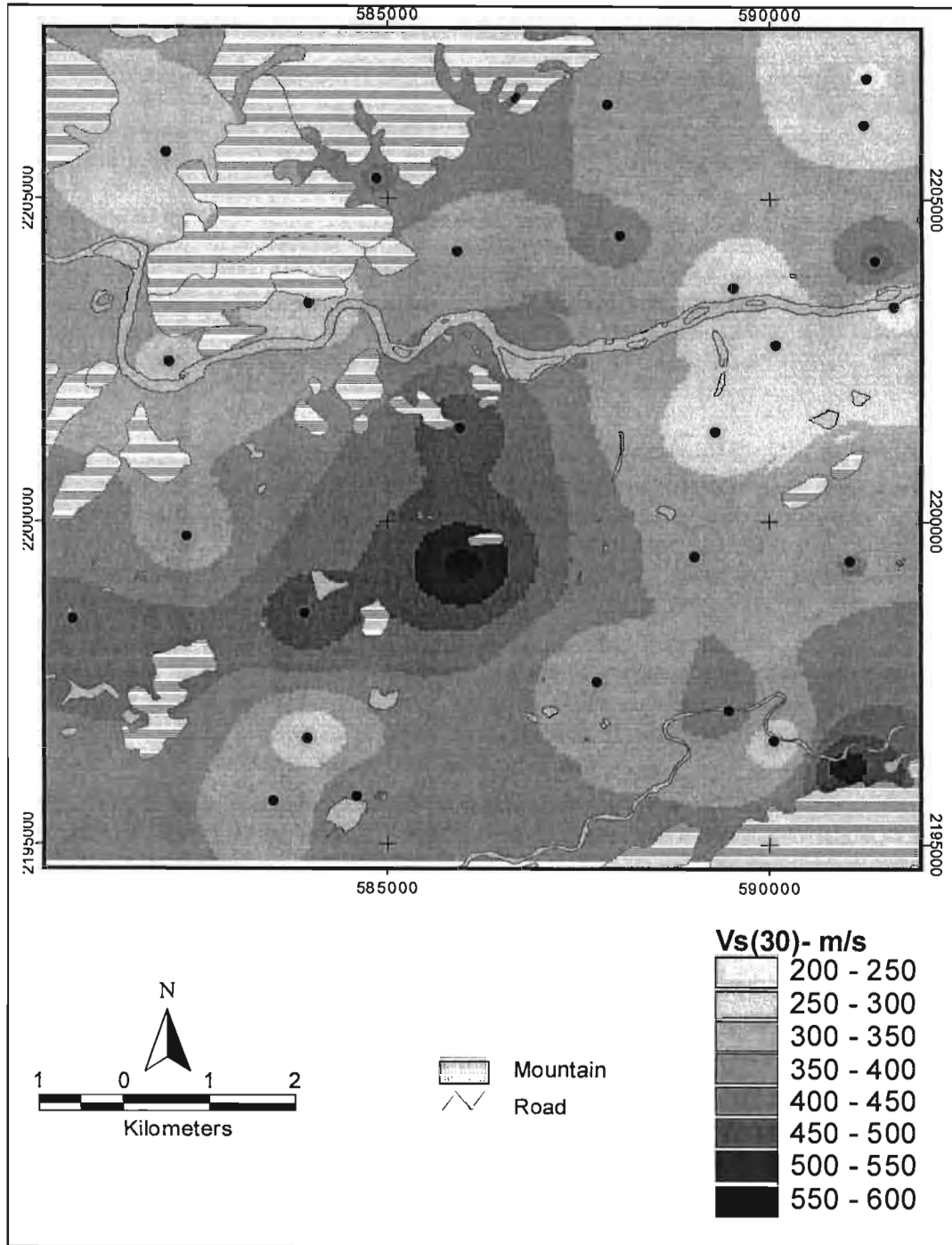


Figure 8:  $V_{s(30)}$  Map of the Study Area

## NEHRP SITE CLASSIFICATION MAP

To create the NEHRP map, the  $V_s(30)$  of each test sites were calculated by using equation (1) and these  $V_s(30)$  is also used to classify the soil classes based on the recommendations of the 2003 National Earthquake Hazards Reduction Program (NEHRP) as shown in table 1. Finally the NEHRP site classification map can be generated. From  $V_{s(30)}$  data, there are only two classes which are site class C and D as shown in figure 9. As seen on the map, the alluvium and levee soil units are assigned as soil class D. The colluviums and valley plain materials are class C. However, probably a half part of the city is situated on soil class D. From NEHRP recommendation, the soils with the lower shear-wave velocity values, or the NEHRP soil class letter farther from A, will experience more earthquake ground shaking than bedrocks due to the wave-amplifying properties of the soil. This means that most part of city will more or less experience soil amplification from earthquake ground motion.

## CONCLUSION

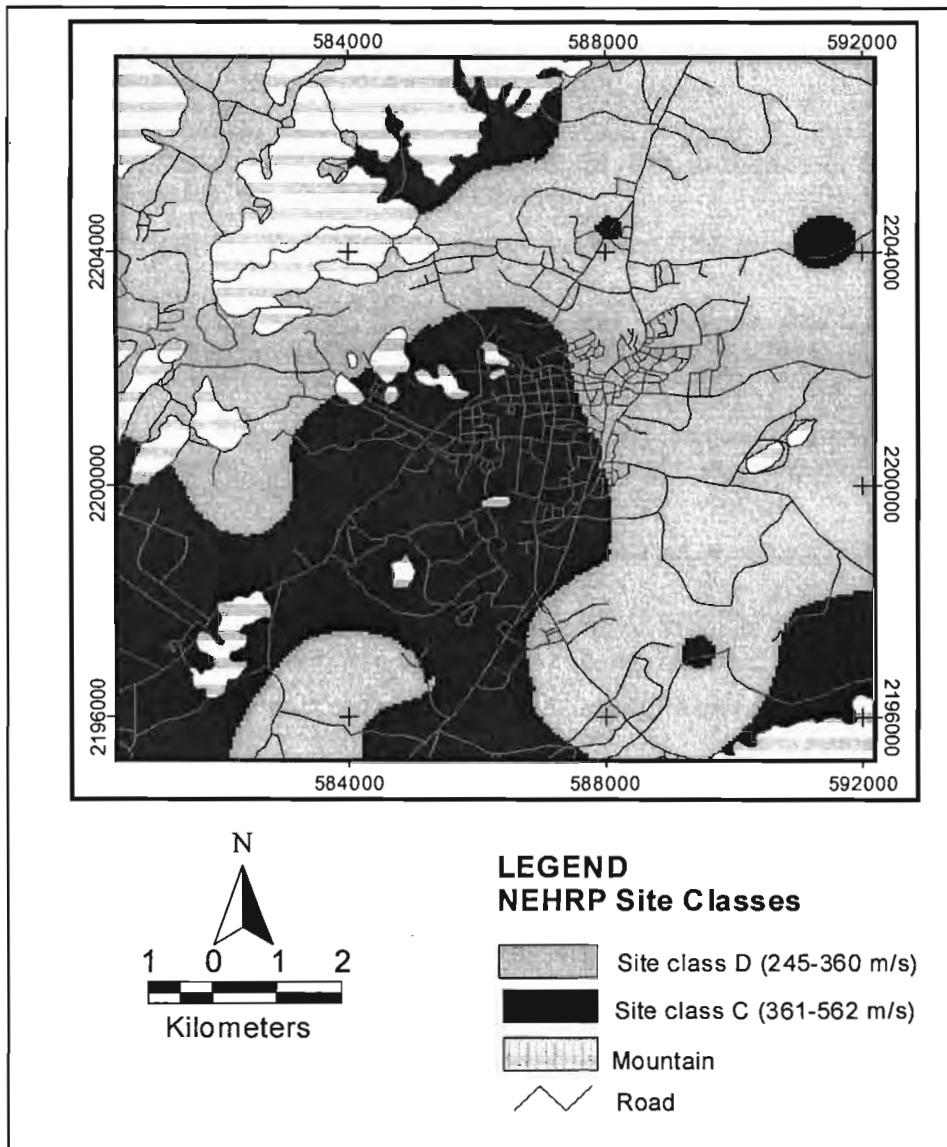
This paper presents shear-wave velocity characteristic of different soil units throughout Chiangrai City area. The  $V_s$  profiles were determined by using MASW method and were collected at 30 sites. The test sites were selected to cover all five soil units. The  $V_s$  profiles of each site were then used to calculated the  $V_{s(30)}$  and NEHRP site classification assigned for each sites.

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.

The NEHRP map provides the preliminary information on the soil conditions of the city. It can be used for city planning and the  $V_s$  profiles can also be used for site amplification evaluation and seismic hazard study. Although the map represents the first kind of this map of the area, it still has some limitations. As seen in figure 3, the MASW test sites are not distributed uniformly throughout the study area. This is because there is some limitation of the budget and the difficulty of acquiring MASW data in the highly population area. Therefore, a great care must be taken when using this map particularly when dealing with site-specification evaluation in the city area.

## ACKNOWLEDGEMENTS

This study was sponsored by the Ratchadaphiseksomphot Endowment Fund (R\_010\_2552), Chulalongkorn University. We also thank Geology department, Faculty of Science, Chulalongkorn University for supporting field equipments. We thank Asst. Prof. Veerote Daorerk for helpful reviews of this manuscript.



**Figure 9:** The NEHRP site classification map of Chiangrai City.

## REFERENCES

1. Borchardt, R.D., 1994, New developments in estimating site effects on ground motion, Proceedings of Seminar on New Developments in Earthquake Ground Motion Estimation and Implications for Engineering Design Practice, Applied Technology Council 35-1, pp. 101-1 – 10-44.
2. Borchardt, R., Wentworth, C.M., Janssen, A.; Fumal, T., and Gibbs, J., 1991, Methodology of predictive GIS mapping for special study zones for strong ground shaking in the San Francisco Bay Region, CA. Proceeding of the Fourth International Conference on Seismic Zonation, Vol. 3, pp. 545-552.



3. 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.
4. Joyner, W.B., Warrick, and Fumal, T., 1981, The effect of quaternary alluvium on strong motion in the Coyote Lake, California, Earthquake of 1979, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 71, No. 4, pp. 1333-1349.
5. Luangthavornkul, N. 2007, Determination of the masw field parameters for Bangkok subsoils. Bachelor of Science, Department of geology, Chulalongkorn University.
6. Nutalaya, P., Sodsri, S. and Arnold, E. P., 1985, Southeast Asia Association of Seismology and Earthquake Engineering, Series on Seismology, v.II-Thailand, Bangkok, 403p.
7. 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.
8. Park, C.B., R.D. Miller, and J. Xia, 1999, Multi-channel analysis of surface waves: Geophysics, 64,3, p. 800-808.
9. Pattararattanakul, P., 2003, Liquefaction Resistance of Sands in the Northern Part of Thailand, Ph.D. Dissertation, Chulalongkorn University, Thailand.
10. Pekkan, E., 2006. Analyse of Urbanization Chang According to NEHRP Soil Classification Map. Conference on Geographic Information Science: 350-358.
11. 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.
12. Taechavaorainskun, S. and Nuntasarn, R. 2005, Study of site amplification due to earthquakes in Bangkok and Chiengrai provinces. Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, Thailand.
13. Tinsley, J.C., Fumal, T.E., 1985, Mapping quaternary sedimentary deposits for areal variations in shaking response, Evaluating Earthquake Hazards in the Los Angeles Region – An Earth Science Perspective, Ziony, J.I. (Ed.), USGS Prof. Pap. 1360, 101-126.
14. Will, C.J., Peterson, M., Bryant, W.A., Reichle, M., Saucedo, G.J., Tan, S., Taylor, G., and Treiman, J., 2000, A site-conditions map for California based on geology and shear-wave velocity: Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 90, no. 6B, pp. S187-S208.

