การหาค่าความเร็วคลื่นเฉือนของดินด้วยสายพานรับสัญญาณคลื่นพื้นผิวแบบเอ็มเอเอสดับเบิ้ลยู บริเวณอำเภอเมือง จังหวัดลำพูน

นาย ธนบดี แร่นาค

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต

ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2557

Application of Masw Land Streamer for Determining Shear Wave Velocity of Soils in Amphoe Muang, Changwat Lamphun

Mr. Tanabodi Raenak

A report submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of the Bachelor of Science in Geology

Department of Geology, Faculty of Science, Chulalongkorn University

Academic Year 2014

วันที่ส่ง

_____/_____/_____

วันที่อนุมัติ

_____/_____/_____

ลงชื่อ_____

(_____)

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลือจาก ผศ. ดร. ฐานบ ธิติมากร ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาในงานวิจัยนี้ ซึ่งได้กรุณาให้ความรู้ คำปรึกษา คำแนะนำ และ ความช่วยเหลือในทุกด้านๆ รวมไปถึงทุนสำหรับการทำงานวิจัยในบางส่วน

ขอขอบพระคุณนายพุทธมาลา สิทธิวง (แบ้), นายณรงค์ศักดิ์ ราชูการ (ไผ่),นายศุภณัฐ คุ้มโหมด (โอม) และนางสาวรัชดาภรณ์ จินตประสารท (ฟิล) ที่ช่วยออกภาคสนาม และให้ความรู้คำแนะนำต่างๆ

ขอขอบพระคุณ นายอลังการ ตั้งใจเปี่ยม (บอลลูน) ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในด้านการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ArcMap

และ ขอขอบพระคุณทุก ๆ ท่านที่ได้ช่วยเหลือ และให้กำลังใจแก่ผู้เขียนเสมอมา จนกระทั่งการศึกษางานวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี และผลดีอันเกิดจากการศึกษาค้นคว้างานวิจัยในครั้งนี้ ผู้เขียนขอมอบแด่บิดา มารดา ครู อาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน ผู้เขียนมีความซาบซึ้งในความกรุณาอันดียิ่งจากทุกท่านที่ได้กล่าวนามมา และขอกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

หัวข้องานวิจัย: การหาค่าความเร็วคลื่นเฉือนของดินด้วยสายพานรับสัญญาณคลื่นพื้นผิวแบบเอ็มเอเอสดับเบิ้ลยู บริเวณอำเภอเมือง จังหวัดลำพูน

นิสิตผู้ทำการวิจัย: นายธนบดี แร่นาค

โทรศัพท์: 094-284-3159 E-mail: tanabodi_1@hotmail.com

ภาควิชา: ธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อาจารย์ที่ปรึกษา: ผศ. ดร.ฐานบ ธิติมากร

ปีการศึกษา: 2557

บทคัดย่อ

จากพื้นที่ตั้งของอำเภอเมือง จังหวัดลำพูน ซึ่งเป็นจังหวัดที่มีประชาชนอาศัยอยู่มากและตั้งอยู่บนตะกอนที่ยังไม่แข็งตัวนอกจากนี้ยังตั้งใกล้กับแนวรอยเลื่อนมีพลังหลายแห่งในเขตภาคเหนือของประเทศไทย และ ในประเทศพม่า ทำให้มีโอกาสที่จะได้รับผลกระทบจากแรงสั่นสะเทือนแผ่นดินไหวสูง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการประเมินพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดการขยายสัญญาณแผ่นดินไหวบริเวณอำเภอเมือง จังหวัดลำพูน โดยอาศัยข้อมูลค่าความเร็วคลื่นเฉือนของดินด้วยวิธีแบบ MASW (Multi-channel Analysis of Surface Wave) โดยทำการเก็บข้อมูลค่าความเร็วคลื่นเฉือนของดินตามแนวเส้นทางหลักที่ตัดผ่านเขตตัวเมืองคือในทิศตะวันออกเฉียงใต้ไปยังทิศตะวันตกเฉียงเหนือ และทำการเก็บข้อมูลให้ครอบคลุมทั่วทั้งพื้นที่ เมื่อได้ค่าความเร็วคลื่นเฉือนแต่ละจุดศึกษาจะทำการเฉลี่ยที่ระดับความลึก 30 เมตร แสดงผลออกมาเป็นแผนที่ค่าความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยที่ความลึก 30 เมตร และก็มาจำแนกตามข้อกำหนดของ National Earthquake Hazards Reduction Program 2003 (NEHRP 2003) แสดงผลลัพธ์ออกมาเป็นแผนที่จำแนกชนิดของดินตามข้อกำหนด NEHRP 2003 ซึ่งจะสามารถบอกแนวโน้มการขยายตัวของแรงแผ่นดินไหวได้ คือในบริเวณพื้นที่ศึกษาจะสามารถแบ่งชนิดดินตามข้อกำหนดของ NEHRP 2003 ได้ออกเป็น 2 class คือ class C กับ class D ซึ่งภายในตัวเมืองลำพูน ตั้งอยู่บนดิน class D เป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นบริเวณนี้จึงมีความเสี่ยงภัยจากแรงแผ่นดินไหวมากกว่าบริเวณอื่น ดังนั้นในการออกแบบฐานรากควรคำนึงถึงผลกระทบจากแรงแผ่นดินไหวด้วย

คำสำคัญ: ความเร็วคลื่นเฉือน, การขยายสัญญาณแผ่นดินไหว, MASW , NEHRP

Project Title: Application of Masw Land Streamer for Determining Shear Wave Velocity of Soils in Amphoe Muang, Changwat Lamphun

Researcher: Mr. Thanabodi Raenak

Mobile: 0942843159 E-mail: tanabodi_1@hotmail.com

Department: Geology, Faculty of science, Chulalongkorn University

Advisor: Assist. Professor Dr. Thanop Thitimakorn

Academic Year: 2014

Abstract

Amphoe Muang, Changwat Lamphun where have many people live is located on soft sediment and near the active faults of the northern part of Thailand and Myanmar. So it is a high risk area to be affected by the earthquake ground motion. In this study, we consider the area of amplification of soils by using the MASW (Multi-channel Analysis of Surface Wave) (Park et al., 1999) method to collect the shear-wave velocity of soils data along the roads that past the urban areas. We collected the data from Southeast to Northwest that past the urban areas and collected data that cover all area. Next we calculated the averaged shear-wave velocity down to 30 meters (Vs (30)) for estimated the ground motion amplification of soils Vs (30) at each station are used to classify the soil classes based on the recommendations of the 2003 National Earthquake Hazards Reduction Program (NEHRP). The result show with NEHRP Classification of soil map can explain amplification of soils that the study area can divided into 2 classes: Class C and Class D. The urban areas of Amphoe Muang, Changwat Lamphun located on Class D that can amplify ground motions.So these areas should guardedly design the construction and the building that already constructed should recondition the structure for protect the damage.

Keywords: Shear-wave velocity, MASW method, NEHRP

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
บทที่1 บทนำ (Introduction)	1
1.1 แนวคิดพื้นฐาน	1
1.2 นิยามปัญหา	2
1.3 สมมติฐานของการวิจัย	3
1.4 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.5 พื้นที่ศึกษา	3
1.6 ขอบเขตการศึกษา	4
1.7 คำศัพท์ที่เกี่ยวข้อง	4
1.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	8
1.9 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	10
บทที่ 2 ธรณีวิทยาทั่วไป (General Geology)	11
2.1 ภูมิสัณฐาน (Morphology)	11
2.2 ลักษณะทางธรณีวิทยา (Geology Setting)	13
2.3 ข้อมูลหลุมเจาะ	17
บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย (Methodology)	18
3.1 ศึกษางานวิจัยเก่าและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง	19
3.2 ศึกษางานวิจัยเก่าและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง	19
3.3 ทำการพัฒนาสายพานรับสัญญาณคลื่นไหนวสะเทือนแบบ MASW	22
3.4 ทำการทดสอบเปรียบเทียบข้อมูลคลื่นพื้นผิวจากสายพานกับการเก็บข้อมูลปกติ	23
3.5 ทำการออกภาคสนามเก็บข้อมูล	27
3.6 ประมวลผลข้อมูลคลื่นพื้นผิว MASW	29

บทที่ 4 การวิเคราะห์ และ แปลผลข้อมูล (Data analysis and Interpretation) 30
4.1 การคำนวณค่าความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยจนถึงระดับความลึก 30 เมตร 30
4.2 ภาพตัดขวางการกระจายตัวของความเร็วคลื่นเฉือนของดิน 30
4.3 การจำแนกประเภทของพื้นที่จากค่าความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยจนถึงระดับความลึก 30 เมตร 32
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ (Conclusion and Recommendation) 35
5.1 สรุปผลการวิจัย 35
5.2 ข้อเสนอแนะ 38
เอกสารอ้างอิง 39
ภาคผนวก 40

สารบัญตาราง

ชื่อตาราง **หน้า**

ตาราง 1.1 แสดงการจำแนกชนิดของดินตามข้อกำหนดของ NEHRP 2003 8

ตาราง 3.1 ตัวแปรในการทดสอบคุณภาพของสายพาน 24

ตาราง 4.1 แสดงการแปลผลข้อมูลเรียงตามแนวทิศตะวันออกเฉียงเหนือไปทิศตะวันตกเฉียงใต้ 31

ตาราง 4.2 แสดงการแปลผลข้อมูลเรียงตามแนวทิศตะวันออกเฉียงใต้ไปทิศตะวันตกเฉียงเหนือ 32

ตาราง 4.3 แสดงการจำแนกชนิดของดินตามข้อกำหนดของ NEHRP 2003 33

สารบัญภาพ

ชื่อรูป หน้า

รูปที่ 1.1 ภาพแสดงแผนที่ภัยพิบัติแผ่นดินไหวประเทศไทย โดยใช้มาตราเมอร์คัลลี่ 2

รูปที่ 1.2 ภาพแสดงบริเวณพื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดลาพูน 4

รูปที่ 1.3 ภาพแสดงแบบจาลองการขยายสัญญาณของคลื่นแผ่นดินไหวเมื่อวิ่งผ่าน ตัวกลางที่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน เช่น หินแข็ง ดินอ่อน 5

รูปที่ 1.4 ภาพแสดงลักษณ์การเคลื่อนที่ของคลื่นเรย์ลี(Rayleigh wave) คลื่นเลิฟ (Love wave)และคลื่นตัวกลาง (Body wave) 6

รูปที่ 1.5 ภาพแสดงวิธีการเก็บข้อมูลแบบ MASW 7

รูปที่ 1.6 แสดงการจำแนกประเภทของพื้น ที่โดยใช้ความเร็วคลื่นเฉือนของดินตาม หลักของ NEHRP ในบริเวณพื้น ที่อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย 9

รูปที่ 1.7 แผนที่ภาพถ่ายดาวเทียมปิดทับด้วย การจำแนกประเภทของดินบริเวณ จุดศึกษาตามข้อกำหนดของ NEHRP Site Classification 10

รูปที่ 2.1 แผนที่แสดงลักษณะภูมิศาสตร์และขอบเขตการปกครองจังหวัดลำพูน 12

รูปที่ 2.2 แสดงแผนที่ธรณีวิทยาจำแนกชนิดตะกอนและดินจังหวัดลำพูน 14

รูปที่ 2.3 แสดงแผนที่ธรณีวิทยาจังหวัดลำพูน 16

รูปที่ 3.1 แสดงเครื่องมือที่ใช้ในการสำรวจ 20

รูปที่ 3.2 แสดงแผนที่ธรณีวิทยาและพิกัดที่เลือกทาการเก็บข้อมูล 21

รูปที่ 3.3 การประกอบระบบสายพานรับสัญญาณ 23

รูปที่ 3.4 แสดงสายพานรับสัญญาณระหว่างการทดสอบ 25

รูปที่ 3.5 แสดงข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนกรณีตัวรับสัญญาณวางอยู่บนสายพานและวางอยู่บนพื้นดิน 26

รูปที่ 3.6 แสดงพิกัดที่ทำการเก็บข้อมูล 27

รูปที่ 3.7 แสดงการเก็บข้อมูลในภาคสนาม 28

รูปที่ 3.8 แผนผังแสดงขั้นตอนการประมวลผลข้อมูลโดยใช้โปรแกรม SurfSeis V.2.0 29

รูปที่ 4.1 แสดงทิศทางการนาข้อมูลมาทำภาพตัดขว้าง 2 แนว 31

รูปที่ 4.2 กราฟแสดงค่าความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยที่ระดับความลึก 30 เมตร กับระยะการกระจัดจากจุดศึกษาที่ 3-11 และแสดงชนิดของดินตามข้อกำหนดของ NEHRP 2003 32

รูปที่ 4.3 กราฟแสดงค่าความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยที่ระดับความลึก 30 เมตร กับระยะการกระจัดจากจุดศึกษาที่ 1-1 และแสดงชนิดของดินตามข้อกำหนดของ NEHRP 2003 34

รูปที่ 5.1 แผนที่ค่าความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยที่ความลึก 30 เมตร ($V_S(30)$) 37

รูปที่ 5.2 แผนที่จำแนกชนิดของดินตามข้อกำหนด NEHRP 2003 38

บทที่ 1

บทนำ (Introduction)

1.1 แนวคิดพื้นฐาน

จากบันทึกทางสถิติของการเกิดแผ่นดินไหวตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบัน ที่ส่งผลกระทบถึงบริเวณภาคเหนือของประเทศไทย พบว่ามีรอยเลื่อนที่มีพลังหลายรอยเลื่อนตรงอยู่ในภาคเหนือของประเทศไทย อาทิเช่น รอยเลื่อนเถิน รอยเลื่อนแม่ทา รอยเลื่อนพะเยาและรอยเลื่อนแม่ฮ่องสอน เป็นต้น (กรมทรัพยากรธรณี 2555) และอีกทั้งในประเทศพม่ายังมีรอยเลื่อนมีพลังขนาดใหญ่คือ รอยเลื่อนสะเกียง ซึ่งรอยเลื่อนสะเกียงเคยเกิดแผ่นดินไหวขนาดมากกว่า 7.0 มาแล้วไม่น้อยกว่า 6 ครั้ง นับตั้งแต่ปีพ.ศ.2493 (USGS) ซึ่งได้ส่งแรงสั่นสะเทือนมายังบริเวณตอนเหนือของประเทศไทย ทำให้จังหวัดลำพูนเป็นจังหวัดที่มีความเสี่ยงที่จะได้รับแรงสั่นสะเทือนแผ่นดินไหว

นอกจากนี้สภาพทางธรณีของที่ตั้งตัวเมือง อำเภอเมือง จังหวัดลำพูน เป็นชั้นตะกอนที่ยังไม่แข็งตัวคือ ตะกอนธารน้ำพา และตะกอนตะพักน้ำ (กรมทรัพยากรธรณี 2550) ซึ่งโดยทั่วไปตะกอนที่ยังไม่แข็งตัวจะมีคุณสมบัติเป็นตัวกลางที่ทำให้คลื่นไหวสะเทือน (Seismic Wave) สามารถเดินทางผ่านได้ช้าลง จึงทำให้เกิดการขยายแรงการสั่นสะเทือนของคลื่นแผ่นดินไหวให้มีความแรงมากขึ้น เพราะฉะนั้นแรงแผ่นดินไหวจะส่งผลต่อสิ่งก่อสร้าง ถนน ชีวิตความเป็นอยู่ของคนในอำเภอเมือง จังหวัดลำพูน

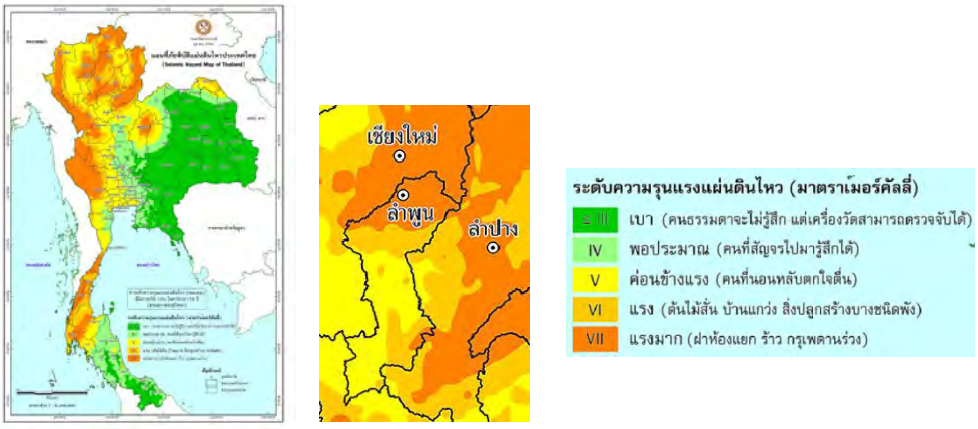
คุณสมบัติการขยายแรงสั่นสะเทือนแผ่นดินไหวของดิน สามารถคาดคะเนหรือหาแนวโน้มการขยายแรงแผ่นดินไหวได้จากค่าความเร็วคลื่นเฉือน (Shear wave velocity) ของดิน โดยทั่วไปดินที่มีค่าความเร็วคลื่นเฉือนที่ต่ำก็จะมีค่าความแน่น (stiffness) ของดินที่ต่ำก็จะส่งผลให้มีค่าคุณสมบัติการขยายแรงแผ่นดินไหวได้มากกว่าดินที่มีค่าความเร็วคลื่นเฉือนสูงหรือกล่าวคือมีค่าความแน่นของดินที่สูง ซึ่งค่าความเร็วคลื่นเฉือนสามารถหาได้หลายวิธี โดยวิธี Downhole Seismic Methods เป็นวิธีการทั่วไปที่ใช้ในการหาค่าความเร็วคลื่นเฉือนได้โดยตรง แต่เป็นวิธีที่ใช้ระยะเวลาในการเก็บข้อมูลมาก และอุปกรณ์ เครื่องมือต่างๆที่ใช้ยังมีราคาที่ค่อนข้างสูง ส่งผลให้มีค่าใช้จ่ายที่สูงตาม แต่ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาวิธีการหาค่าความเร็วคลื่นเฉือนที่ใช้เวลาที่รวดเร็วและ ใช้ค่าใช้จ่ายที่ต่ำกว่า ถึงแม้จะเป็นวิธีการหาแบบอ้อมก็ตาม วิธีนี้เรียกว่า การสำรวจคลื่นไหวสะเทือนผิวดินแบบหลายช่องรับสัญญาณ (Multi-channel analysis of surface wave (MASW)) (Park et al, 1999) ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ในการคำนวณหาค่าความเร็วคลื่นเฉือนแบบอ้อม โดยวิธีนี้จะเป็น

การวัดค่าความเร็วคลื่นพื้นผิว (Surface wave) ซึ่งโดยปกติแล้วคลื่นพื้นผิวมักจะถูกพิจารณาให้เป็นคลื่นรบกวนในการสำรวจคลื่นไหวสะเทือนทั่วไป แต่ในงานวิจัยนี้จะนำมาคำนวณหาค่าความเร็วคลื่นเฉือนได้ โดยจะวัดหาค่าความเร็วคลื่นพื้นผิวชนิดคลื่นเรย์ลี (Rayleigh wave) มาคำนวณหาค่าเร็วคลื่นเฉือน

การศึกษาครั้งนี้จะทำการศึกษาถึงการกระจายตัวของความเร็วคลื่นเฉือนของดินในบริเวณอำเภอเมือง จังหวัดลำพูน และนำค่าความเร็วคลื่นเฉือนไปจำแนกแบ่งชนิดของดินตามข้อกำหนดของ National Earthquake Hazards Reduction Program 2003 (NEHRP 2003) เพื่อจะได้ทำแผนที่ชนิดของดินออกมา ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการวิศวกรรม ในการสร้างรากฐานสิ่งปลูกสร้าง และการวางแผนป้องกันภัยพิบัติที่เกิดจากแผ่นดินไหว ในบริเวณอำเภอเมืองจังหวัดลำพูน

1.2 นิยามปัญหา

พื้นที่ตั้งของอำเภอเมืองจังหวัดลำพูน เป็นบริเวณที่ได้รับผลการทบของแผ่นดินไหว เนื่องจาก บริเวณใกล้เคียงจังหวัดลำพูน มีรอยเลื่อนที่มีพลังหลายรอยเลื่อน ทั้งนี้ทางกรมทรัพยกรธรณี (2556) ได้ทำแผนที่ภัยพิบัติแผ่นดินไหวประเทศไทยและได้จัดให้บริเวณอำเภอเมืองจังหวัดลำพูนมีระดับความรุนแรงแผ่นดินไหว ในมาตราเมอร์คัลลี่ (Mercalli scale) อยู่ในระดับ 5-7 เมอร์คัลลี่(ดังรูป1.1) ซึ่งส่งผลต่อสิ่งปลูกสร้างบางชนิด ถ้าหากออกแบบทางวิศวกรรมไม่ได้รองรับภัยพิบัติจากแผ่นดินไหว อีกทั้งบริเวณตัวเมืองอำเภอ ของอำเภอเมืองจังหวัดลำพูนยังตั้งอยู่บนตะกอนไม่แข็งตัวซึ่งตะกอนไม่แข็งตัวมีคุณสมบัติขยายแรงแผ่นดินไหว



รูปที่ 1.1 ภาพแสดงแผนที่ภัยพิบัติแผ่นดินไหวประเทศไทย โดยใช้มาตราเมอร์คัลลี่

ภาพจาก http://www.dmr.go.th/main.php?filename=earthquake_thai

1.3 **สมมติฐานของการวิจัย**

ชั้นดินบริเวณ อำเภอเมืองจังหวัดลำพูน จะมีความสามารถในการขยายแรงสั่นสะเทือนได้เมื่อมีแรงแผ่นดินไหว และในชั้นดินมีความเร็วคลื่นเฉือนค่อนข้างต่ำ

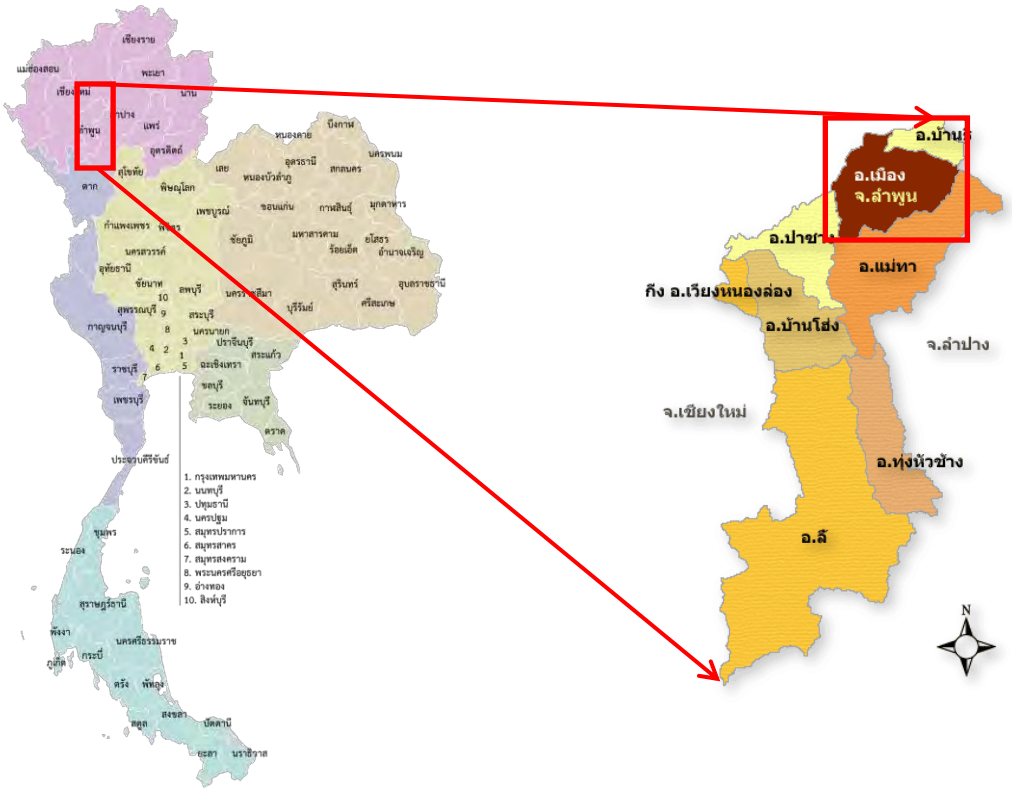
1.4 **วัตถุประสงค์ของการวิจัย**

1. เพื่อหาความเร็วคลื่นเฉือนระดับตื้นของดิน ณ บริเวณอำเภอเมือง จังหวัดลำพูน
2. เพื่อแสดงชนิดของดินที่มีแนวโน้มในการขยายแรงแผ่นดินไหว ตามข้อกำหนดของ NEHRP 2003 ณ อำเภอเมือง จังหวัดลำพูน

1.5 **พื้นที่ศึกษา**

บริเวณอำเภอเมือง จังหวัดลำพูนครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 900 ตารางกิโลเมตร โดยประมาณ มีเส้นทางหลักในการเข้าถึงพื้นที่ศึกษาคือ เส้นทางหลวงหมายเลข 11, 116, 106, 1015, 1033, 1147 ใช้แผนที่ระวางจังหวัดลำพูนที่หมายเลขระวาง 4745 I, 4746 II, 4845 I, 4845 IV, 4846 II, 4846 III เป็นแผนที่ที่ใช้ในงานวิจัยนี้

พื้นที่ศึกษาบริเวณทางทิศตะวันตกประกอบไปด้วยตะกอนธารน้ำพาเป็นส่วนใหญ่และบริเวณช่วงกลางของพื้นที่ศึกษาประกอบไปด้วยตะกอนตะพักน้ำส่วนใหญ่ ส่วนทางทิศตะวันตกจะประกอบไปด้วยหน่วยหิน นอกจากนี้มีแม่น้ำสายหลักไหลผ่าน คือแม่น้ำกวง



รูปที่ 1.2 ภาพแสดงบริเวณพื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดลำพูน

ภาพจาก http://pantip.com/topic/30872685 http://www.amazingthaitour.com

1.6 ขอบเขตการศึกษา

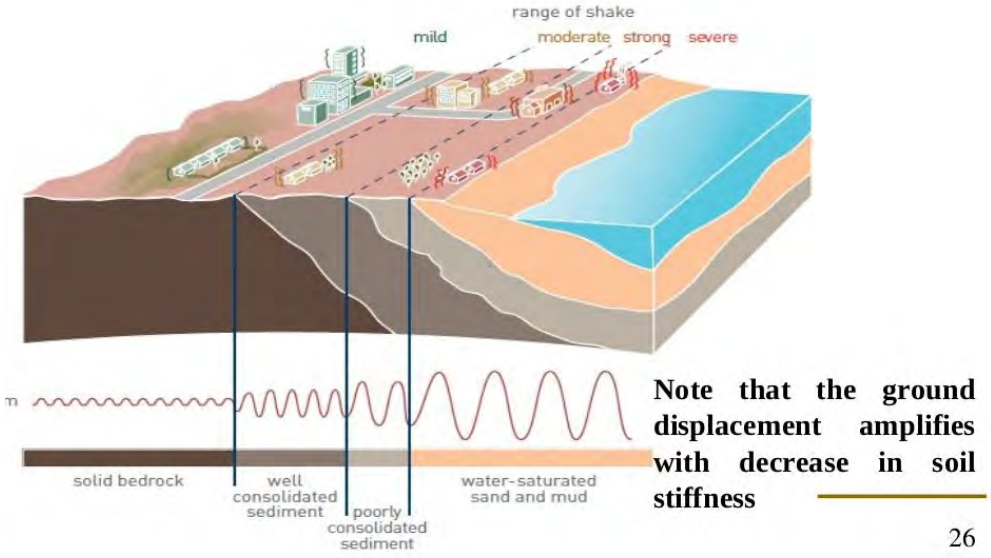
การวิจัยนี้เป็นการจำแนกประเภทของดินตามข้อกำหนดของ National Earthquake Hazards Reduction Program 2003 (NEHRP 2003) โดยจะเก็บข้อมูลความเร็วคลื่นเฉือนของดิน ด้วยวิธี Multi-Channel Analysis of Surface Wave (MASW) เพื่อทำแผนที่ความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยที่ความลึก 30 เมตรของดินและแผนที่ชนิดของดินตามข้อกำหนด NEHRP 2003

1.7 คำศัพท์ที่เกี่ยวข้อง

1.7.1 Amplification of soils

การขยายแอมพลิจูด (Amplitude) หรือการขยายแรงสั่นสะเทือนของดินเนื่องจากการเกิดแผ่นดินไหว เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อการกระจายความเสียหายและการสูญเสียของพื้นที่เขตเมื่อเกิดแผ่นดินไหว โดยพบว่าความเร็วของคลื่นแผ่นดินไหวจะขึ้นอยู่กับตัวกลางที่วิ่งผ่าน เมื่อคลื่นไหวสะเทือนเคลื่อนที่ผ่านเข้าไปยังชั้นตะกอน

ที่ไม่แข็งตัว (Non-consolidated deposition) จะส่งผลให้คลื่นเคลื่อนที่ได้ช้าลงแต่จะมีแอมพลิจูดที่สูงขึ้น เพื่อรักษาระดับพลังงานงานคลื่นให้คงเดิม ดังนั้นเมื่อคลื่นวิ่งผ่านชั้นดินอ่อน จะขยายแรงสั่นสะเทือนให้มีความรุนแรงขึ้น (Amplification) (ดังรูป 1.3)



รูปที่ 1.3 ภาพแสดงแบบจำลองการขยายสัญญาณของคลื่นแผ่นดินไหวเมื่อวิ่งผ่านตัวกลางที่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน เช่น หินแข็ง ดินอ่อน

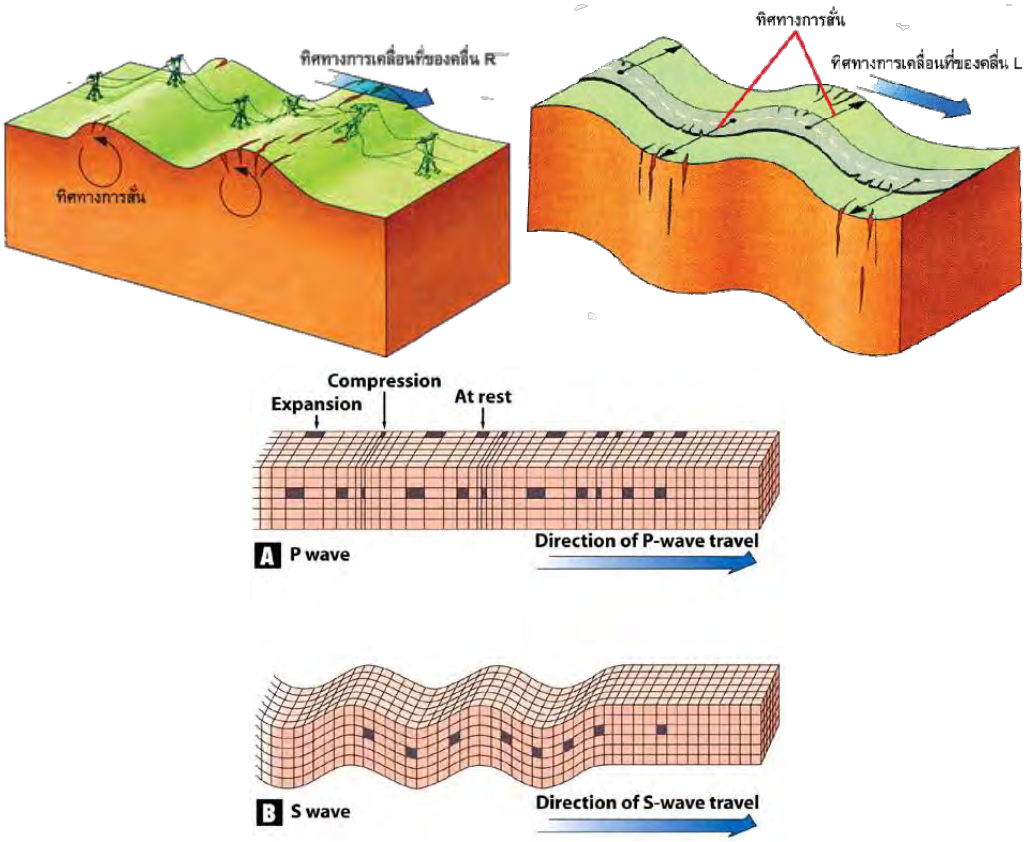
ภาพจาก: http://www.slideshare.net/javeduet/module-1-27845887

1.7.2 คลื่นพื้นผิวและคลื่นตัวกลาง (Surface wave & Body wave)

คลื่นพื้นผิวเป็นคลื่นเดินทางจากจุดเหนือศูนย์กลางแผ่นดินไหว (Epicenter) โดยเคลื่อนที่บนพื้นผิวโลก ในคลื่นพื้นผิวเคลื่อนที่ช้ากว่าคลื่นในตัวกลาง คลื่นพื้นผิวมี 2 ชนิด คือ คลื่นเลิฟ (Love wave) และคลื่นเรย์ลี (Rayleigh wave) (ดังรูป 1.4) ซึ่งคลื่นพื้นผิวนี้เองที่จะสร้างความเสียหายให้กับสิ่งปลูกสร้างต่างๆ

คลื่นเรย์ลี (Rayleigh wave) จะมีการเคลื่อนลักษณ์ม้วนตัวเป็นตัวรีในแนวดิ่ง โดยมีทิศทางเดียวกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น ซึ่งค่าความเร็วของคลื่นเรย์ลีจะมีความสัมพันธ์กับค่าความเร็วของคลื่นเฉือน

คลื่นตัวกลาง (Body wave) คือคลื่นเดินทางจากศูนย์เกิดแผ่นดินไหว ผ่านเข้าไปในเนื้อโลกในทุกทิศทาง คลื่นในตัวกลางมี 2 ชนิด ได้แก่ คลื่นปฐมภูมิ (P wave) และ คลื่นทุติยภูมิ (S wave) (ดังรูป 1.4)

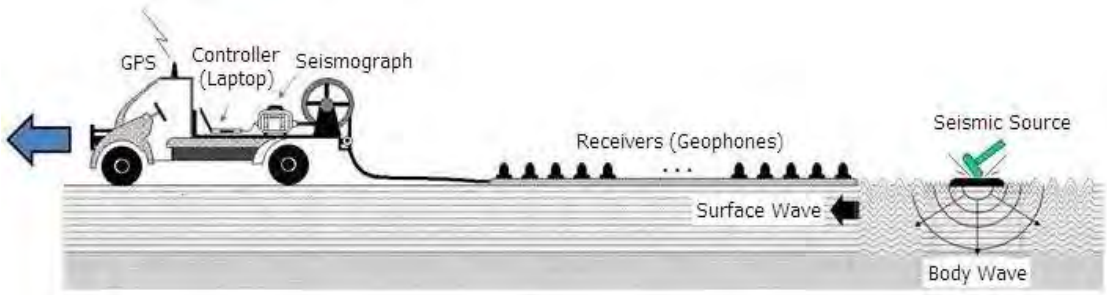


รูปที่ 1.4 ภาพแสดงลักษณ์การเคลื่อนที่ของคลื่นเรย์ลี(Rayleigh wave) (ภาพบนซ้าย) คลื่นเลิฟ (Love wave) (ภาพบนขวา) และคลื่นตัวกลาง (Body wave) (ภาพล่าง) ภาพจาก http://www.lesa.biz/earth/lithosphere/geological-phenomenon/earthquake/seismic-waves http://academic.brooklyn.cuny.edu/geology/grocha/plates/platetec18.htm

1.7.3 Multi-channel Analysis of Surface Wave (MASW)

เป็นวิธีการสำรวจคลื่นไหวสะเทือน(Seismic Methods) ที่นำเสนอโดย Park และคณะในปี ค.ศ. 1999 ซึ่งเป็นการตรวจวัดการเคลื่อนตัวของคลื่นพื้นผิวประเภทคลื่นเรย์ลี (Rayleigh wave) แล้วทำการแปลงค่าความเร็วคลื่นเรย์ลีให้เป็นค่าความเร็วคลื่นเฉือน จึงจัดเป็นวิธีการหาความเร็วคลื่นเฉือนทางอ้อม ถึงแม้จะเป็นการหาทางอ้อมแต่ก็มีข้อดี

คือเป็นคลื่นที่มีพลังงานมาก และให้กำเนิดง่าย จึงใช้ค่าใช้จ่ายน้อย โดยใช้เพียงค้อนเป็นแหล่งกำเนิดคลื่นจากนั้นคลื่นจะวิ่งตามพื้นผิวแล้วเข้าสู่ตัวรับสัญญาณ (Geophone) ซึ่งตัวรับสัญญาณจะต่อกับเครื่อง Seismograph ซึ่งเป็นตัวคำนวณคลื่นที่เข้ามาแล้วจะไปแสดงผลที่คอมพิวเตอร์ (ดังรูป 1.5)



รูปที่ 1.5 ภาพแสดงวิธีการเก็บข้อมูลแบบ MASW

ภาพจาก http://www.masw.com/WhatisMASW.html

1.7.4 National Earthquake Hazard Reduction Program provisions 2003 (BSSC, 1997): NEHRP 2003

NEHRP 2003 เป็นข้อกำหนดที่ใช้แบ่งประเภทของดินตามความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ย (Shear wave velocity) ที่ความลึก 30 เมตร โดยจะสามารถแบ่งออกเป็นคลาส (Class) ได้ทั้งหมด 5 คลาส คือ คลาส เอ (Class A), คลาส บี (Class B), คลาส ซี (Class C), คลาส ดี (Class D) และ คลาส อี (Class E) โดยที่ Class A จะสามารถขยายความแรงของคลื่นแผ่นดินไหวได้น้อยสุด เนื่องจาก Class A มีค่าความเร็วคลื่นเฉือนสูง (High shear wave velocity) แล้วจะไล่ไปตามลำดับจนถึง Class E ที่มีความสามารถขยายแรงของคลื่นแผ่นดินไหวได้มากสุด เพราะมีค่าความเร็วคลื่นเฉือนต่ำ (Low shear wave velocity) (ดังตาราง 1.1)

ตาราง 1.1 แสดงการจำแนกชนิดของดินตามข้อกำหนดของ NEHRP 2003

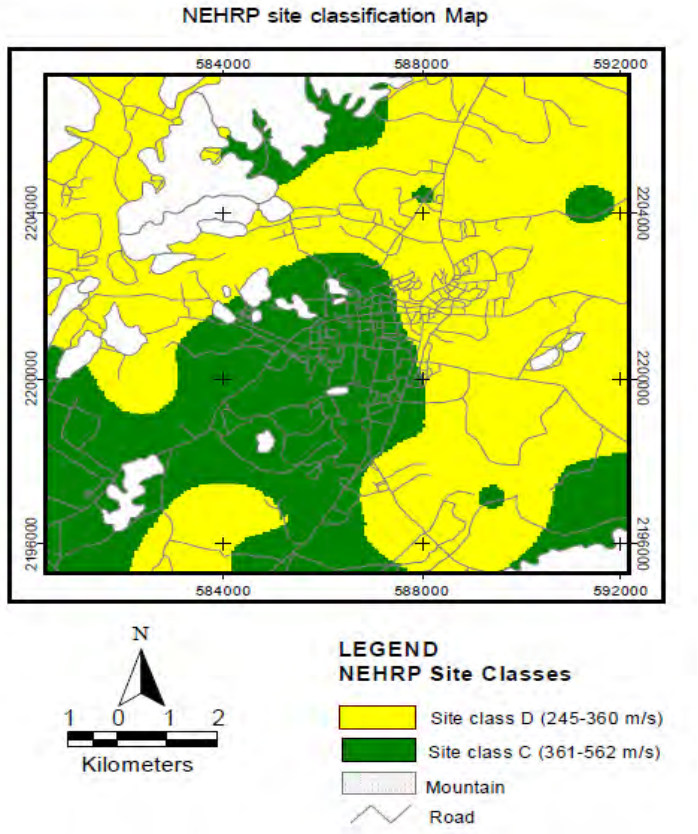
Soil Type	General Description	V_S (m/s)
A	Hard rock	$V_S > 1500$
B	Rock	$760 < V_S \leq 1500$
C	Hard and/or stiff/ very stiff soil; most gravels	$360 < V_S \leq 760$
D	Sand, silts and/or stiff/very stiff clays, some gravels. Having average blow counts of $15 \leq N \leq 50$ or average shear strength of $50\ kPa \leq S \leq 100\ kPa$	$180 < V_S \leq 360$
E	Having thickness lower than 3 meters and PI > 20, $W \geq 40\%$ and $S_u < 25\ kPa$ soft clay	$V_S < 180$
F	Needs specific calculations	

1.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Thanop (2010) ได้ทำการเปรียบเทียบผลการสำรวจหา Shear-Wave Velocity Profile ของชั้นดินอ่อนในเขตกรุงเทพมหานคร ระหว่าง วิธีการแบบ Downhole Seismic Methods กับ วิธีการแบบ Multi-Channel Analysis of Surface Wave (MASW Methods)ในชั้นดินอ่อน บริเวณเขตกรุงเทพมหานคร โดยทำการเปรียบเทียบใน 3 บริเวณ ได้แก่ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (Chulalongkorn University), สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (Asian Institute of Technology) และ กรมอุตุนิยมวิทยา (Thailand Meteorological Department) พบว่าผลลัพธ์ที่ได้จากทั้งสองวิธีนั้นมีระดับที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน โดยเฉพาะในบริเวณพื้นที่ตื้น

Saralee (2011) ได้ทำการศึกษาการทำแผนที่ความเร็วคลื่นเฉือนระดับตื้นในพื้นที่อำเภอเมืองจังหวัดเชียงรายโดยใช้วิธี การสำรวจคลื่นไหวสะเทือนผิวดินแบบหลายช่องรับสัญญาณ

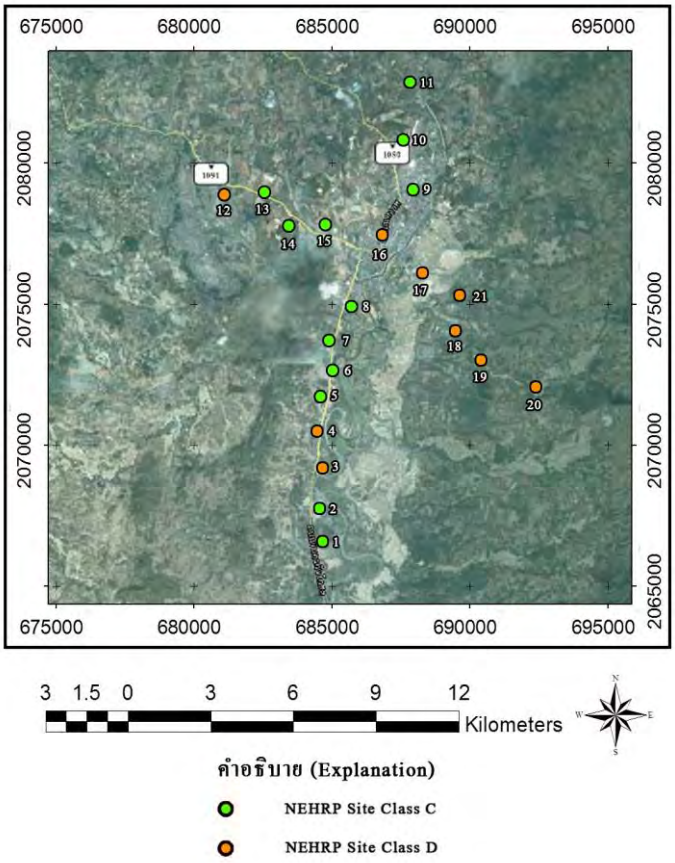
(Multi-channel Analysis of Surface Wave (MASW) โดยทำการเก็บข้อมูล รอบๆพื้นที่อำเภอเมืองเชียงรายทั้งหมด 30 จุด ครอบคลุมชนิดดินทั้ง 5 ประเภทในบริเวณพื้นที่ทำการศึกษา นำมาหาค่าความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยที่ระดับความลึก 30 เมตรแรก และทำการจำแนกชนิดของดินตามข้อกำหนดของ NEHRP 2003 ซึ่งจากผลการศึกษาสามารถจำแนกชนิดของดินตามข้อกำหนดของ NEHRP ได้เป็น 2 site class คือ C และ D (ดังรูป 1.6) ซึ่งพื้นที่ส่วนใหญ่ของอำเภอเมืองเชียงรายนั้นถูกจัดให้เป็น site class D ซึ่งมีความเสี่ยงต่อการได้รับการขยายแรงสั่นสะเทือน



รูปที่ 1.6 แสดงการจำแนกประเภทของพื้นที่โดยใช้ความเร็วคลื่นเฉือนของดินตามหลักของ NEHRP ในบริเวณพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย [Saralee, 2011]

Monawat (2012) ได้ทำการประเมินพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดการขยายสัญญาณแผ่นดินไหวบริเวณอำเภอเมือง จังหวัดน่าน โดยอาศัยข้อมูลค่าความเร็วคลื่นเฉือนของดินจากวิธี MASW (Multi-channel Analysis of Surface Wave) โดยทำการเก็บข้อมูลค่าความเร็วคลื่นเฉือนของดินตามแนวเส้นทางหลักที่ตัดผ่านเขตชุมชนในพื้นที่ศึกษาจำนวนสองแนวได้แก่ เส้นทางในแนวทิศตะวันตกเฉียงเหนือ- ทิศตะวัน ออกเฉียงใต้ ได้ทำการเก็บข้อมูลทั้งหมด 11 จุดและเส้นทาง

ในแนวทิศเหนือ-ใต้ ได้ทำการเก็บข้อมูลทั้งหมด 10 จุด เมื่อนำค่าความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยที่ระดับความลึก 30 เมตร Vs(30) ของแต่ละจุดศึกษามาทำการจำแนกประเภทของดิน ตามข้อกำหนดของ National Earthquake Hazards Reduction Program (NEHRP) ปี 2003 สามารถประเมินความสามารถในการขยายแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวในพื้นที่ได้ และจากผลการสำรวจพบว่าสามารถจัดจำแนกชนิดของดินได้เป็น 2 site class คือ site class C กับ site class D (ดังรูป 1.7) ซึ่งเป็นลักษณะของดินที่มีความสามารถในการขยายแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวได้ และบริเวณตัวเมืองตั้งอยู่ใน Class D



รูปที่ 1.7 แผนที่ภาพถ่ายดาวเทียมปิดทับด้วย การจำแนกประเภทของดินบริเวณจุดศึกษาซึ่งสามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภทตามข้อกำหนดของ NEHRP Site Classification คือ Class C และ Class D [Monawat, 2012]

1.9 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. แผนที่ชนิดของดินที่มีแนวโน้มในการขยายแรงแผ่นดินไหวตามข้อกำหนดของ NEHRP 2003 ณ อำเภอเมือง จังหวัดลำพูน

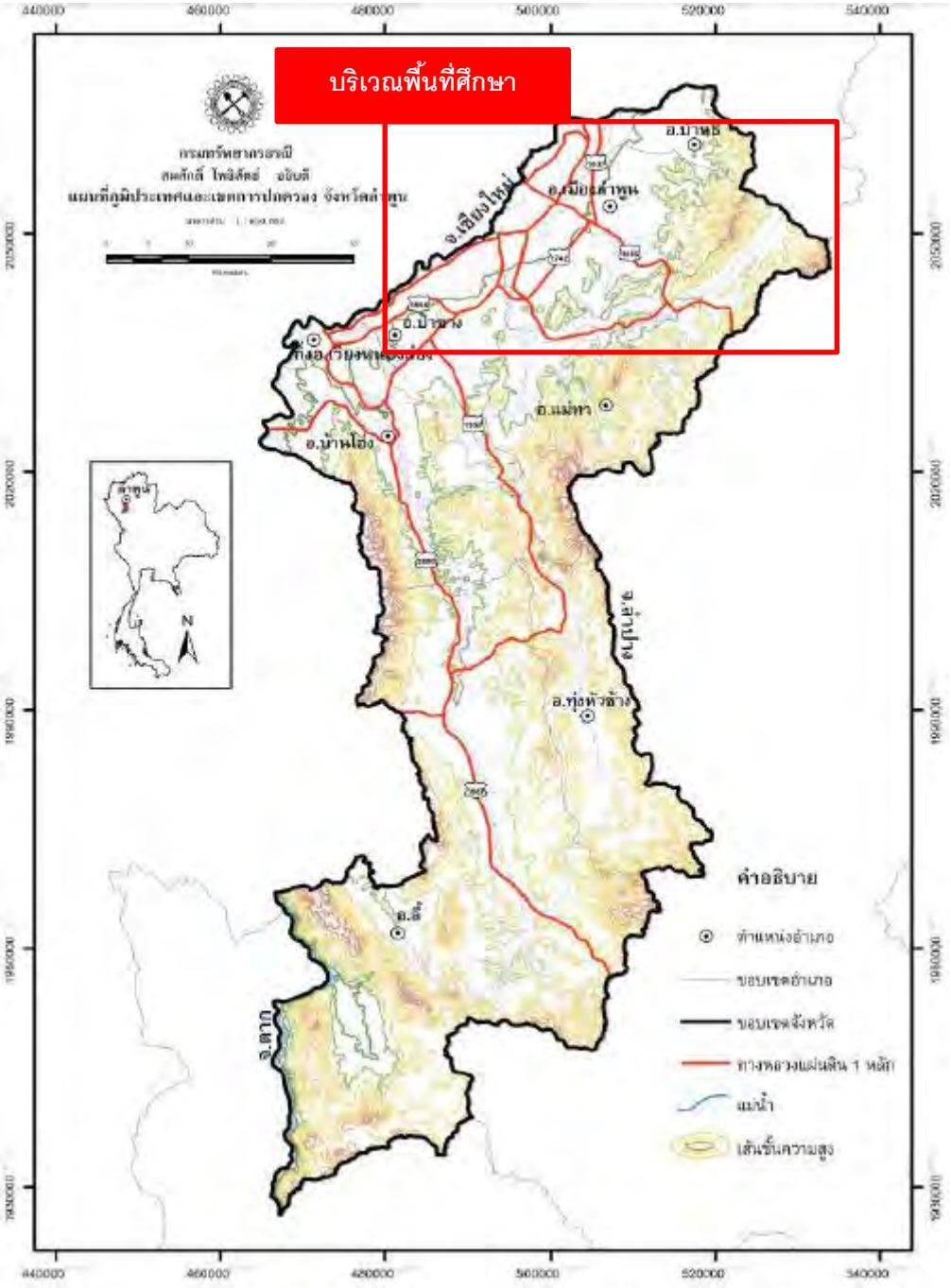
2. แผนที่ความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยที่ความลึก 30 เมตร ณ อำเภอเมือง จังหวัดลำพูน

บทที่ 2
ธรณีวิยาทั่วไป (General Geology)

2.1 ภูมิสัณฐาน (Morphology)

ลักษณะภูมิประเทศของจังหวัดลำพูน (ดังรูป 2.1) สภาพพื้นที่ราบเรียบถึงค่อนข้างราบเรียบ และอยู่สูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางประมาณ 200 - 400 เมตร ประกอบด้วยพื้นที่ราบลุ่มแม่น้ำปิง ในเขตอำเภอเมืองลำพูนและอำเภอป่าซาง พื้นที่ราบลุ่มแม่น้ำกวงในเขตอำเภอบ้านธิและอำเภอเมืองลำพูน พื้นที่ลุ่มแม่น้ำทาในเขตอำเภอแม่ทา อำเภอเมืองลำพูนและอำเภอป่าซาง และพื้นที่ราบลุ่มแม่น้ำลี้ในเขตอำเภอทุ่งหัวช้าง อำเภอลี้และอำเภอบ้านโฮ่ง

จังหวัดลำพูนสภาพพื้นที่ลูกคลื่นลอนลาดเล็กน้อยถึงเป็นลูกคลื่นลอนชัน และอยู่สูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง 400-800 เมตร ประกอบด้วยพื้นที่เนินตะกอนน้ำพารูปพัด ในเขตพื้นที่อำเภอบ้านธิ อำเภอเมืองลำพูนและอำเภอป่าซาง จังหวัดลำพูน พื้นที่ระหว่างเนินเขาของอำเภอแม่ทา อำเภอทุ่งหัวช้างและอำเภอลี้ จังหวัดลำพูนสภาพพื้นที่ลูกคลื่นลอนลาดถึงเป็นเนินเขาและอยู่สูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง 600 - 1,000 เมตร ประกอบด้วยพื้นที่ที่มีการเกลี่ยผิวแผ่นดินหรือที่ลาดเชิงเขา ในเขตพื้นที่อำเภอแม่ทา อำเภอบ้านโฮ่ง อำเภอทุ่งหัวช้างและอำเภอลี้ จังหวัดลำพูน พื้นที่ลาดเชิงซ้อน (Slope complex) เป็นพื้นที่ที่มีความลาดชันมากกว่า 35 เปอร์เซ็นต์และอยู่สูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางโดยเฉลี่ยประมาณ 800 - 1,300 เมตร ในเขตพื้นที่อำเภอแม่ทา อำเภอบ้านโฮ่ง อำเภอทุ่งหัวช้างและอำเภอลี้ จังหวัดลำพูน ข้อมูลจาก: สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์



รูปที่ 2.1 แผนที่แสดงลักษณะภูมิศาสตร์และขอบเขตการปกครองจังหวัดลำพูน

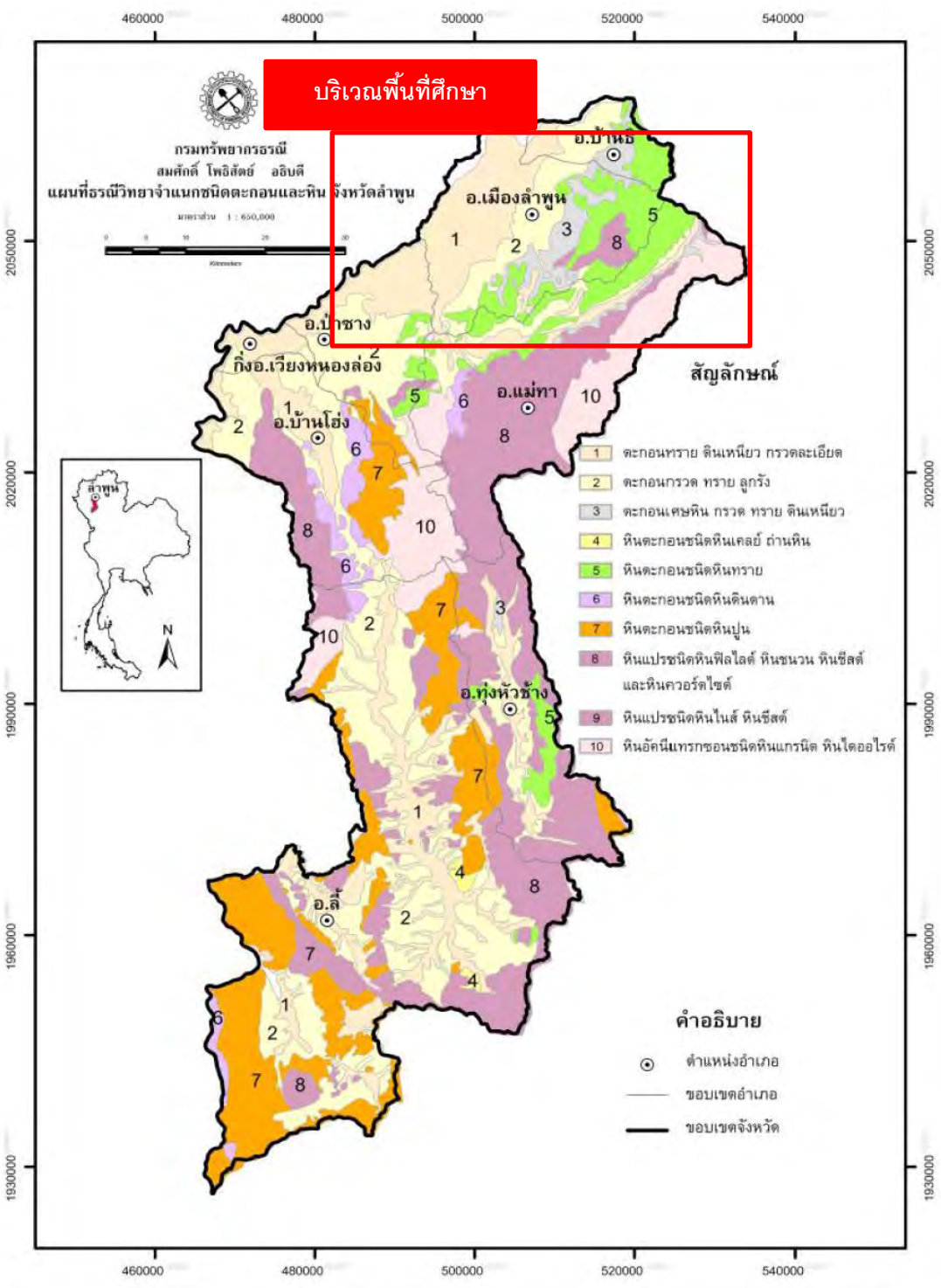
[กรมทรัพยากรธรณี, 2549]

2.2 **ลักษณะทางธรณีวิทยา** (Geology Setting)

พื้นที่จังหวัดลำพูนเป็นส่วนหนึ่งของแอ่งเชียงใหม่-ลำพูน ลักษณะเป็นแอ่งระหว่างภูเขาโดยมีรูปร่างยาวรีในแนวเกือบ เหนือ - ใต้ จัดเป็นแอ่งสะสมตะกอนทางน้ำเนื่องจากเป็นที่รับน้ำและตะกอนจากแม่น้ำปิงและทางน้ำจากภูเขาที่ล้อมรอบแอ่ง นอกจากนั้นยังมีแอ่งลี้ซึ่งเป็นแอ่งขนาดเล็กอยู่ทางตอนใต้ของจังหวัด ลักษณะทางธรณีวิทยาประกอบด้วยชั้นหิน และตะกอนดินทรายหลากหลายชนิด จำแนกเป็น 10 หน่วย

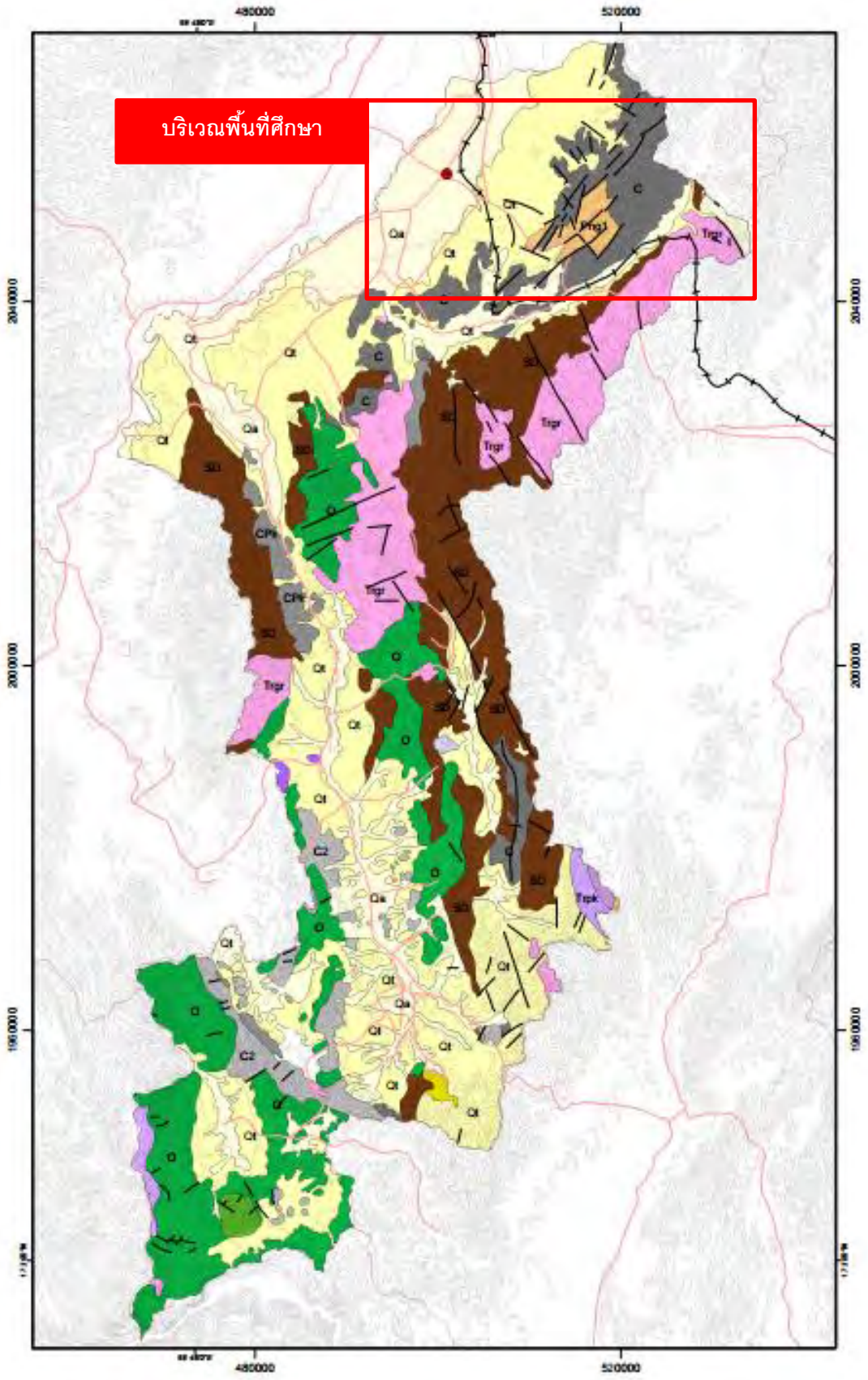
โดยในพื้นที่ศึกษาคือในบริเวณอำเภอเมืองจังหวัดลำพูนนั้นฝั่งทิศตะวันตกจะประกอบไปด้วยตะกอนทราย, ดินเหนียว และกรวดละเอียด ส่วนบริเวณกลางตัวเมืองตั้งอยู่บนตะกอนกรวดทราย ลูกรัง ในฝั่งทิศตะวันออกของบริเวณตัวเมืองจะประกอบไปด้วยตะกอนเศษหิน กรวด ทราย ดินเหนียว หินทราย และแปรชนิดฟิลไลด์ หินชนวน หินชีสต์และหินควอร์ตไซต์ (ดังรูป 2.2)

และด้านฝั่งทิศตะวันตกของพื้นที่ศึกษาจะประกอบไปด้วยตะกอนธารน้ำพา(Qa) ส่วนบริเวณตอนกลางของพื้นที่จะประกอบไปด้วยตะกอนตะพักน้ำ(Qt) และส่วนฝั่งทิศตะวันออกจะประกอบไปด้วยหินทราย หินดินดาน หินกรวดมน (ดังรูป 2.3)



รูปที่ 2.2 แสดงแผนที่ธรณีวิทยาจำแนกชนิดตะกอนและดินจังหวัดลำพูน

[กรมทรัพยากรธรณี, 2549]


บริเวณพื้นที่ศึกษา
480000
520000
2040000
2000000
1960000

รูปที่ 2.3 แสดงแผนที่ธรณีวิทยาจังหวัดลำพูน [กรมทรัพยากรธรณี, 2550]

2.3 ข้อมูลหลุมเจาะ

จากข้อมูลหลุมเจาะของกรมโยธาธิการและผังเมืองได้ข้อมูลหลุมเจาะมาทั้งหมด 8 หลุม (ภาคผนวก) โดยบริเวณในตัวเมือง ตำบลในเมือง อำเภอเมืองจังหวัดลำพูน 3 หลุม และอีก 5 หลุมที่บริเวณวัดหนองช้างคืน ตำบลเหมืองง่า อำเภอเมือง จังหวัดลำพูน ซึ่งทำให้เราได้ลำดับชั้นดินในระดับตื้นคร่าวๆดังนี้

ในบริเวณตัวเมืองจะตั้งอยู่ทางตอนกลางฝั่งซ้ายของพื้นที่ศึกษามีหลุมเจาะ 3 หลุม ซึ่งแต่ละหลุมจะลึกประมาณ 16 เมตร สามารถบอกได้ว่าส่วนใหญ่จะประกอบไปด้วยดินทรายปนดินโคลนซึ่งมีความแน่นของดินในระดับปานกลาง ตลอดช่วง 10 เมตรแรกและจาก 10 เมตรถึงประมาณ 16 เมตรจะมีความแน่นของดินที่มากขึ้นและไม่มีดินโคลนปน

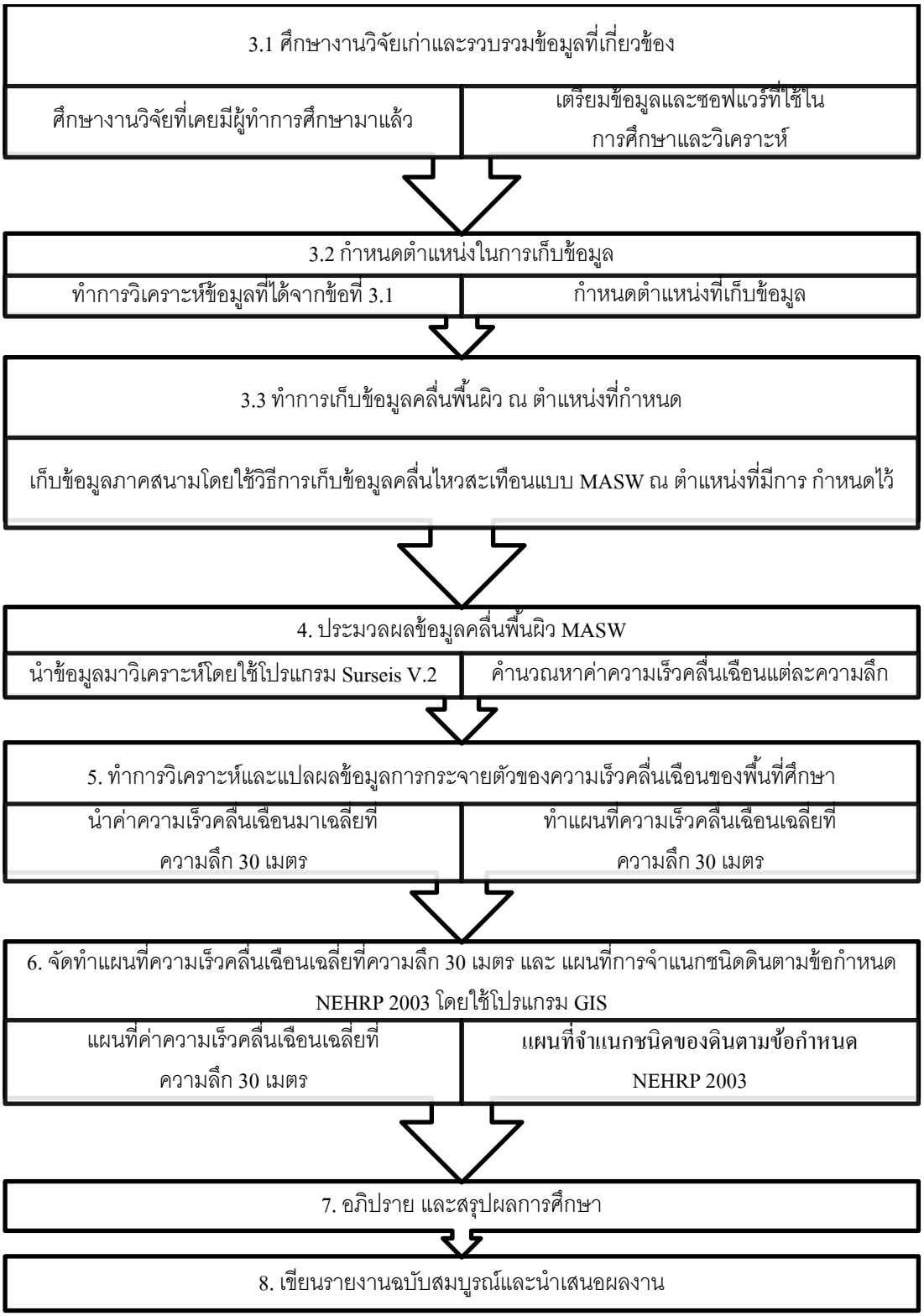
ส่วนในบริเวณวัดหนองช้างคืน ตั้งอยู่บริเวณทางตอนบนของพื้นที่ศึกษา มีหลุมเจาะทั้งหมด 5 หลุม ซึ่งแต่ละหลุมมีความลึกประมาณ 6.5 เมตร จะสามารถบอกได้ว่า จากความลึก 0-5 เมตร ส่วนใหญ่จะประกอบไปด้วยดินโคลนที่มีความแน่นที่ต่ำหลักจากความลึก 5 เมตรจนไปถึง 6.5 เมตร ส่วนใหญ่จะประกอบด้วยดินทรายและมีความแน่นของดินที่สูง

บทที่ 3

ระเบียบวิธีวิจัย (Methodology)

แผนผังขั้นตอนงานวิจัย

การศึกษาประกอบด้วย 8 ขั้นตอนหลักดังนี้



3.1 ศึกษางานวิจัยเก่าและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

1. ศึกษางานวิจัยที่เคยมีผู้ทำการศึกษามาแล้วและรวบรวมข้อมูลในพื้นที่ ได้แก่ ข้อมูลแผนที่ภูมิประเทศ แผนที่ธรณีวิทยา แผนที่ภาพถ่ายอากาศ ข้อมูลหลุมเจาะต่างๆในพื้นที่ศึกษา รวมทั้งวิธีการใช้อุปกรณ์ในการเก็บข้อมูลโดยวิธีแบบ MASW
2. เตรียมข้อมูลและซอฟแวร์ที่ใช้ในการศึกษาและวิเคราะห์ ประกอบด้วย ซอฟแวร์สำหรับประมวลผล ได้แก่ SurfSeis v.2, ArcGIS, Google Earth

3.2 จัดเตรียมอุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ในการออกภาคสนาม และกำหนดพิกัดที่จะทำการเก็บข้อมูล

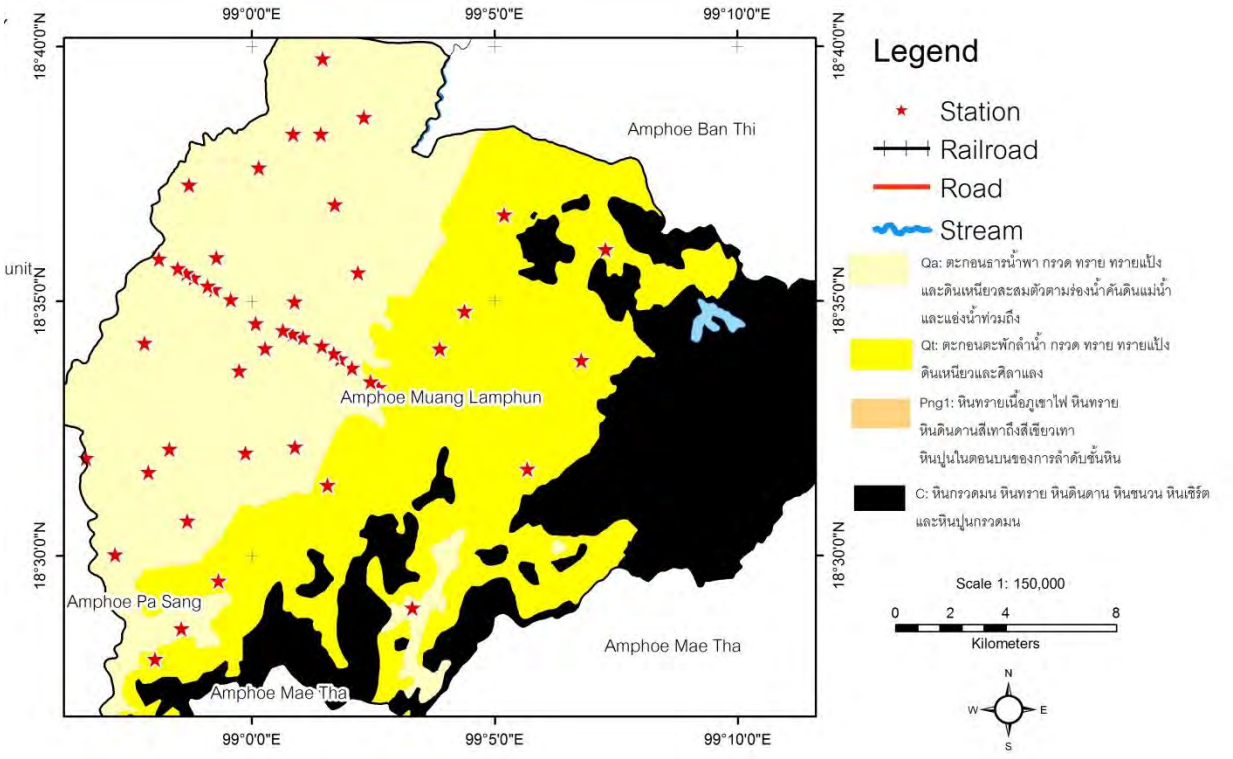
3.2.1 เครื่องมือที่ใช้ในการสำรวจ (ดังในรูป 3.1)

1. เครื่องตรวจวัดสัญญาณคลื่นไหวสะเทือนแบบ 24 ช่องสัญญาณ
2. สายเคเบิ้ลเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์
3. เครื่องกำเนิดคลื่นไหวสะเทือน ค้อนปอนด์ขนาด 12 ปอนด์เป็นตัวกำเนิดคลื่น
4. สายเคเบิ้ลเชื่อมต่อตัวรับสัญญาณ
5. แผ่นโลหะ (Metal plate)
6. สายเชื่อมต่อแบตเตอรี่
7. คอมพิวเตอร์โน๊ตบุ๊ค
8. เครื่อง GPS เพื่อกำหนดตำแหน่งในการเก็บข้อมูล
9. ตัวรับสัญญาณคลื่นไหวสะเทือนจำนวน 24 ตัว มีความถี่ธรรมชาติเท่า 4.5 Hz
10. ระบบสายพานรับสัญญาณ
11. แบตเตอร์รี่

รูปที่ 3.1 แสดงเครื่องมือที่ใช้ในการสำรวจ [ปรับแก้รูปจาก Saralee, 2011]

3.2.2 กำหนดพิกัดที่จะทำการเก็บข้อมูล

จะเป็นจำแนกตะกอนและหินออกเป็นกลุ่มและทำการกำหนดพิกัดให้อยู่บนตะกอนเท่านั้น โดยในพื้นที่ศึกษาจะแบ่งตะกอนได้ออกเป็นสองส่วน คือ ตะกอนธารน้ำพา(Qa) และตะกอนตะพักน้ำ(Qt) (ดังรูป 3.2)



รูปที่ 3.2 แสดงแผนที่ธรณีวิทยาและจุดที่ทำการเก็บข้อมูล MASW

3.3 ทำการพัฒนาสายพานรับสัญญาณคลื่นไหวสะเทือนแบบ MASW

ในงานวิจัยได้มีการจัดสร้างสายพานรับสัญญาณคลื่นไหวสะเทือนขึ้นเพื่ออำนวยความสะดวกในการเก็บข้อมูลในบริเวณพื้นที่ถนน ซึ่งสายพานที่สร้างขึ้นจะช่วยให้การเก็บข้อมูลทำได้รวดเร็วเพราะไม่จำเป็นต้องปักตัวรับสัญญาณลงบนพื้นดินเหมือนกับการเก็บข้อมูลทั่วไป โดยรายละเอียดของตัวสายพานรับสัญญาณมีดังนี้ (รูปที่ 3.3)

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำสายพายเป็นสายดับเพลงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 นิ้ว ทำด้วยวัสดุพลาสติกอย่างหนา บริเวณตำแหน่งตัวรับสัญญาณจะรองรับด้วยแท่นเหล็กน้ำหนัก 500 กรัม เพื่อป้องกันการเสียดสีของสายพานกับพื้นถนนและภายในประกอบด้วยโครงเหล็กพร้อมสกรูสำหรับตัวรับสัญญาณ ระยะห่างระหว่างตัวรับสัญญาณแต่ละตัวเท่ากับ 2 เมตร สายพานจะประกอบด้วยตัวรับสัญญาณทั้งหมด 24 ตัว ทำให้ได้ความยาวทั้งหมดเท่ากับ 46 เมตร ซึ่งเพียงพอที่จะสามารถเก็บข้อมูลได้ถึงระดับลึก 30 เมตร รูปสายพานและส่วนประกอบแสดงไว้ดังนี้

การเชื่อมต่อสายพานรับสัญญาณกับรถกระบะโดยใช้โซ่ยึดติดด้านหลัง	การเชื่อมต่อตัวรับสัญญาณเข้ากับสายเคเบิล

เหล็กรองพื้นสายรับสัญญาณเพื่อป้องกันการครูดของสายพานกับพื้นถนน	แสดงความยาวสายพานทั้งหมด โดยที่ตัวรับสัญญาณทั้งหมด 24 ตัว วางห่างกันตัวละ 2 เมตร

รูปที่ 3.3 การประกอบระบบสายพานรับสัญญาณ

3.4 ทำการทดสอบเปรียบเทียบข้อมูลคลื่นพื้นผิวจากสายพานกับการเก็บข้อมูลปกติ

การทดสอบสายพานรับสัญญาณมีเป้าหมายเพื่อตรวจสอบคุณภาพของคลื่นไหวสะเทือนที่ได้ว่ามีคุณภาพอย่างไรเมื่อเทียบกับการเก็บข้อมูลโดยที่ตัวรับสัญญาณปักอยู่บนดินซึ่งเป็นการเก็บข้อมูลโดยทั่วไป การทดสอบดำเนินการบริเวณสนามหน้าพระบรมรูปสองรัชการ (รูปที่ 3.4) โดยที่กำหนดการทดสอบออกเป็น 2 กรณี โดยการวางตัวรับสัญญาณปักอยู่บนดินและวางอยู่บนสายพาน ตัวแปรในการเก็บข้อมูลจะกำหนดให้เหมือนกันทั้งสองกรณี รายละเอียดของตัวแปรแสดงไว้ในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ตัวแปรในการทดสอบคุณภาพของสายพาน

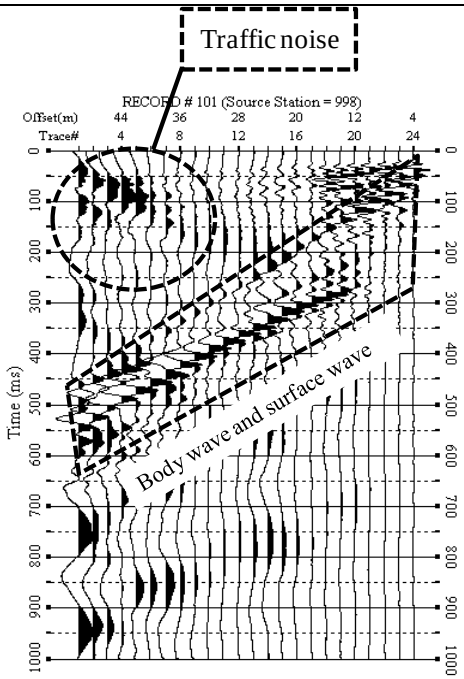
จำนวนตัวรับสัญญาณ	24 ตัว
ระยะห่างของตัวรับสัญญาณแต่ละตัว	2 เมตร
ระยะเวลาในการบันทึกข้อมูล	1 วินาที
ตัวกรอง (Filter)	ไม่ใช้
Sampling rate	0.5 มิลลิวินาที
ระยะห่างจากจุดกำเนิดคลื่นถึงตัวรับสัญญาณตัวแรก	5 เมตร
แหล่งกำเนิดคลื่น	ค้อนปอนด์ขนาด 12 ปอนด์

จากรูปที่ 9 แสดงข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนจากทดสอบ หากพิจารณาจากข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนที่ได้จะเห็นข้อมูลจากสายพานจะมีคลื่นรบกวนจากสิ่งแวดล้อมมากกว่าแบบปักบนดิน แต่ข้อมูลคลื่นพื้นผิวและคลื่นไหวสะเทือนมีคุณภาพให้เคียงกัน เมื่อนำข้อมูลทั้งสองมาแสดงในรูป Dispersion curve พบว่า Dispersion curve จากข้อมูลปักบนดินมีคุณภาพดีกว่า ซึ่งสังเกตได้จากรูปร่างของกราฟที่ชัดเจน อย่างไรก็ตาม Dispersion curve ที่ได้จากข้อมูลสายพานก็มีคุณภาพดีเพียงพอในการนำไปคำนวณหาค่าความเร็วคลื่นเฉือน ช่วงความถี่ที่ได้ข้อมูลทั้งสองอยู่ในช่วงใกล้เคียงกันคือประมาณ 2.5 ถึง 15 Hz อย่างไรก็ตามข้อมูลที่ได้จากการปักบนดินจะมีความถี่ที่ต่ำกว่าเล็กน้อย จาก Dispersion curve ที่ได้นำมาคำนวณหาความเร็วคลื่นเฉือนของดินจะพบว่าค่าของความเร็วคลื่นเฉือนที่ได้มีค่าใกล้เคียงกันมาก แต่ความลึกที่ได้จากข้อมูลที่ปักบนดินมีความลึกมากกว่าเล็กน้อยซึ่งเป็นผลจากความถี่ที่ต่ำกว่า อย่างไรก็ตามข้อมูลทั้งสองให้ค่าความเร็วคลื่นเฉือนที่ระดับความลึกมากกว่า 30 เมตร ซึ่งเพียงพอในการนำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยและจัดกลุ่มชนิดของดินตามข้อกำหนดของ NEHRP

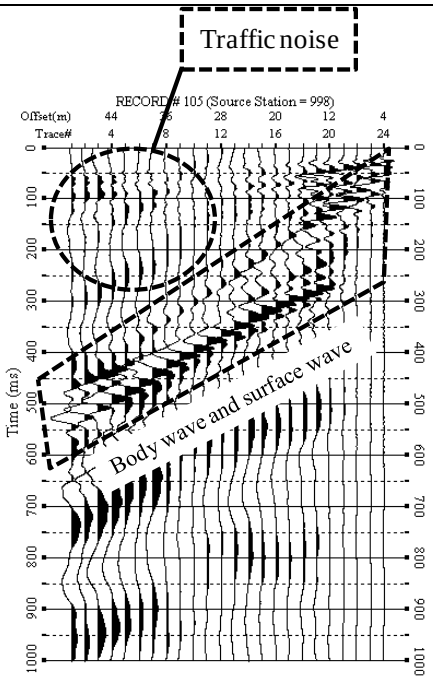
จากการทดสอบระบบสายพานครั้งนี้สรุปได้ว่าข้อมูลที่ได้จากสายพานมีคุณภาพที่ดีเพียงพอในการเก็บข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนแบบ MASW และเหมาะสำหรับการเก็บข้อมูลที่ต้องอาศัยความรวดเร็วเช่นในบริเวณในเมืองและแหล่งที่อยู่อาศัย

สายพานรับสัญญาณกรณีตัวรับสัญญาณปักอยู่บนดิน	สายพานรับสัญญาณกรณีตัวรับสัญญาณวางอยู่บนสายพาน
ตัวรับสัญญาณปักอยู่บนดิน	ตัวรับสัญญาณวางอยู่บนสายพาน

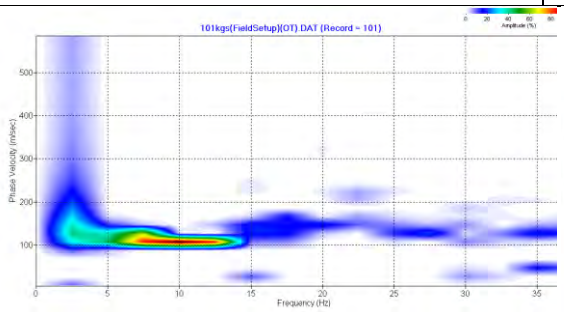
รูปที่ 3.4 แสดงสายพานรับสัญญาณระหว่างการทดสอบ



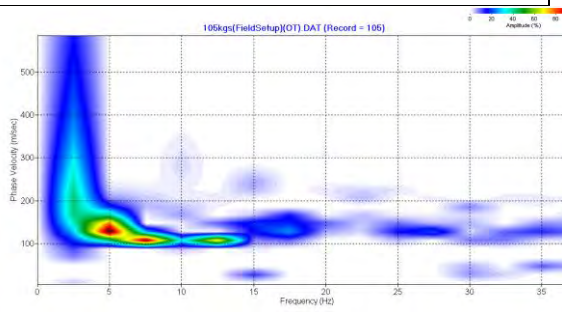
1) ข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนกรณีตัวรับสัญญาณวางอยู่บนสายพาน



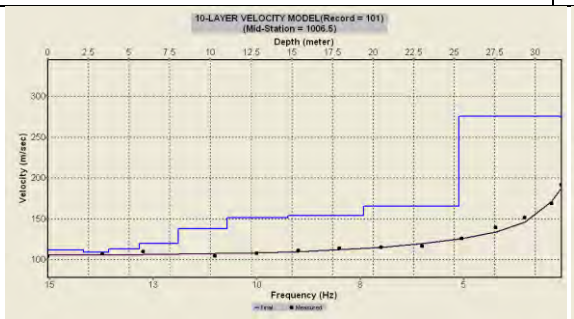
2) ข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนกรณีตัวรับสัญญาณวางอยู่บนพื้นดิน



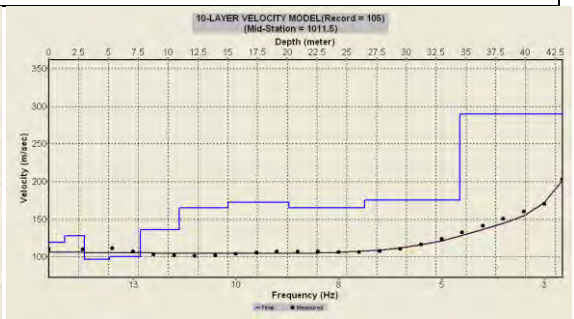
3) Dispersion curve จากข้อมูลกรณีตัวรับสัญญาณวางอยู่บนสายพาน



4) Dispersion curve จากข้อมูลกรณีตัวรับสัญญาณวางอยู่บนพื้นดิน



5) ความเร็วคลื่นเฉือนจากข้อมูลกรณีตัวรับสัญญาณวางอยู่บนสายพาน

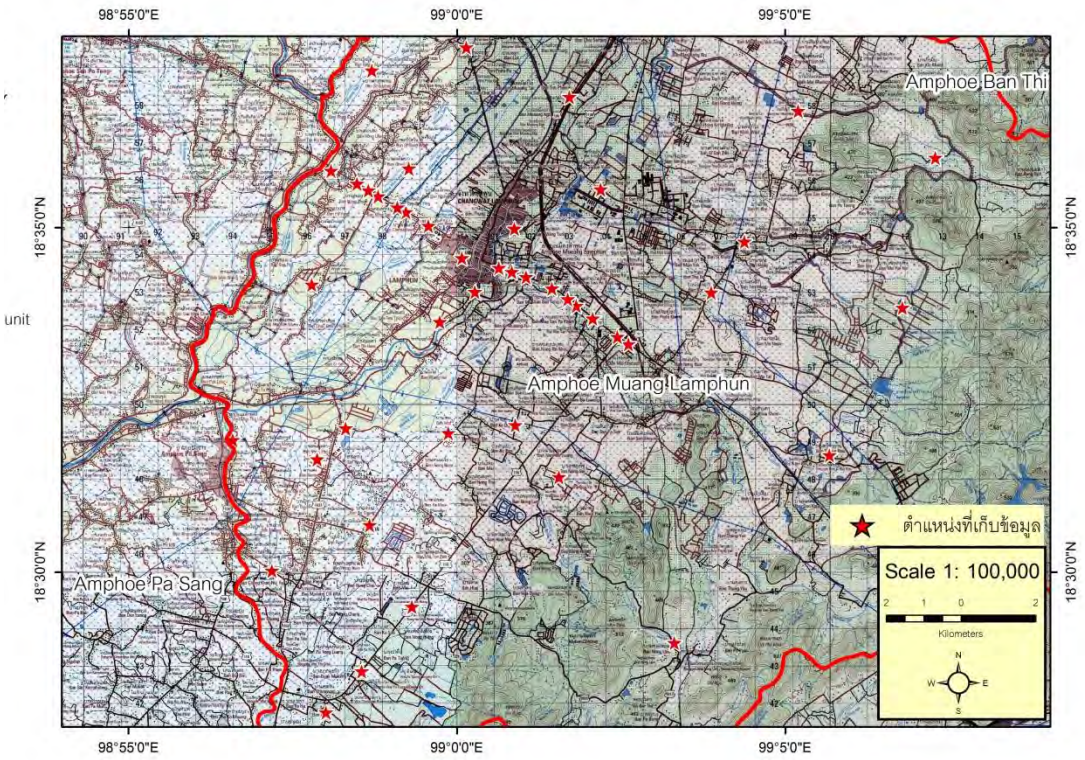


6) ความเร็วคลื่นเฉือนจากข้อมูลกรณีตัวรับสัญญาณวางอยู่บนพื้นดิน

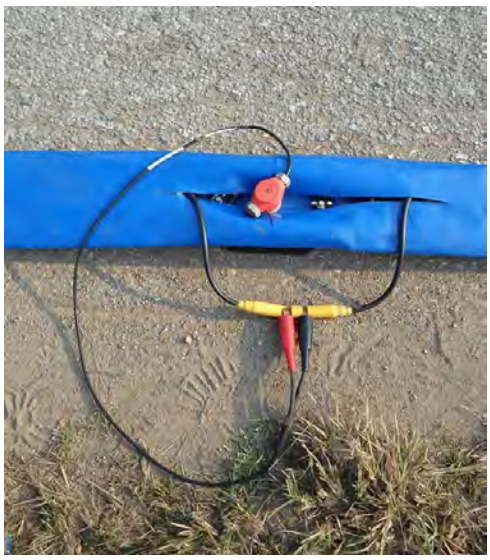
รูปที่ 3.5 แสดงข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนกรณีตัวรับสัญญาณวางอยู่บนสายพานและวางอยู่บนพื้นดิน

3.5 ทำการออกภาคสนามเก็บข้อมูล ในระหว่างวันที่ 20-24 มกราคม 2558

โดยทำการเก็บข้อมูลทั้งหมด 48 จุด (ดังรูปที่ 3.6) และจะเก็บหลักการเก็บข้อมูลเป็นสองแบบคือ 1. ทำการเก็บข้อมูลแบบกระจายให้ทั่วทั้งอำเภอเมือง จังหวัดลำพูน 2. ทำการเก็บข้อมูลให้ตัดผ่านบริเวณตัวเมืองในแนวทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ เพื่อให้ข้อมูลที่ละเอียดและสามารถบอกแนวโน้มของข้อมูล โดยแต่ละจุดศึกษาจะห่างกันประมาณ 200 เมตร



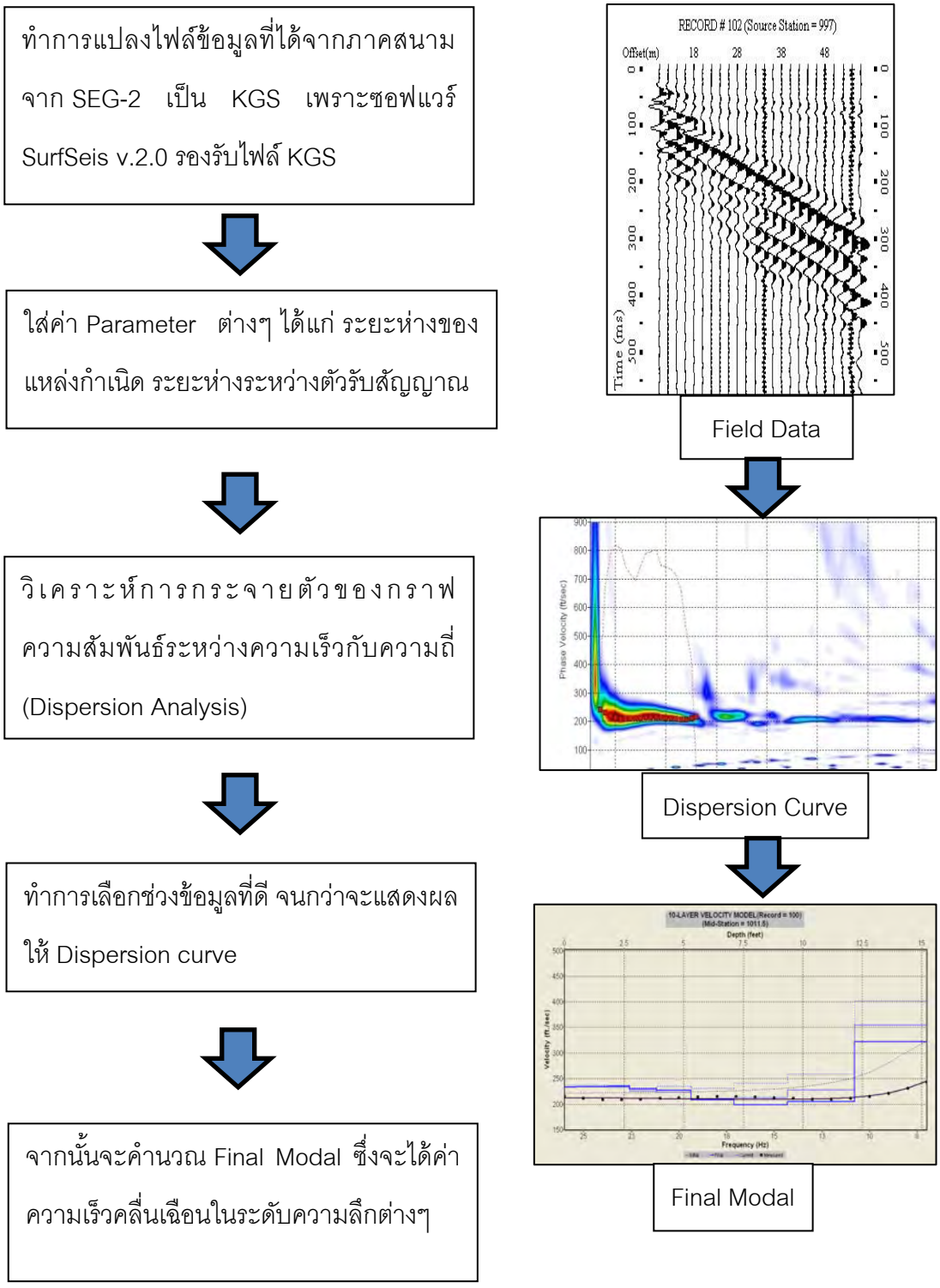
รูปที่ 3.6 แสดงพิกัดที่ทำการเก็บข้อมูล



รูปที่ 3.7 แสดงการเก็บข้อมูลในภาคสนาม

3.6 ประมวลผลข้อมูลคลื่นพื้นผิว MASW

ใช้ซอฟแวร์ SurfSeis v.2.0 สำหรับการประมวลข้อมูลมีขั้นตอนการประมวลผลดังรูป 3.8



รูปที่ 3.8 แผนผังแสดงขั้นตอนการประมวลผลข้อมูลโดยใช้โปรแกรม SurfSeis V.2.0

บทที่ 4
การวิเคราะห์และแปลผลข้อมูล
(Data analysis and Interpretation)

4.1 การคำนวณค่าความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยจนถึงระดับความลึก สามสิบเมตร

จากขั้นตอนการประมวลผล ทำให้ได้ค่าความเร็วคลื่นเฉือนในระดับความลึกต่างๆ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะทำการเฉลี่ยถึงระดับความลึก 30 เมตร ซึ่งสมการที่ใช้คำนวณเฉลี่ยดังสมการที่ (1)

$$V_{S(30)} = \frac{\sum_{i=1}^{n} d_i}{\sum_{i=1}^{n} d_i / V_{si}} \qquad \text{สมการที่ (1)}$$

V_S (30): ความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยของดินที่อยู่ระหว่างช่วงพื้นผิวจนถึงความลึก 30 เมตร

d_i : ความหนาของดินแต่ละชั้นที่อยู่ระหว่างช่วงพื้นผิวจนถึงความลึก 30 เมตร

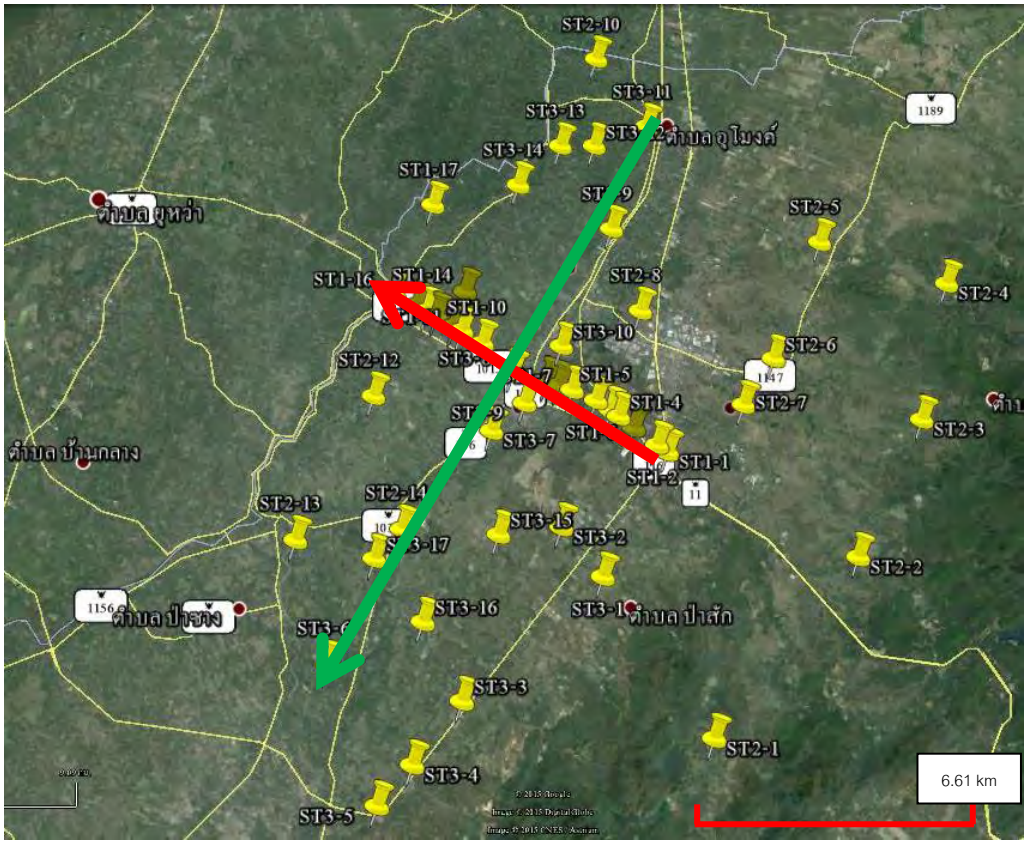
V_{si} : ความเร็วคลื่นเฉือนของดินแต่ละชั้น ในหน่วยเมตรต่อวินาที

สาเหตุที่เลือกความลึกที่ 30 เมตร เนื่องจากที่ระดับความลึก 30 เมตรเป็นระดับความลึกที่มีโครงสร้างรากฐานของสิ่งก่อสร้างทั่วๆไปอยู่ ซึ่งที่ระดับความลึกนี้คลื่นแผ่นดินไหวจะส่งผลกระทบต่อโครงสร้างรากฐานเหล่านี้ และทำให้เกิดความเสียหายขึ้นต่อโครงสร้างของสิ่งก่อสร้างที่อยู่เหนือผิวดิน

4.2 ภาพตัดขวางการกระจายตัวของความเร็วคลื่นเฉือนของดิน

เรานำข้อมูลมาศึกษาเป็นภาพตัดขวางได้สองแนว ได้แก่ เส้นทางการสำรวจในแนวตะวันออกเฉียงใต้ไปตะวันตกเฉียงทิศเหนือ และเส้นทางการสำรวจในแนวทิศตะวันออกเฉียงเหนือไปทิศตะวันตกเฉียงใต้ (ดังรูปที่ 4.1)

โดยเส้นทางการสำรวจในแนวตะวันตกเฉียงทิศเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ ประกอบด้วยจุดศึกษาที่ ST1-1, ST1-2, ST1-3, ST1-4, ST1-5, ST1-6, ST1-7, ST1-8, ST1-9, ST1-10, ST1-11, ST1-12, ST1-13, ST1-14, ST1-15, ST1-16 ซึ่งจะใช้เส้นสีแดงในการลากทิศทาง ส่วนเส้นทางการสำรวจในแนวทิศตะวันออกเฉียงเหนือ - ทิศตะวันตกเฉียงใต้ ประกอบด้วยจุดศึกษาที่ ST3-11, ST2-9, ST3-10, ST1-9, ST3-9, ST3-7, ST2-14, ST3-17, ST3-6 ซึ่งจะใช้เส้นสีเขียวในการลากทิศทาง (ดังรูป 4.1)



รูปที่ 4.1 แสดงทิศทางการนำข้อมูลมาทำภาพตัดขวาง 2 แนว

เมื่อนำค่าความเร็วมาก็ทำการเฉลี่ยโดยใช้สมการที่ (1) แล้วพบว่า เส้นที่ลากด้วยสีแดงผลลัพธ์ได้ดังนี้ (ตารางที่ 4.1) และเส้นที่ลากด้วยสีเขียวผลลัพธ์ได้ดังนี้ (ตารางที่ 4.2)

ตารางที่ 4.1 แสดงการแปลผลข้อมูลเรียงตามแนวทิศตะวันออกเฉียงเหนือไปทิศตะวันตกเฉียงใต้

Station	ระยะการกระจัดจากจุดศึกษาที่ 3-11 (เมตร)	ค่าความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยที่ระดับความลึก 30 เมตร (เมตร)
3-11	0	330.553
2-9	3335	317.706
3-10	7150	260.264
1-9	8273	369.987
3-9	9113	303.895
3-7	10244	259.267
2-14	13946	292.534
3-17	15054	289.646
3-6	18237	540.394

ตารางที่ 4.2 แสดงการแปลผลข้อมูลเรียงตามแนวทิศตะวันออกเฉียงใต้ไปทิศตะวันตกเฉียงเหนือ

Station	ระยะการกระจัดจากจุดศึกษาที่ 1-1 (เมตร)	ค่าความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยที่ระดับความลึก 30 เมตร (เมตร)
1-1	0	329.458
1-2	355	470.921
1-3	1180	348.165
1-4	1734	381.235
1-5	2024	413.177
1-6	2537	362.052
1-7	3278	307.55
1-8	3670	294.165
1-9	4027	369.987
1-10	6227	338.741
1-11	6929	245.591
1-12	7196	306.645
1-13	7794	271.483
1-14	8102	270.109
1-15	8448	240.703
1-16	9223	216.499

4.3 การจำแนกประเภทของพื้นที่จากค่าความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยจนถึงระดับความลึก 30 เมตร

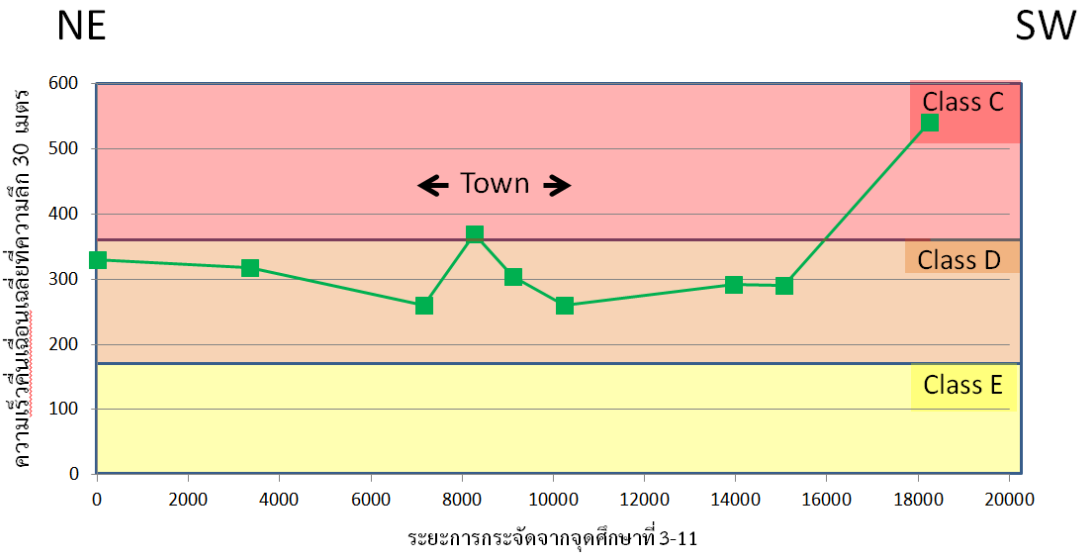
จากข้อมูลในตารางที่ 4.1 และตารางที่ 4.2 เมื่อทำการพล๊อตข้อมูลลงในกราฟระหว่างค่าความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยที่ระดับความลึก 30 เมตร ในแนวแกน Y กับ ระยะการกระจัดจากจุดศึกษาที่ 3-11 (ตามเส้นทางในแนวทิศตะวันออกเฉียงเหนือไปทิศตะวันตกเฉียงใต้) และ ระยะการกระจัดจากจุดศึกษาที่ 1-1 (แนวทิศตะวันออกเฉียงใต้ไปทิศตะวันตกเฉียงเหนือ) ในแนวแกน X

แล้วทำการวิเคราะห์ค่าความเร็วคลื่นเฉือนในดินแต่ละกลุ่มที่พบในพื้นที่ศึกษา โดยเทียบสัมพันธ์กับการจำแนกประเภทของดินตามข้อกำหนดของ National Earthquake Hazards Reduction Program 2003 (NEHRP 2003) โดยอาศัยค่าของความเร็วคลื่นเฉือนของดินที่ทำการเฉลี่ยตั้งแต่พื้นผิวของดิน จนถึงช่วงระดับความลึก 30 เมตร ($V_{S\ (30)}$)ซึ่งเราสามารถจำแนกได้เป็น Class A, B, C, D และ E ตามช่วงของความเร็วที่แตกต่างกัน (ดังตารางที่ 4.3)

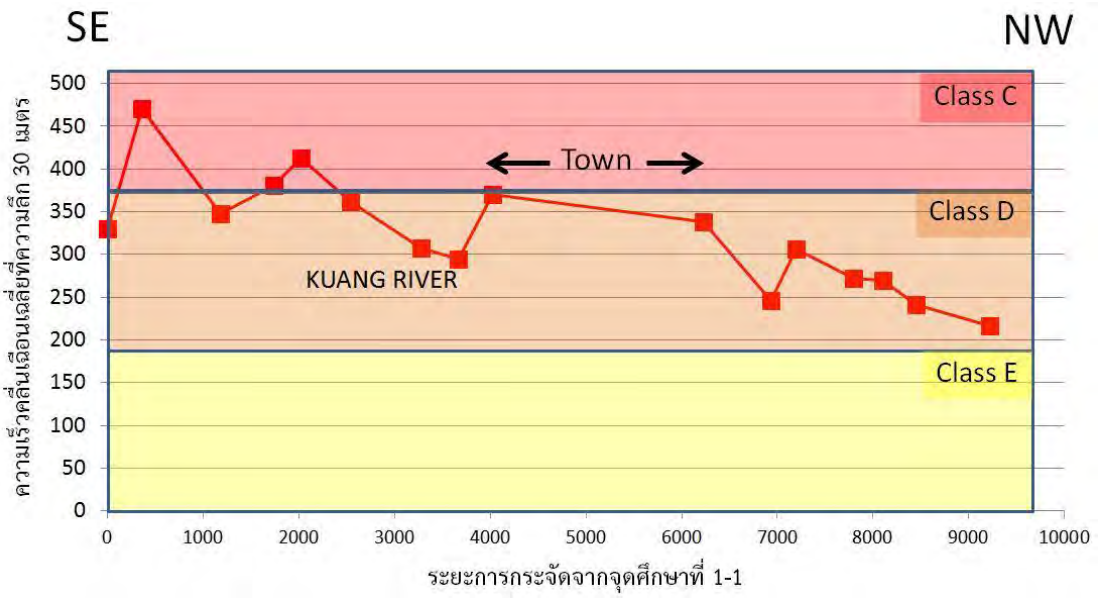
สุดท้ายเราจะได้กราฟที่แบ่งชนิดของดินตามข้อกำหนดของ NEHRP 2003 ออกมาเป็น 2 กราฟคือ กราฟที่แสดงผลข้อมูลจากจุดศึกษาที่เรียงตามในแนวทิศตะวันออกเฉียงเหนือไปทิศตะวันตกเฉียงใต้ (ดังรูปที่ 4.2) และกราฟที่แสดงผลข้อมูลจากจุดศึกษาที่เรียงตามในแนวทิศตะวันออกเฉียงใต้ไปทิศตะวันตกเฉียงเหนือ (ดังรูปที่ 4.3)

ตารางที่ 4.3 แสดงการจำแนกชนิดของดินตามข้อกำหนดของ 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 soil; 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 $50\ kPa \leq S \leq 100\ kPa$	$180 < V_S \leq 360$
E	Having thickness lower than 3 meters and PI > 20, $W \geq 40\%$ and $S_u < 25$ kPa soft clay	$V_S < 180$
F	Needs specific calculations	



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงค่าความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยที่ระดับความลึก 30 เมตร กับ ระยะการกระจัดจากจุดศึกษาที่ 3-11 และแสดงชนิดของดินตามข้อกำหนดของ NEHRP 2003



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงค่าความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยที่ระดับความลึก 30 เมตร กับ ระยะการกระจัดจากจุดศึกษาที่ 1-1 และแสดงชนิดของดินตามข้อกำหนดของ NEHRP 2003

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ
(Conclusion and Recommendation)

5.1 สรุปผลการวิจัย

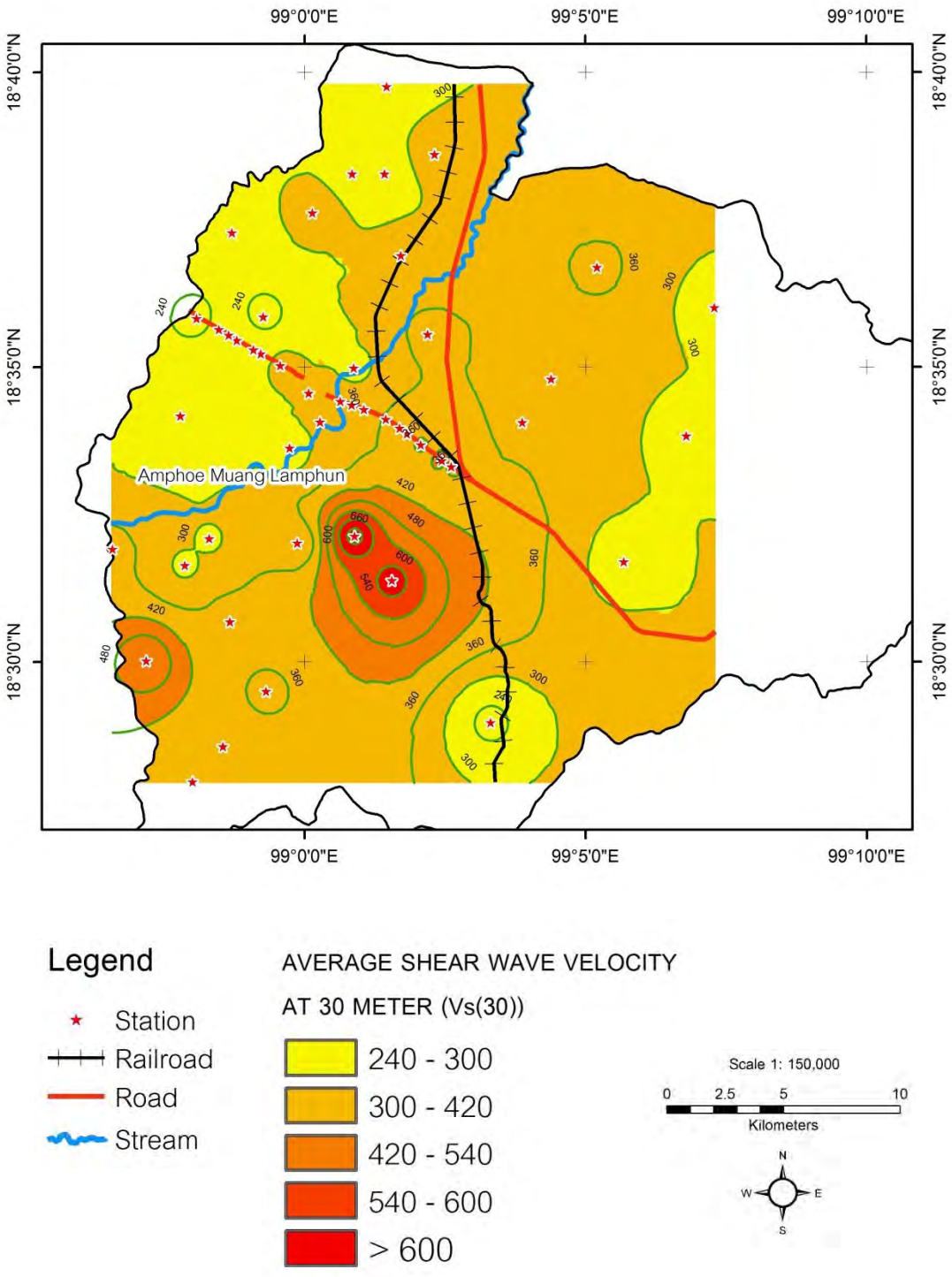
จากการศึกษาและการประเมินพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดการขยายสัญญาณแผ่นดินไหวในบริเวณพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดลำพูน โดยอาศัยวิธีการเก็บข้อมูลค่าความเร็วคลื่นเฉือนของดินด้วยวิธี MASW (Multi-channel Analysis of Surface Wave) (Park et al., 1999) เป็นวิธีการที่ใช้งบประมาณและระยะเวลาที่น้อยกว่าวิธีอื่นๆ ในงานวิจัยนี้เลือกทำการเก็บข้อมูลค่าความเร็วคลื่นเฉือนของดินตามแนวเส้นทางหลักที่ตัดผ่านเขตชุมชนในพื้นที่ศึกษา ซึ่งแนวเส้นทางหลักที่เราทำการเก็บข้อมูลนี้คือเส้นทางในทิศตะวันออกเฉียงใต้-ตะวันตกเฉียงเหนือและทำการเก็บข้อมูลแบบกระจายทั่วทั้งพื้นที่ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ครอบคลุม การเก็บข้อมูลเพื่อมาคำนวณให้ค่าความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยที่ความลึก 30 เมตร และแสดงผลออกมาเป็นแผนที่ (ดังรูปที่ 5.1) แล้วจากนั้นจะนำค่าความเร็วคลื่นเฉือนที่ความลึก 30 เมตร มาจำแนกตามข้อกำหนดของ National Earthquake Hazards Reduction Program 2003 (NEHRP 2003) ซึ่งจะแสดงผลออกมาเป็นแผนที่จำแนกชนิดของดินตามข้อกำหนด NEHRP 2003 (ดังรูปที่ 5.2)

จากแผนที่ความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยที่ความลึก 30 เมตร (รูปที่ 5.1) จะสามารถบอกได้ว่าบริเวณตอนกลางของพื้นที่ศึกษาจะมีค่าความคลื่นเฉือนเฉลี่ยที่สูงและเมื่อออกไปทางทิศตะวันตกจะมีความเร็วที่ต่ำลง คาดอาจเพราะเกิดการบริเวณฝั่งทิศตะวันตกของพื้นที่จะประกอบไปด้วยตะกอนธารน้ำพา(Qa) (ดังรูป 2.3) ถึงอาจส่งผลให้ชั้นดินมีค่าความเร็วคลื่นเฉือนที่ต่ำ ส่วนเมื่อออกไปทางฝั่งทิศตะวันออกก็มีความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยที่ต่ำลง คาดว่าอาจเพราะตะกอนฝั่งทางทิศตะวันออกส่วนใหญ่ประกอบไปด้วย ตะกอนเศษหิน กรวด ทราย (ดังรูป 2.2)

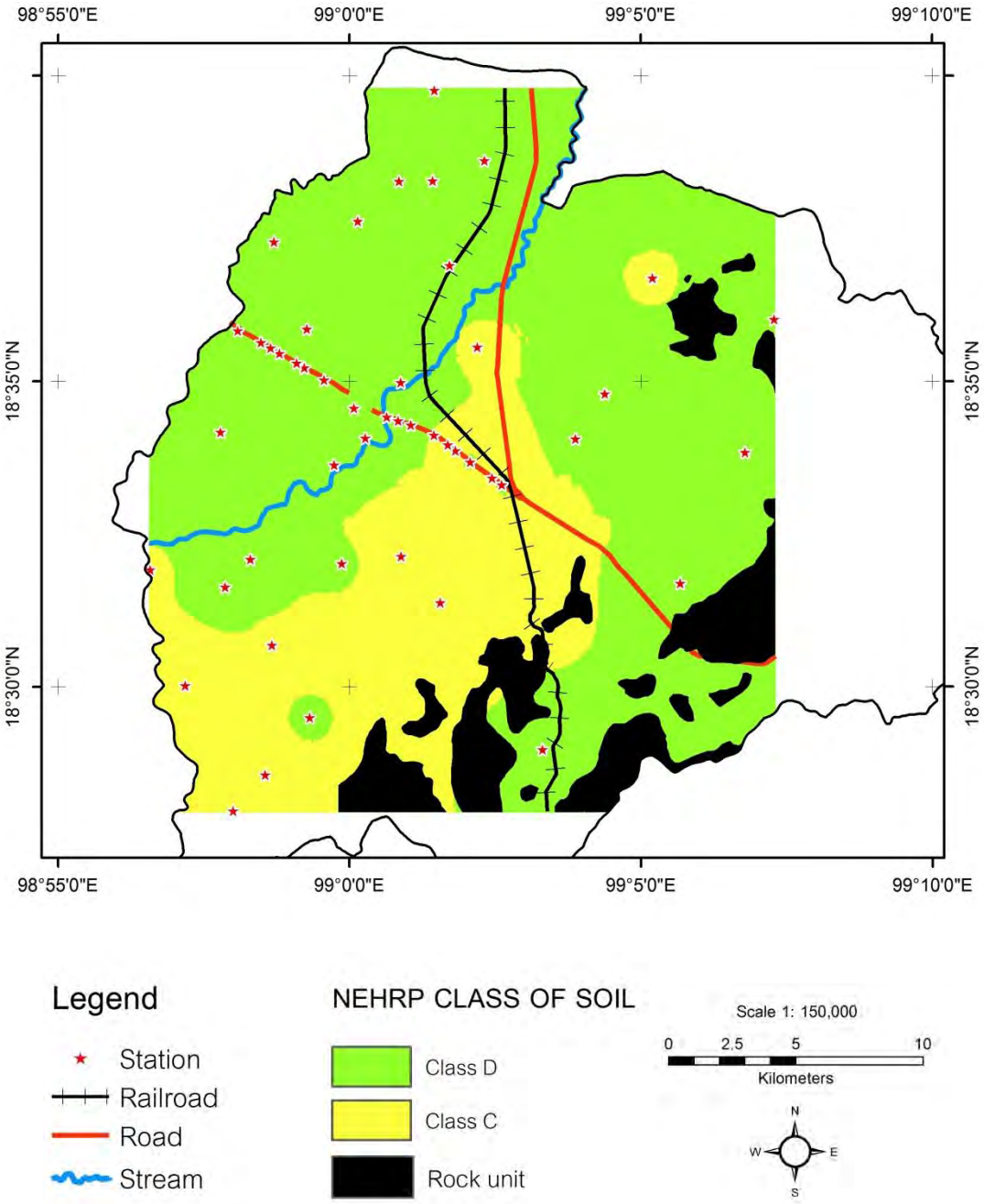
จากนั้นได้ทำการวิเคราะห์จุดศึกษาที่ตั้งอยู่บนตะกอนธารน้ำพา (Qa) มาทำการเฉลี่ยค่าความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยได้เท่ากับ 320.937 เมตร/วินาที และยังทำการเฉลี่ยค่าความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยในจุดศึกษาที่ตั้งอยู่บนตะกอนตะพักน้ำอีกด้วยซึ่งได้ค่าออกมาเท่ากับ 361.418 เมตร/วินาที (โดยยึดแผนที่ธรณีวิทยาของกรมทรัพยากรธรณี 2550 (รูปที่ 2.3)) เพราะฉะนั้นจึงสรุปได้ว่า

ตะกอนตะพักน้ำ (Qt) มีค่าความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยที่ความลึก 30 เมตร สูงกว่าตะกอนธารน้ำพา (Qa) (ดูข้อมูลได้จากภาคผนวก)

จากแผนที่จำแนกชนิดของดินตามข้อกำหนด NEHRP 2003 (รูปที่ 5.2) จะสามารถบอกได้ว่าในบริเวณพื้นที่ศึกษาจะสามารถแบ่งชนิดดินตามข้อกำหนดของ NEHRP 2003 ได้ออกเป็น 2 class คือ class C กับ class D ซึ่งภายในตัวเมืองลำพูน ตั้งอยู่บนดิน class D เป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นบริเวณนี้จึงมีความเสี่ยงภัยจากแรงแผ่นดินไหวมากกว่าบริเวณอื่น และ บริเวณตัวเมืองลำพูนมีแนวโน้มความเร็วคลื่นเฉือนจะลดลงจากทิศตะวันออกเฉียงใต้ไปทิศตะวันตกเฉียงเหนือ



รูปที่ 5.1 แผนที่ค่าความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยที่ความลึก 30 เมตร ($V_S(30)$)



รูปที่ 5.2 แผนที่จำแนกชนิดของดินตามข้อกำหนด NEHRP 2003

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

ควรทำการเก็บข้อมูลให้ได้จำนวนข้อมูลมากๆ เพื่อจะให้ได้ข้อมูลที่ครอบคลุมพื้นที่มากกว่านี้และจะมีความถูกต้องมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

กรมทรัพยากรธรณี, 2550, ธรณีวิทยาประเทศไทย (พิมพ์ครั้งที่ 2 ฉบับปรับปรุง) (Geology of Thailand (2nd ed.), โดยกรมทรัพยากรธรณี - กรุงเทพมหานคร: กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 628 หน้า.

BSSC, 2003. NEHRP Recommended Provision for Seismic Regulations for New Buildings, Part 1-Provison, Washington D.C, p 337.

Channoo, S., 2011, Shear-Wave Velocity Mapping and Site Classification of Soils for Earthquake Hazard Evaluation in Amphoe Muang, Changwat Chiang Rai, Northern Thailand, Unpublished Senior Project, Department of Geology, Faculty of Science, Chulalongkorn University. Bangkok, Thailand.

Kamolsilp, M., 2012, Transect of Shear-wave Velocity of Soils in Amphoe Muang, Changwat Nan, Unpublished Senior Project, Department of Geology, Faculty of Science, Chulalongkorn University. Bangkok, Thailand.

Park, C.B., R.D. Millller, and J. Xia, 1999, Multi-channel analysis of surface waves: Geophysics, 64, 3, p. 800-808.

Thitimakorn, T., 2010, Comparison of Shear -Wave Velocity Profiles of Bangkok Subsoils from Multi-Channel Analysis of Surface Wave and Downhole Seismic Methods, Journal of Applied Sciences Research, 6(12): 1953-1959.

ภาคผนวก

ตารางข้อมูลค่าความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยที่ความลึก 30 เมตรทั้งหมดและข้อมูลหลุมเจาะ

ตารางแสดงข้อมูลที่ทำการเก็บข้อมูลทั้งหมด

Station	Latitude	Longitude	ค่าความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยที่ความลึก 30 เมตร [เมตร/วินาที]	ตั้งอยู่บนตะกอน
1-1	18.5551	99.0435	329.458	ตะกอนตะพักน้ำ (Qt)
1-2	18.5569	99.0408	470.921	ตะกอนตะพักน้ำ (Qt)
1-3	18.5614	99.0345	348.165	ตะกอนธารน้ำพา (Qa)
1-4	18.5644	99.0303	381.235	ตะกอนธารน้ำพา (Qa)
1-5	18.566	99.0282	413.177	ตะกอนธารน้ำพา (Qa)
1-6	18.5686	99.0241	362.052	ตะกอนธารน้ำพา (Qa)
1-7	18.5714	99.0176	307.55	ตะกอนธารน้ำพา (Qa)
1-8	18.5726	99.014	294.165	ตะกอนธารน้ำพา (Qa)
1-9	18.5736	99.0107	369.987	ตะกอนธารน้ำพา (Qa)
1-10	18.5838	98.9928	338.741	ตะกอนธารน้ำพา (Qa)
1-11	18.5871	98.9871	245.591	ตะกอนธารน้ำพา (Qa)
1-12	18.588238	98.9849	306.645	ตะกอนธารน้ำพา (Qa)
1-13	18.5909	98.98	271.483	ตะกอนธารน้ำพา (Qa)
1-14	18.592377	98.9775	270.109	ตะกอนธารน้ำพา (Qa)
1-15	18.5939	98.9746	240.703	ตะกอนธารน้ำพา (Qa)
1-16	18.5971	98.9681	216.499	ตะกอนธารน้ำพา (Qa)
1-17	18.6213	98.9784	255.523	ตะกอนธารน้ำพา (Qa)
2-1	18.4829	99.0551	229.557	ตะกอนธารน้ำพา (Qa)
2-2	18.5283	99.0946	267.006	ตะกอนตะพักน้ำ (Qt)
2-3	18.5639	99.1132	272.145	ตะกอนตะพักน้ำ (Qt)
2-4	18.6002	99.1215	277.807	ตะกอนตะพักน้ำ (Qt)
2-5	18.6115	99.0867	370.213	ตะกอนตะพักน้ำ (Qt)
2-6	18.5799	99.0731	307.869	ตะกอนตะพักน้ำ (Qt)
2-7	18.5676	99.0646	344.951	ตะกอนตะพักน้ำ (Qt)
2-8	18.5926	99.0365	380.837	ตะกอนธารน้ำพา (Qa)
2-9	18.6149	99.0286	317.706	ตะกอนธารน้ำพา (Qa)

2-10	18.6627	99.0243	269.046	ตะกอนธารน้ำพา (Qa)
2-11	18.5976	98.9878	199.731	ตะกอนธารน้ำพา (Qa)
2-12	18.5695	98.9632	263.076	ตะกอนธารน้ำพา (Qa)
2-13	18.5319	98.9431	374.121	ตะกอนธารน้ำพา (Qa)
2-14	18.5348	98.9717	292.534	ตะกอนธารน้ำพา (Qa)
3-1	18.523	99.0259	622.75	ตะกอนตะพักน้ำ (Qt)
3-2	18.5356	99.0148	678.828	ตะกอนธารน้ำพา (Qa)
3-3	18.4916	98.9886	345.682	ตะกอนตะพักน้ำ (Qt)
3-4	18.476	98.9758	390.606	ตะกอนธารน้ำพา (Qa)
3-5	18.4661	98.9668	366.796	ตะกอนตะพักน้ำ (Qt)
3-6	18.5003	98.9531	540.394	ตะกอนธารน้ำพา (Qa)
3-7	18.5605	98.9956	259.267	ตะกอนธารน้ำพา (Qa)
3-8	18.576	99.0013	302.614	ตะกอนธารน้ำพา (Qa)
3-9	18.5678	99.0046	303.895	ตะกอนธารน้ำพา (Qa)
3-10	18.5831	99.0146	260.264	ตะกอนธารน้ำพา (Qa)
3-11	18.6435	99.0386	330.553	ตะกอนธารน้ำพา (Qa)
3-12	18.638	99.0238	264.105	ตะกอนธารน้ำพา (Qa)
3-13	18.6379	99.0142	270.914	ตะกอนธารน้ำพา (Qa)
3-14	18.6269	99.0024	349.041	ตะกอนธารน้ำพา (Qa)
3-15	18.5336	98.9978	312.734	ตะกอนธารน้ำพา (Qa)
3-16	18.5114	98.9778	373.569	ตะกอนธารน้ำพา (Qa)
3-17	18.5273	98.9645	289.646	ตะกอนธารน้ำพา (Qa)

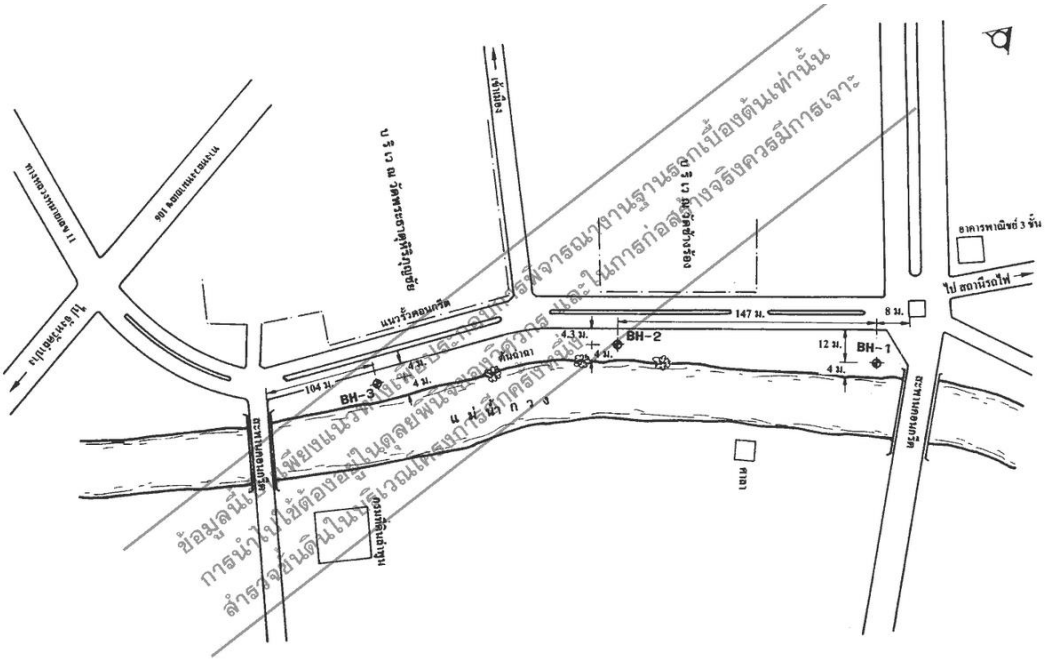
ตารางแสดงข้อมูลเฉพาะบนตะกอนธารน้ำพา

Station	ค่าความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยที่ความลึก 30 เมตร ($V_S(30)$) [เมตร/วินาที]	ตั้งอยู่บนตะกอน
1-3	348.165	ตะกอนธารน้ำพา (Qa)
1-4	381.235	ตะกอนธารน้ำพา (Qa)
1-5	413.177	ตะกอนธารน้ำพา (Qa)
1-6	362.052	ตะกอนธารน้ำพา (Qa)
1-7	307.55	ตะกอนธารน้ำพา (Qa)
1-8	294.165	ตะกอนธารน้ำพา (Qa)
1-9	369.987	ตะกอนธารน้ำพา (Qa)
1-10	338.741	ตะกอนธารน้ำพา (Qa)
1-11	245.591	ตะกอนธารน้ำพา (Qa)
1-12	306.645	ตะกอนธารน้ำพา (Qa)
1-13	271.483	ตะกอนธารน้ำพา (Qa)
1-14	270.109	ตะกอนธารน้ำพา (Qa)
1-15	240.703	ตะกอนธารน้ำพา (Qa)
1-16	216.499	ตะกอนธารน้ำพา (Qa)
1-17	255.523	ตะกอนธารน้ำพา (Qa)
2-1	229.557	ตะกอนธารน้ำพา (Qa)
2-8	380.837	ตะกอนธารน้ำพา (Qa)
2-9	317.706	ตะกอนธารน้ำพา (Qa)
2-10	269.046	ตะกอนธารน้ำพา (Qa)
2-11	199.731	ตะกอนธารน้ำพา (Qa)
2-12	263.076	ตะกอนธารน้ำพา (Qa)
2-13	374.121	ตะกอนธารน้ำพา (Qa)
2-14	292.534	ตะกอนธารน้ำพา (Qa)
3-2	678.828	ตะกอนธารน้ำพา (Qa)
3-4	390.606	ตะกอนธารน้ำพา (Qa)
3-6	540.394	ตะกอนธารน้ำพา (Qa)
3-7	259.267	ตะกอนธารน้ำพา (Qa)

3-8	302.614	ตะกอนธารน้ำพา (Qa)
3-9	303.895	ตะกอนธารน้ำพา (Qa)
3-10	260.264	ตะกอนธารน้ำพา (Qa)
3-11	330.553	ตะกอนธารน้ำพา (Qa)
3-12	264.105	ตะกอนธารน้ำพา (Qa)
3-13	270.914	ตะกอนธารน้ำพา (Qa)
3-14	349.041	ตะกอนธารน้ำพา (Qa)
3-15	312.734	ตะกอนธารน้ำพา (Qa)
3-16	373.569	ตะกอนธารน้ำพา (Qa)
3-17	289.646	ตะกอนธารน้ำพา (Qa)
(V_S(30)) เฉลี่ย	**320.937**	

ตารางแสดงข้อมูลเฉพาะบนตะกอนตะพักน้ำ

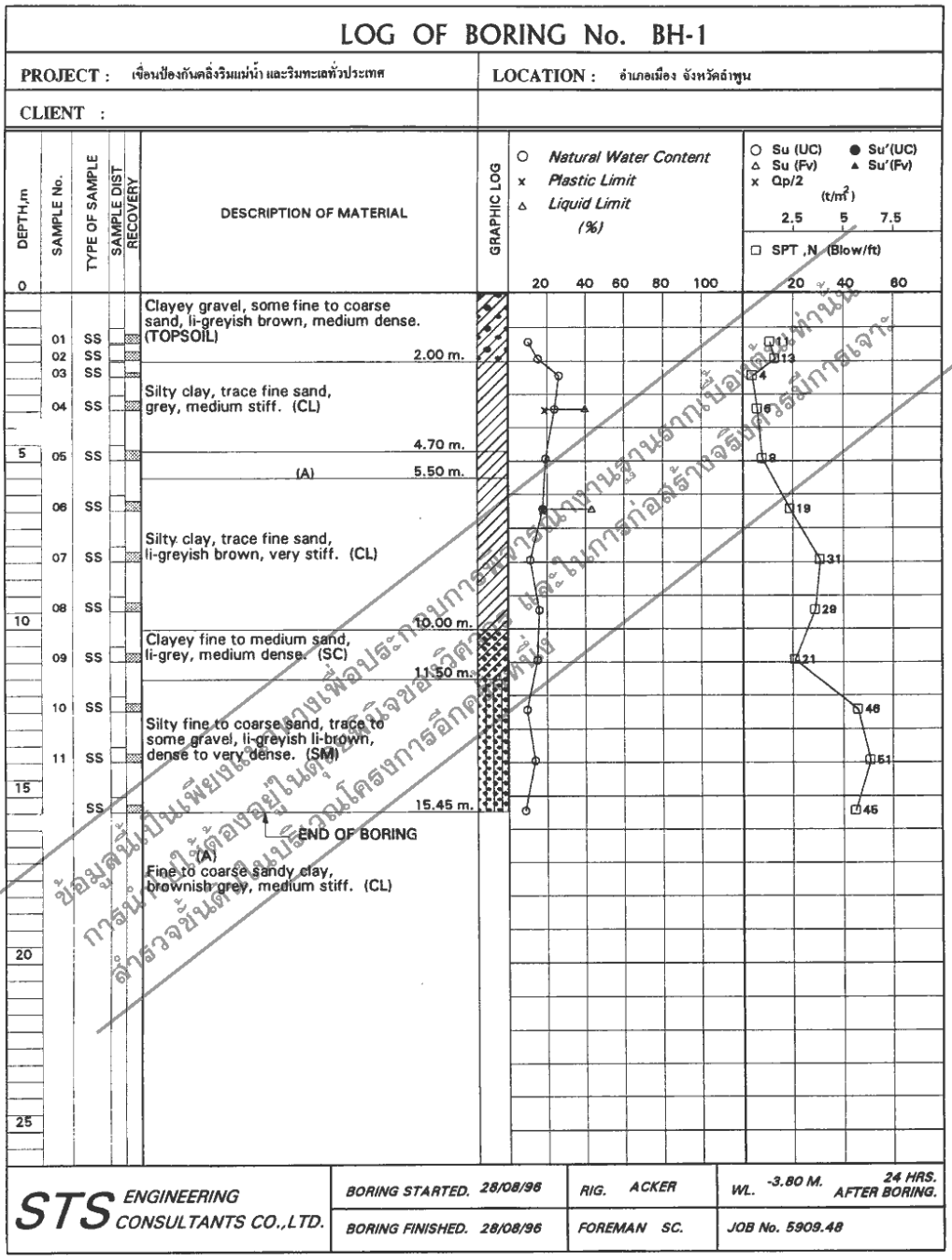
Station	ค่าความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยที่ความลึก 30 เมตร (V_S(30)) [เมตร/วินาที]	ตั้งอยู่บนตะกอน
1-1	329.458	ตะกอนตะพักน้ำ (Qt)
1-2	470.921	ตะกอนตะพักน้ำ (Qt)
2-2	267.006	ตะกอนตะพักน้ำ (Qt)
2-3	272.145	ตะกอนตะพักน้ำ (Qt)
2-4	277.807	ตะกอนตะพักน้ำ (Qt)
2-5	370.213	ตะกอนตะพักน้ำ (Qt)
2-6	307.869	ตะกอนตะพักน้ำ (Qt)
2-7	344.951	ตะกอนตะพักน้ำ (Qt)
3-1	622.750	ตะกอนตะพักน้ำ (Qt)
3-3	345.682	ตะกอนตะพักน้ำ (Qt)
(V_S(30)) เฉลี่ย	**361.418**	



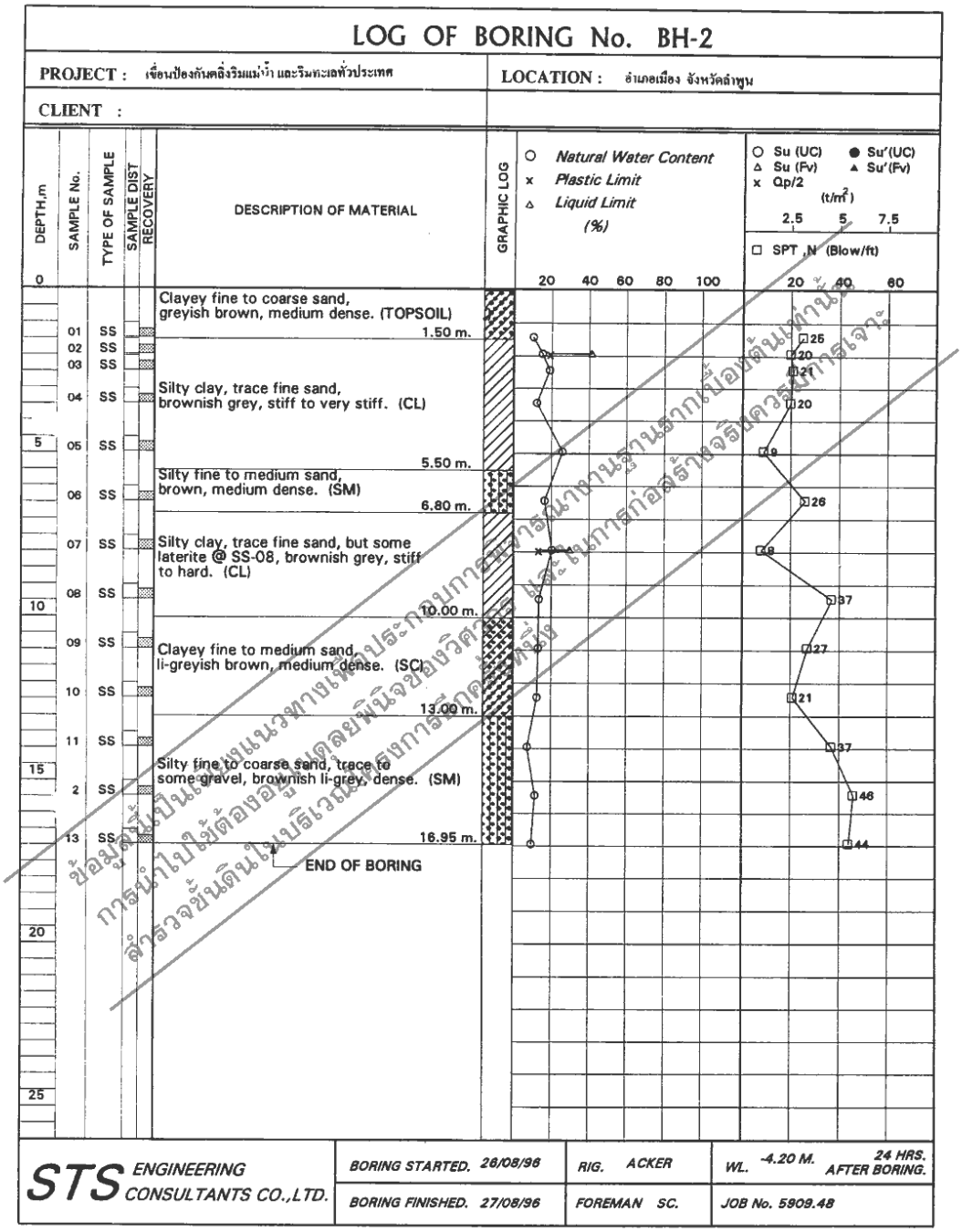
รูปภาพแสดงตำแหน่งหลุมเจาะในบริเวณตัวเมืองอำเภอลำพูน

[แหล่งข้อมูลจากกรมโยธาธิการและผังเมือง] ภาพจาก:

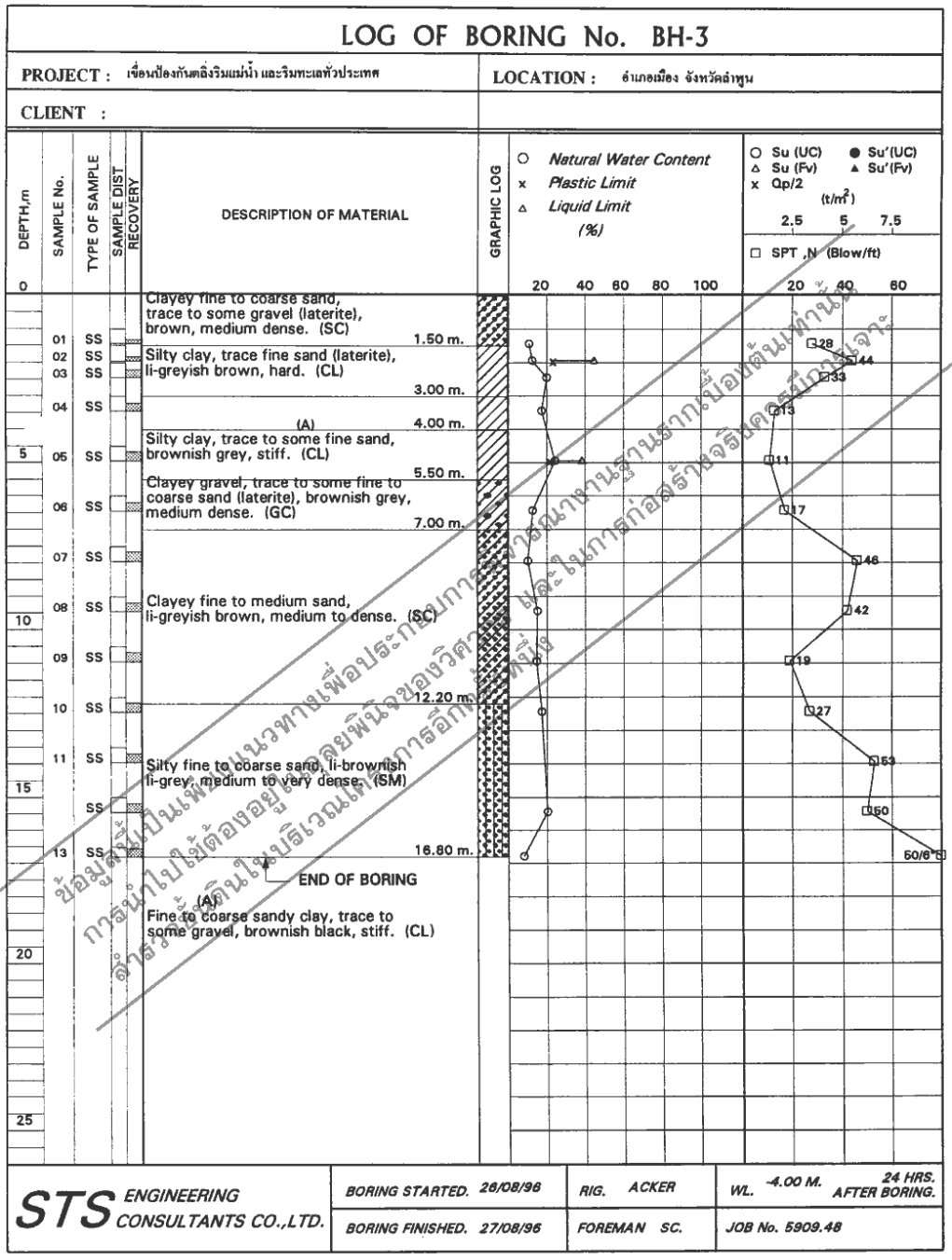
http://services.dpt.go.th/service_4/other/soil2551/



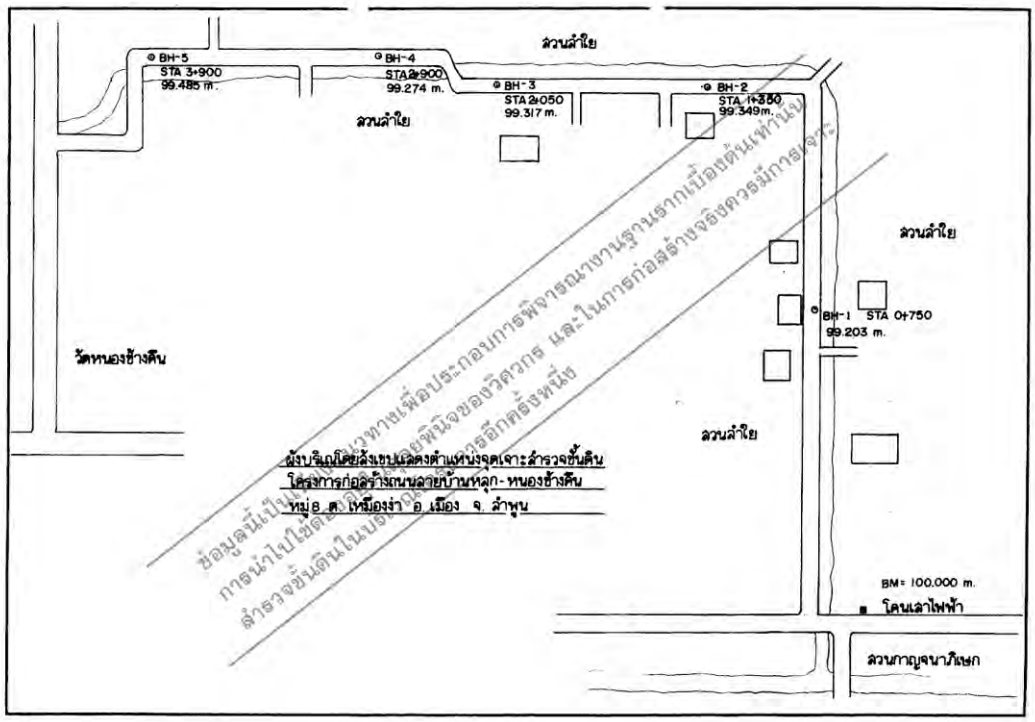
รูปภาพแสดง ข้อมูลหลุมเจาะ BH-1 ของบริเวณตัวเมือง



รูปภาพแสดง ข้อมูลหลุมเจาะ BH-2 ของบริเวณตัวเมือง



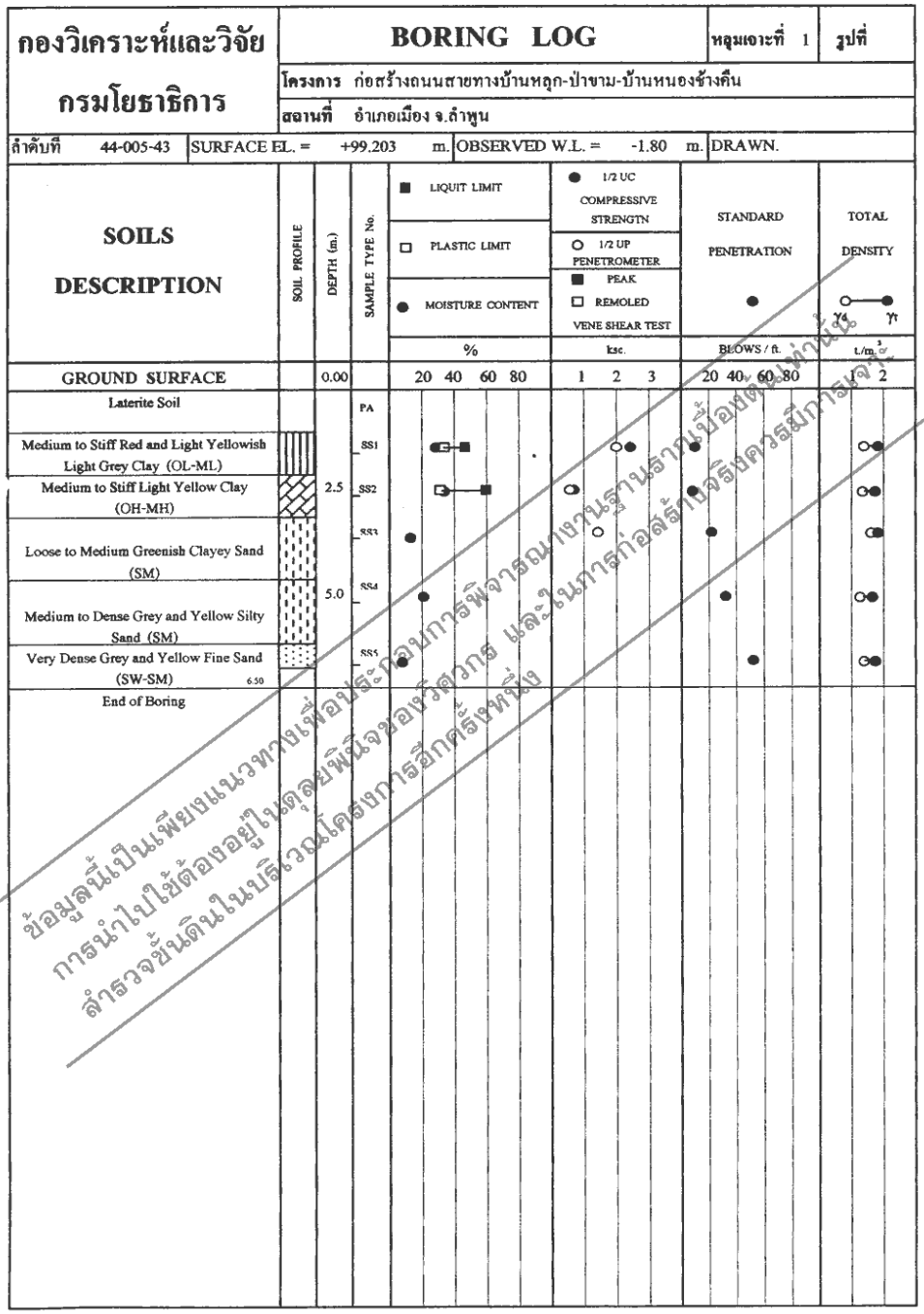
รูปภาพแสดง ข้อมูลหลุมเจาะ BH-3 ของบริเวณตัวเมือง



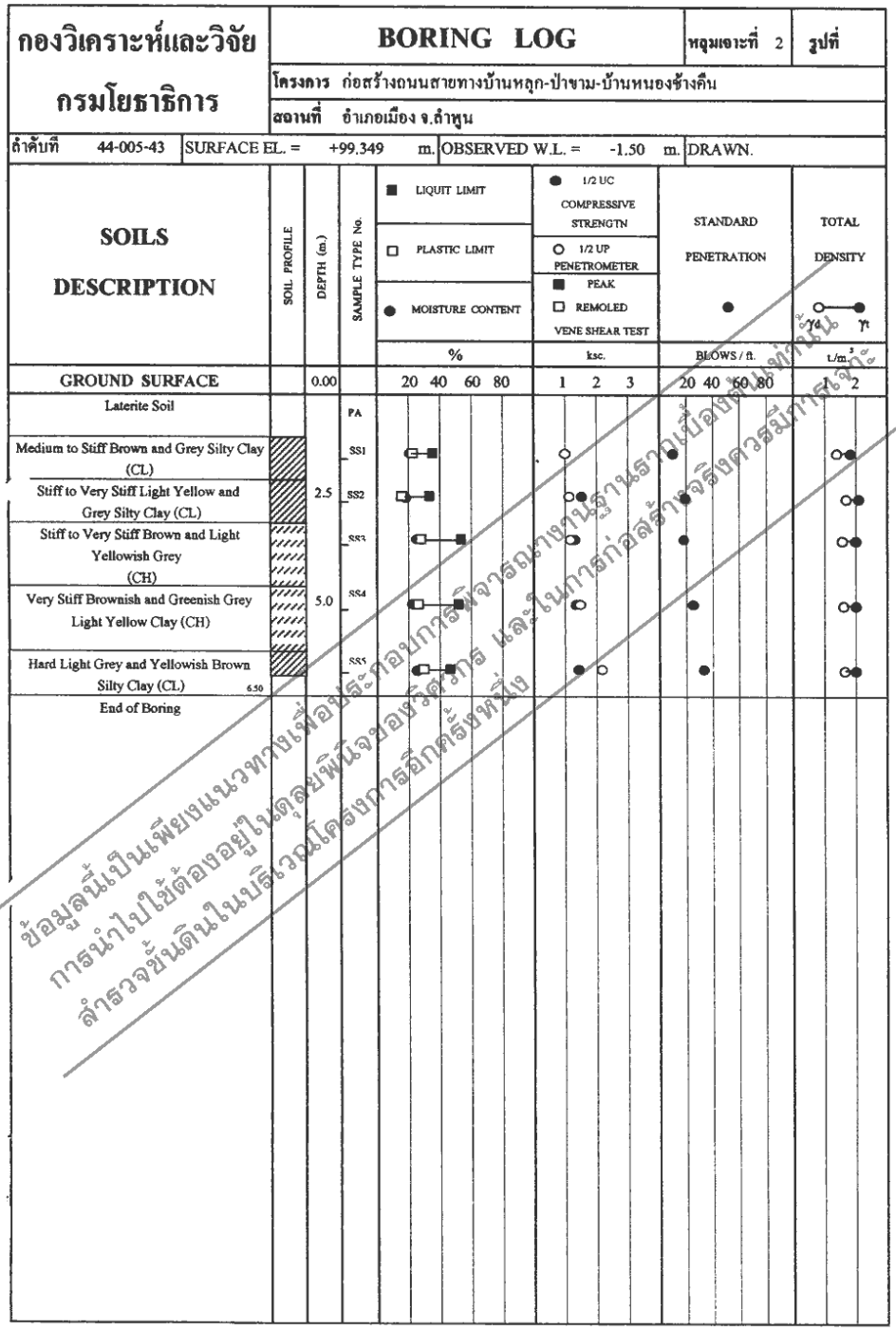
รูปภาพแสดงตำแหน่งหลุมเจาะในบริเวณ ตำบลเหมืองง่า อำเภอเมือง จังหวัดลำพูน

[แหล่งข้อมูลจากกรมโยธาธิการและผังเมือง] ภาพจาก:

http://services.dpt.go.th/service_4/other/soil2551/

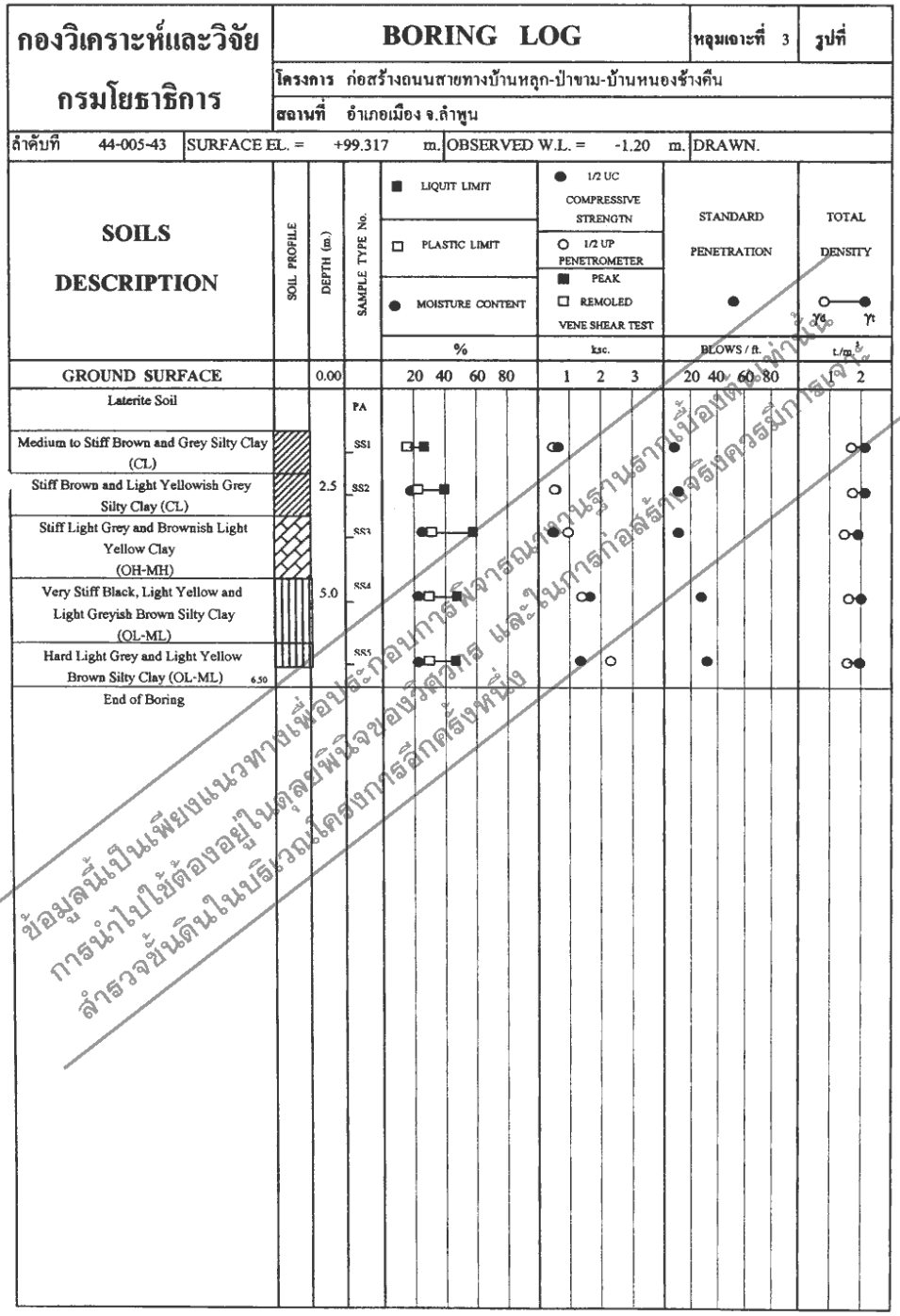


รูปภาพแสดง ข้อมูลหลุมเจาะ BH-1 ของบริเวณตำบลเหมืองง่า

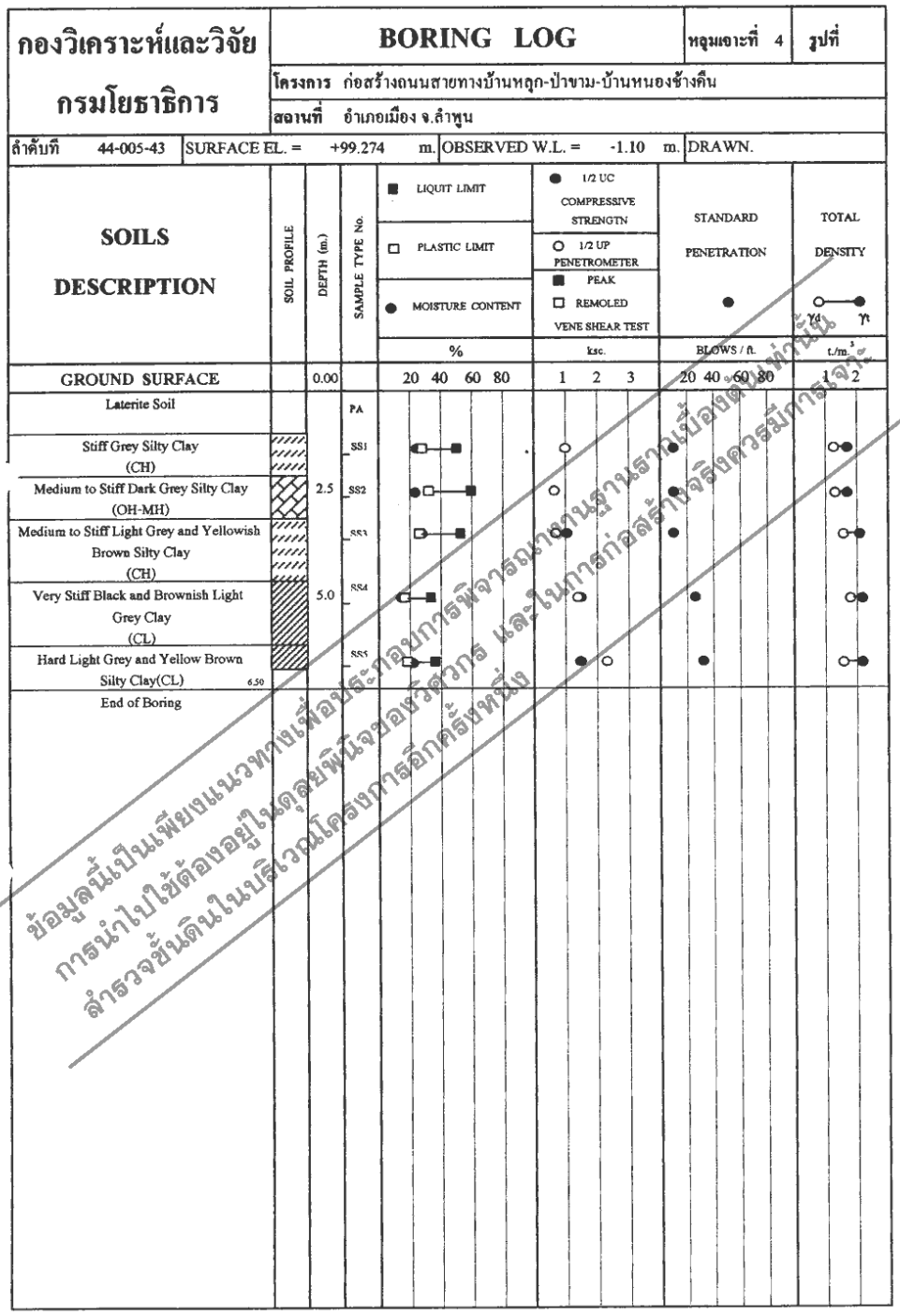


ข้อมูลนี้เป็นเพียงแนวทางเพื่อประกอบการพิจารณาเบื้องต้นเท่านั้น
การนำไปใช้ต้องอยู่ในดุลยพินิจของวิศวกร และในการก่อสร้างจริงควรมีการสำรวจชั้นดินในบริเวณโครงการอีกครั้งหนึ่ง

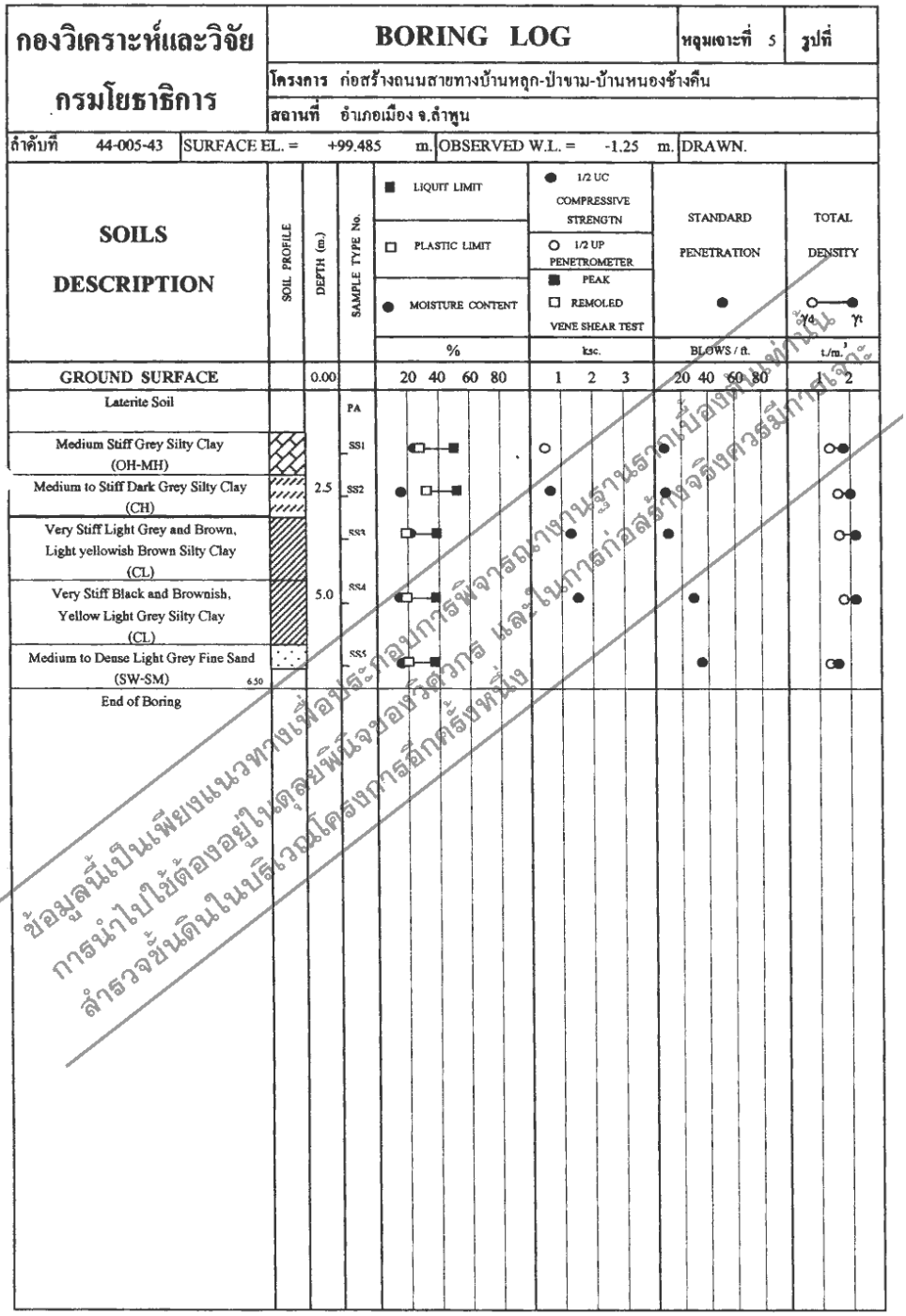
รูปภาพแสดง ข้อมูลหลุมเจาะ BH-2 ของบริเวณตำบลเหมืองง่า



รูปภาพแสดง ข้อมูลหลุมเจาะ BH-3 ของบริเวณตำบลเหมืองง่า



รูปภาพแสดง ข้อมูลหลุมเจาะ BH-4 ของบริเวณตำบลเหมืองง่า



รูปภาพแสดง ข้อมูลหลุมเจาะ BH-5 ของบริเวณตำบลเหมืองง่า