



EFFECTS OF LOCAL SITE CHARACTERISTICS ON GROUND SHAKINGS IN  
THE AFFECTED AREAS AFTER 5 MAY 2014 EARTHQUAKE

The Engineering Institute of Thailand under H.M. The King's Patronage

ผลจากคุณลักษณะของชั้นดินบริเวณที่ตั้งต่อการสั่นสะเทือนในพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบ  
จากแผ่นดินไหววันที่ 5 พฤษภาคม 2557

EFFECTS OF LOCAL SITE CHARACTERISTICS ON GROUND SHAKINGS IN THE AFFECTED  
AREAS AFTER 5 MAY 2014 EARTHQUAKE

นคร ภู่วโรดม<sup>1</sup> และอมรเทพ จิระศักดิ์จรรย์ศรี<sup>2</sup>

<sup>1</sup>รองศาสตราจารย์, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์  
<sup>2</sup>นักศึกษาระดับปริญญาเอก, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

บทคัดย่อ

แผ่นดินไหวเมื่อวันที่ 5 พฤษภาคม 2557 ที่จังหวัดเชียงรายสร้างความเสียหายต่ออาคารจำนวนมากกว่า 10,000 หลังที่ส่วนใหญ่เป็นอาคารขนาดเล็กและไม่ได้รับการออกแบบตามหลักวิศวกรรม โดยความเสียหายส่วนใหญ่เกิดในพื้นที่ใกล้กับจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหว นอกจากนี้แล้วอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กของโรงเรียนหลายแห่งได้รับความเสียหายอย่างรุนแรง โดยมีรายงานของความเสียหายของอาคารจำนวนมากในบางพื้นที่ที่อยู่ห่างออกไปในระยะ 25 กิโลเมตร บริเวณที่ได้รับผลกระทบมีลักษณะเป็นพื้นที่ราบสลับเชิงเขา ผลกระทบจากชั้นดินบริเวณที่ตั้งจึงเป็นปัจจัยสำคัญต่อคุณลักษณะของการสั่นสะเทือนเนื่องจากแผ่นดินไหวที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ อย่างไรก็ตามข้อมูลที่จำเป็นยังไม่มีการศึกษาไว้ งานวิจัยนี้ทำการศึกษาลักษณะของชั้นดินด้วยการตรวจวัดคลื่นขนาดเล็กที่ผิวดินและการวิเคราะห์ผลตอบสนองของพื้น โดยทำการสำรวจหาค่าคาบอติพิลหลักด้วยวิธี  $H/V$  spectral ratio และความเร็วจลื่นเฉือนด้วยวิธี Spatial Autocorrelation เป็นจำนวน 10 ตำแหน่ง โดยผลพบว่าค่าคาบอติพิลหลักมีค่าอยู่ในช่วง 0.2 ถึง 0.7 วินาที และความเร็วจลื่นเฉือนเฉลี่ยจากผิวถึงระดับความลึก 30 เมตร มีค่าประมาณ 220 ถึง 400 เมตรต่อวินาที ส่วนผลจากการวิเคราะห์แผ่นดินไหวที่ตำแหน่งต่าง ๆ พบว่าค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับบริเวณภายในรัศมี 10 กิโลเมตร มีค่าสูงกว่า  $1.0g$  ผลการประเมินการขยายขนาดคลื่นแผ่นดินไหวโดยใช้พิจารณาพร้อมกับลักษณะการกระจายตัวของความเสียหายของอาคารในแต่ละพื้นที่ ซึ่งผลได้แสดงว่าความเสียหายต่อโครงสร้างในพื้นที่ที่เป็นบริเวณดินอ่อนกว่าและอยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหวไกลกว่า อาจมีความรุนแรงมากกว่าพื้นที่ที่ตั้งอยู่บนดินแข็งที่ตั้งอยู่ในระยะที่ใกล้กว่า

คำสำคัญ : ผลกระทบบริเวณที่ตั้ง, คลื่นขนาดเล็กบนผิวดิน, การวิเคราะห์ผลตอบสนองของพื้นดิน, การกระจายตัวของอาคารที่เสียหาย

ABSTRACT

The May 5, 2014 Chiangrai Earthquake caused damages to more than 10,000 buildings, most of them were small and non-engineering designed houses, localized in the affected area. In addition, a number of reinforced concrete school buildings suffered heavily damages. It was preliminary reported that intense damages were observed in some areas within 25 kilometers distance. The affected areas consist of mixed terrains of flat plains and hills. Local site effects of the area could play an important role in ground shaking characteristics of each site but such information had not been studied. This research

*investigates the seismic site effects by microtremor surveys for site characteristics and ground response analysis. Predominant periods and shear wave velocity of a site were obtained by H/V spectral ratio and Spatial Autocorrelation techniques. Observations were conducted for 10 sites. The predominant periods ranged from 0.2 to 0.7 seconds and the average shear wave velocities from surface to 30 m depth were about 220 to 400 m/s. Site response analysis yielded spectral acceleration higher than 1.0g in the area within 10 kilometers from the epicenter. Amplification characteristics and their correlation with damage distributions were discussed. It was evident that damages of structures founded on relatively soft soil and located away from the epicenter were more severe than some areas situated on stiff soil and located in closer distance.*

**KEYWORD:** Site effects, Microtremor, Site response analysis, Damage distribution of buildings

## 1. บทนำ

ระดับความรุนแรงของแผ่นดินไหวที่ทำให้เกิดความเสียหายต่ออาคารและสิ่งปลูกสร้างที่บริเวณหนึ่ง ๆ ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลัก 2 ประการคือ (1) ระดับความรุนแรงของการสั่นสะเทือนของพื้นดิน ณ บริเวณที่ตั้งนั้น โดยในส่วนี้หลักสำคัญหนึ่งคือ คุณลักษณะของชั้นดินบริเวณที่ตั้ง (Local site characteristics หรือ Local site effects) ซึ่งค่าที่จำเป็นต่อการศึกษาคือ ค่าคาบธรรมชาติ หรือ คาบอิทธิพลหลัก (Natural Period or Predominant Period) และ ค่าความเร็วคลื่นเฉือน (Shear wave velocity) ของชั้นดิน ร่วมกับลักษณะทางภูมิประเทศและธรณีเทคนิคอื่น ๆ ของบริเวณนั้น ๆ ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อเกิดแผ่นดินไหวขึ้น ชั้นดินอาจสามารถขยายขนาดคลื่นและเพิ่มระดับความรุนแรงของแผ่นดินไหวเมื่อเทียบกับคลื่นที่เริ่มแพร่ออกจากชั้นหิน และ (2) คุณลักษณะของอาคาร ด้านการตอบสนองต่อแรงแผ่นดินไหว หรือคุณสมบัติเชิงพลศาสตร์ของอาคาร ตามหลักของพลศาสตร์โครงสร้างที่อาคารอาจตอบสนองรุนแรงหากอาคารนั้นมีจังหวะการสั่นตามธรรมชาติของตัวเอง (หรือคาบธรรมชาติ) ใกล้เคียงกับการสั่นของคลื่นแผ่นดินไหว รวมทั้งอาคารอาจเกิดรูปแบบการตอบสนองด้วยลักษณะเฉพาะ เช่นการบิดตัว หรือการที่เกิดแรงในบางชั้นส่วนชั้นสูงมาก หากมีลักษณะการกระจายของมวลและความแข็งแกร่งของอาคารที่ไม่สม่ำเสมอตลอดโครงสร้างอาคาร ด้วยปัจจัยหลัก 2 ประการดังกล่าวนี้ แผ่นดินไหวสามารถทำให้เกิดผลกระทบที่รุนแรงที่บริเวณหนึ่ง ๆ และกับกลุ่มอาคารหนึ่ง ๆ ได้

เหตุการณ์แผ่นดินไหววันที่ 5 พฤษภาคม 2557 ที่จังหวัดเชียงรายก่อให้เกิดความเสียหายกับอาคารโดยรอบจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหวเป็นวงกว้าง โดยมีรายงานความเสียหายซึ่งสำรวจโดยศูนย์ประสานงานเพื่อตรวจสอบอาคารเนื่องจากภัยพิบัติแผ่นดินไหวจังหวัดเชียงราย (ศปอ.) กรมโยธาธิการและผังเมือง [1] ที่แสดงว่า มีอาคารที่เสียหายจำนวนมากในบริเวณใกล้กับจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหวภายในรัศมีประมาณ 5 ถึง 10 กิโลเมตร โดยเฉพาะตำบลงมะตะ อำเภอมะลาวี ที่มีอาคารบ้านเรือนขนาดเล็กจำนวนมาก รวมทั้งอาคารโรงเรียนคอนกรีตเสริมเหล็กเสียหายอย่างรุนแรง นอกจากนี้ ที่ระยะทางห่างออกไปประมาณ 25 กิโลเมตร ได้เกิดความเสียหายต่ออาคารโรงเรียนคอนกรีตเสริมเหล็ก 4 ชั้นที่บริเวณตำบลเมืองพาน อำเภอพาน โดยความเสียหายที่เกิดขึ้นอย่างรุนแรงที่ระยะทางไกล และเกิดกับอาคารขนาดใหญ่เช่นนี้ ปัจจัยของชั้นดินบริเวณที่ตั้งที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะของคลื่นแผ่นดินไหว รวมถึงคุณสมบัติของอาคาร อาจเป็นสาเหตุหลักให้เกิดความเสียหายที่รุนแรงเช่นนี้ได้ อย่างไรก็ตามข้อมูลดังกล่าวยังไม่ได้มีการทำการศึกษาไว้ในพื้นที่ที่ประสบเหตุแผ่นดินไหว งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อทำการสำรวจคุณลักษณะของชั้นดินบริเวณที่ตั้ง แล้วใช้สร้างแบบจำลองวิเคราะห์เพื่อประเมินการสั่นสะเทือนที่พื้นที่ต่าง ๆ และอภิปรายควบคู่กับผลสำรวจความเสียหายที่กระจายตัวอยู่โดยรอบจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหว วิธีที่ใช้สำรวจคุณลักษณะของชั้นดินบริเวณที่ตั้งคือการตรวจวัดคลื่นขนาดเล็กบนพื้นดิน เนื่องจากการดำเนินการสำรวจที่ผิวดินและไม่ต้องเจาะหลุมสำรวจ จึงทำให้ดำเนินการได้อย่างรวดเร็วและประหยัด อีกทั้งสามารถสำรวจได้ในระดับความลึกที่มากได้อีกด้วย การวิเคราะห์เพื่อประเมินการสั่นสะเทือนของพื้นดินใช้การคำนวณแบบเชิงเส้นเทียบเท่า โดยทำการศึกษาในพื้นที่ชุมชนหลักที่ได้รับผลกระทบ

## 2. วิธีการศึกษา

### 2.1 วิธีการตรวจวัดคลื่นขนาดเล็กบนพื้นดิน

คลื่นขนาดเล็กบนพื้นดิน (Microtremor) เกิดจากการสั่นสะเทือนขนาดต่ำที่มาจากธรรมชาติ เช่น การขยับตัวขององค์ประกอบใต้ดิน คลื่นในทะเล ลมพัด และจากกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ วิธีการตรวจวัดคลื่นขนาดเล็กบนพื้นดินใช้สำหรับการสำรวจคุณลักษณะของชั้นดินด้านล่างได้ ซึ่งมีประโยชน์สำหรับการประเมินผลกระทบบริเวณที่ตั้ง เทคนิคที่ใช้ในการศึกษานี้มี 2 วิธีคือ คือวิธีการตรวจวัดคลื่นขนาดเล็กบนพื้นดิน 1 จุด และวิเคราะห์ด้วยวิธี Horizontal to Vertical Spectral Ratio (H/V) (Nakamura 1989 [2]) เพื่อประมาณค่าคาบอิทธิพลหลักของชั้นดิน โดยการตรวจวัดองค์ประกอบของคลื่นแนวราบและแนวดิ่งที่ตำแหน่งหนึ่ง ๆ ค่าคาบอิทธิพลหลักประเมินได้จากอัตราส่วนระหว่าง Fourier Spectra ของคลื่นในแนวราบ ต่อ Fourier Spectra ของคลื่นในแนวดิ่ง หรือ H/V Spectral Ratio ดังสมการที่ 1

$$H/V(T) = \frac{\sqrt{F_x(T) + F_y(T)}}{F_z(T)} \quad (1)$$

โดยที่  $F_x(T)$ ,  $F_y(T)$  คือ Fourier Amplitude Spectra ของคลื่นในแนวราบจำนวน 2 ทิศทางที่ตั้งฉากกัน และ  $F_z(T)$  คือ Fourier Amplitude Spectra ของคลื่นในแนวตั้ง ซึ่งค่าคาบที่ตำแหน่งยอดแหลมของกราฟ H/V Spectral Ratio เป็นค่าคาบอิทธิพลหลักของชั้นดิน

วิธีที่สองคือ การตรวจวัดคลื่นขนาดเล็กบนพื้นดินแบบโครงข่าย (Array) โดยใช้เทคนิค Spatial Autocorrelation หรือ SPAC (Aki 1957 [3], Okada 2003 [4]) สำหรับการสำรวจคุณลักษณะของความเร็วเฟส (Phase Velocity) ซึ่งวิธีนี้ใช้สำหรับการตรวจวัดองค์ประกอบของคลื่นในแนวตั้งหลายตำแหน่งพร้อมกันในรูปแบบของโครงข่าย เพื่อให้ได้ข้อมูลการแพร่กระจายของคลื่นเลย์ (Rayleigh Wave) ในแต่ละทิศทางการเคลื่อนผ่านของคลื่นที่เกิดแบบสุ่ม จากนั้นคำนวณความสอดคล้องของสเปกตรัมสำหรับเครื่องมือตรวจวัดคู่หนึ่ง ๆ โดยที่ทราบระยะทางระหว่างเครื่องมือตรวจวัด และนำมาคำนวณคุณลักษณะของความเร็วเฟส จากนั้นทำการหาค่าเฉลี่ยสำหรับคู่ของเครื่องมือตรวจวัดที่มีระยะเท่ากันแต่มีวางในทิศต่างกันเพื่อให้ได้ค่า Spatial Autocorrelation Coefficient  $\rho(\omega; r)$  ดังสมการที่ 2

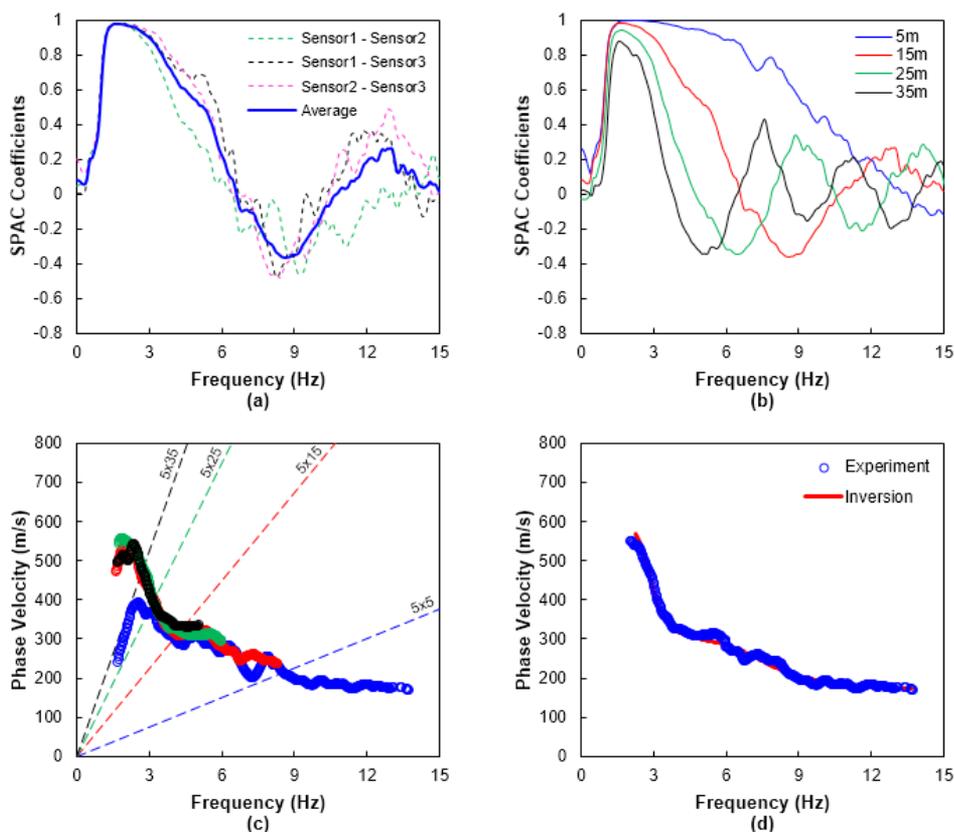
$$\rho(\omega; r) = J_0\left(\frac{\omega r}{C(\omega)}\right) \quad (2)$$

โดยที่  $r$  คือ ระยะทางระหว่างเครื่องมือตรวจวัด,  $\omega$  คือ ความถี่ของคลื่นตรวจวัดได้,  $J_0$  คือ เบสเซลฟังก์ชันประเภทแรกลำดับที่ศูนย์ และ  $C$  คือ ความเร็วเฟสสำหรับคลื่นเลย์ประจำโหมดพื้นฐาน จากคุณสมบัติ Dispersive ของคลื่นที่การแพร่กระจายพลังงานของคลื่นมีความเร็วหนึ่งค่าสำหรับแต่ละความถี่ ความเร็วเฟส  $C_i$  สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3

$$C_i = \left(\frac{2\pi f_i}{X_i}\right) \quad (3)$$

โดยที่  $f_i$  คือความถี่ใด ๆ ( $i$ ) จาก SPAC Coefficient และค่า  $X_i$  คือ ตำแหน่งในแกนราบของฟังก์ชันเบสเซลประเภทแรกลำดับที่ศูนย์ ที่มีค่าในแกนตั้งเท่ากับค่า SPAC Coefficient

แผนผังแสดงลำดับการวิเคราะห์แสดงตามรูปที่ 1 โดยเริ่มจาก (a) ทำการคำนวณค่า Spatial Autocorrelation Coefficient สำหรับระยะห่างระหว่างหัววัดหนึ่ง ๆ ซึ่งในรูปนี้คือ 15 เมตร โดยที่เส้นประแสดงค่าที่ได้จากแต่ละทิศทาง และเส้นทึบแสดงค่าเฉลี่ย (b) ทำการคำนวณค่าสำหรับระยะห่างอื่น ๆ ในรูปพบว่า สำหรับระยะห่างหัววัดน้อย ๆ SPAC coefficient มีค่าใกล้เคียงกับ 1 หรือคลื่นที่วัดได้จากหัววัดทั้ง 2 มีความสัมพันธ์กันมาก และคุณสมบัตินี้ลดลงเมื่อระยะห่างเพิ่มขึ้น แต่รูปร่างของ SPAC coefficient มีรูปแบบเฉพาะและสอดคล้องกับฟังก์ชันเบสเซล (c) คำนวณความเร็วเฟสโดยการเปรียบเทียบ SPAC coefficient กับฟังก์ชันเบสเซลตามสมการที่ (3) เพื่อสร้างเป็น Dispersion curve สำหรับข้อมูลของแต่ละระยะห่าง และ (d) ทำการเลือก Dispersion curve จากข้อมูลทั้งหมด และนำไปใช้ในการคำนวณย้อนกลับ (Yokoi 2005 [8]) เพื่อคำนวณเป็นค่าความเร็วคลื่นเฉือนของชั้นดิน ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณย้อนกลับที่ให้ความสอดคล้องกับผลการสำรวจแสดงไว้เป็นเส้นสีแดง

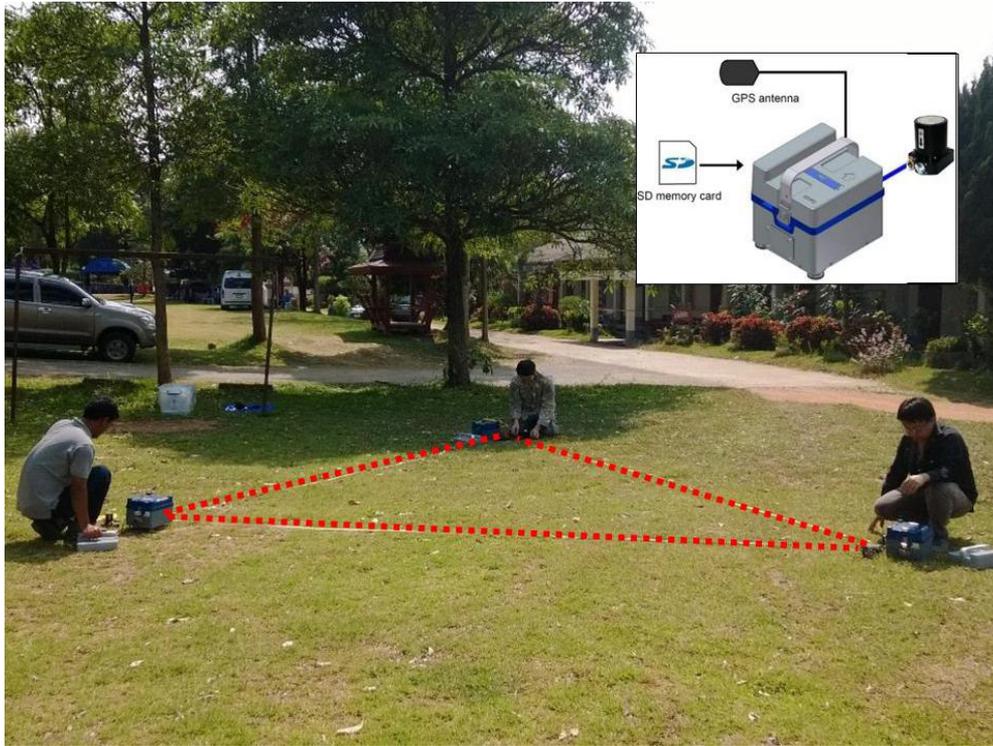


รูปที่ 1 ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูล Array Microtremor (a) SPAC Coefficients สำหรับระยะห่างระหว่างหัววัด 15 เมตร (b) SPAC Coefficients สำหรับทุกค่าระยะห่าง (c) Dispersion Curves จากทุกระยะห่าง และ (d) Dispersion Curves จากการตรวจวัดและจากการคำนวณย้อนกลับ

## 2.2 การเก็บข้อมูลภาคสนาม

เครื่องมือที่ใช้สำหรับการเก็บข้อมูลภาคสนามประกอบด้วยส่วนของหัววัดความสั่นสะเทือนขนาดต่ำมากในรูปของความเร็ว (Velocity sensor) ที่มีคุณสมบัติสามารถตรวจวัดในช่วงความถี่ 0.1 ถึง 70 Hz ต่อเชื่อมกับอุปกรณ์รับและแปลงสัญญาณเพื่อเก็บข้อมูลในรูปแบบดิจิทัลที่มีคุณสมบัติของ A/D Converter เท่ากับ 32 บิต ชุดเครื่องมือที่ใช้มีจำนวน 3 ชุด โดยที่แต่ละชุดวัดพร้อมกันด้วยการปรับเวลาให้ตรงกันด้วยนาฬิกาจาก GPS ที่มีความละเอียด 1/100 วินาที ในทุกตำแหน่งที่ตรวจวัดมีการตรวจสอบช่วงความถี่ที่สามารถใช้งานได้ โดยพิจารณาจากความเข้ากันของสัญญาณความถี่ต่างเฟสที่ตรวจวัดจากเครื่องมือแต่ละชุด ซึ่งพบว่าเนื่องจากพื้นที่เป็นสภาพดินแข็ง และมีสัญญาณคลื่นที่ผิวดินในระดับต่ำมาก ช่วงความถี่ที่ใช้ได้จึงมีค่าสูงกว่า 1 Hz ขึ้นไป (แตกต่างจากบริเวณดินอ่อน เช่น กทม. ที่ความถี่ที่ใช้งานได้ประมาณ 0.3 Hz ขึ้นไป)

รูปแบบที่ใช้ในการเก็บข้อมูลภาคสนามคือวางหัววัดเป็นโครงข่ายแบบสามเหลี่ยมด้านเท่า ซึ่งมีหัววัดจำนวน 3 ชุดวางที่มุมของรูปสามเหลี่ยมและไม่มีหัววัดที่จุดศูนย์กลาง ตัวอย่างของเครื่องมือที่ใช้และการเก็บข้อมูลภาคสนามแสดงดังรูปที่ 2 ขนาดของโครงข่ายมีขนาดตั้งแต่ 5 เมตร ถึง 50 เมตร ในการคำนวณความเร็วคลื่นเหมือน ระดับความลึกมากที่สุดที่ประเมินได้จากการวิเคราะห์ย้อนกลับได้กำหนดให้มีค่าไม่เกินกว่าความยาวคลื่นที่วัดได้สูงสุดหารสอง โดยในการศึกษานี้ ความเร็วคลื่นเหมือนตามความลึกประเมินสำหรับค่าที่ระดับความลึกประมาณ 100 เมตรจากผิวดิน



รูปที่ 2 เครื่องมือสำหรับการวัดคลื่นขนาดเล็กที่ผิวดินและการเก็บข้อมูลภาคสนาม

### 2.3 การวิเคราะห์ผลตอบสนองของชั้นดินด้วยวิธีเชิงเส้นเทียบเท่า ด้วยแบบจำลอง 1 มิติ

การวิเคราะห์ผลตอบสนองของชั้นดินใช้เพื่อประเมินขนาดและลักษณะของแผ่นดินไหวที่อาจเกิดขึ้นเนื่องจากสภาพของชั้นดินบริเวณที่ตั้ง ขั้นตอนหลักคือการจำลองสภาพของชั้นดินให้มีความเป็นเนื้อเดียวกันและเรียงตัวเป็นชั้นที่ไม่มีขอบเขตทางข้าง มีคุณสมบัติ viscoelastic และมีการแปรในแนวตั้งจากชั้นล่างสู่ผิวพื้นดินของคลื่นเฉือน ซึ่งวิธีวิเคราะห์ที่รวมพฤติกรรมไร้เชิงเส้นของโมดูลัสเฉือนและความหน่วงของชั้นดินด้วยคือการใช้คุณสมบัติแบบเชิงเส้นเทียบเท่าและการคำนวณซ้ำเพื่อให้ได้ค่าโมดูลัสเฉือนและความหน่วงที่สอดคล้องกับค่าความเครียดเฉือนประสิทธิผลในแต่ละชั้นดิน ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้หลักการวิเคราะห์ผลตอบสนองแบบเชิงเส้นเทียบเท่า ด้วยแบบจำลองชั้นดิน 1 มิติ โดยโปรแกรม SHAKE 91 (Schnabel et. al., 1972 [5])

พื้นที่ชุมชนของจังหวัดเชียงรายส่วนใหญ่ตั้งอยู่บนที่ราบแอ่งตะกอนขนาดเล็กด้านตะวันออกที่กระจายอยู่ระหว่างแนวเทือกเขา โดยมีแม่น้ำหลักที่ไหลผ่านพื้นที่ราบที่สำคัญคือแม่น้ำแม่กกในทางเหนือและแม่น้ำแม่ลาวในทางใต้ของจังหวัด ข้อมูลทางธรณีเทคนิคที่มีของพื้นที่ราบใกล้แม่น้ำแม่ลาวพบว่าจำแนกเป็นชั้นทรายละเอียด (SM) มีความลึก 3-4 เมตร ชั้นถัดลงมาเป็นชั้นดินเหนียว (CL), Silty gravel (GM-GP) และชั้นดินเหนียวละเอียดถึงชั้นทราย (SC) จากข้อมูลที่มีความลึกถึงระดับ 15 เมตร และไม่มีข้อมูลสำหรับชั้นดินที่ลึกกว่าระดับดังกล่าว สำหรับการจำลองชั้นดินเพื่อการวิเคราะห์ผลตอบสนองได้ใช้ค่าคุณสมบัติไร้เชิงเส้นของชั้นดินคือ ชั้นแรก ความหนา 1-2 เมตร ใช้คุณสมบัติชั้นดินที่มีค่า  $PI=0$  (Vucetic, M. and Dobry., 1991) [6] จากนั้นใช้คุณสมบัติของทรายประเภท Upper sand (Seed, H.B., and Idriss, I.M., 1970) [7] และชั้นหินใช้ค่าของ Schnabel (1973) [8] และในการวิเคราะห์ Transfer function ได้ทำการวิเคราะห์แบบเชิงเส้น โดยใช้ค่าอัตราส่วนความหน่วงเป็น 5% สำหรับชั้นทราย และ 2% สำหรับชั้นหิน

### 3. ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล

#### 3.1 ผลการสำรวจคุณสมบัติของชั้นดินบริเวณที่ตั้ง

การสำรวจภาคสนามเพื่อศึกษาคุณสมบัติของคาบอิทธิพลหลักและความเร็วคลื่นเฉือนของชั้นดินในพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบ ได้สำรวจจำนวน 10 ตำแหน่ง ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในพื้นที่ชุมชนที่ได้รับผลกระทบชัดเจน รวมถึงที่ อ.แม่จัน และ อ.แม่สาย ที่เป็นพื้นที่ราบลุ่มขนาดใหญ่และมีสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหวตั้งอยู่ รูปที่ 10 แสดงตำแหน่งของจุดที่ทำการสำรวจบริเวณรอบจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหวแทนด้วยสัญลักษณ์ดอกจันและมีชื่อประจำตำแหน่งเป็นตัวอักษร 4 ตัว ซึ่งแสดงค่าค่าความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยจากผิวดินถึงความลึก 30 เมตร ( $V_{s30}$ ) กำกับไว้ นอกจากนี้รูปที่ 10 ได้แสดงตำแหน่งของ Main shock และ After shock (ข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา) รวมถึงรายละเอียดความเสียหายของอาคารที่จะอธิบายในหัวข้อ 3.4 ต่อไป

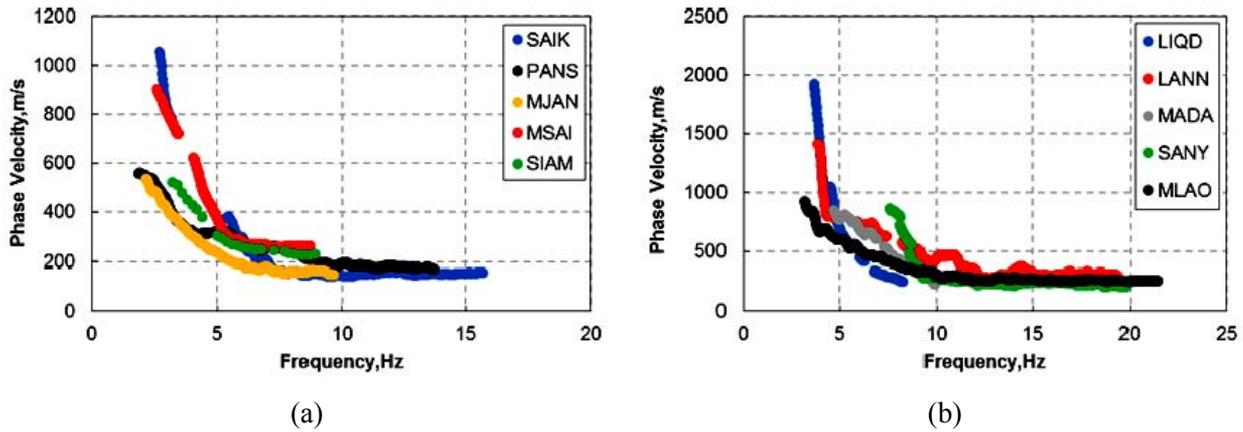
ตารางที่ 1 แสดงค่าความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยจากผิวดินถึงความลึก 30 เมตร ( $V_{s30}$ ) และค่าคาบอิทธิพลหลัก ( $T_p$ ) จากการสำรวจ ซึ่งค่าที่ได้ให้นำไปใช้วิเคราะห์ผลตอบสนองของชั้นดินรวม 6 จุด (ยกเว้น LIQD และ SANY ที่ผลการวิเคราะห์ขาดความเชื่อมั่นว่าถูกต้องดีพอ และ MJAN และ MSAI ที่เป็นบริเวณที่ไม่มีรายงานความเสียหายกับอาคาร) และตารางที่ 1 แสดงค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม และค่ากำลังขยายสูงสุด ไว้สำหรับหัวข้อที่ 3.2 และ 3.3 ต่อไป

โดยที่ค่า  $V_{s30}$  มีค่าอยู่ในช่วง 220 ถึง 400 เมตรต่อวินาที เมื่อแบ่งกลุ่มผลเพื่อการอธิบายออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่มีลักษณะของชั้นดินเป็นชั้นดินอ่อนกว่า ที่มีค่า  $V_{s30}$  ต่ำกว่า 300 เมตรต่อวินาที และกลุ่มที่เป็นดินแข็งกว่า ที่มีค่า  $V_{s30}$  สูงกว่า 300 เมตรต่อวินาที ส่วนค่าคาบอิทธิพลหลักมีค่าอยู่ในช่วง 0.2 ถึง 0.45 วินาที ยกเว้นที่ตำแหน่ง MJAN ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ตั้งอยู่บนชั้นดินตะกอนหนาและใกล้กับบริเวณที่มีการจราจรหนาแน่น

ตารางที่ 1 ตารางสรุปผลการสำรวจค่าความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ย 30 เมตร ค่าคาบอิทธิพลหลัก และผลการวิเคราะห์ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม และค่ากำลังขยายสูงสุด

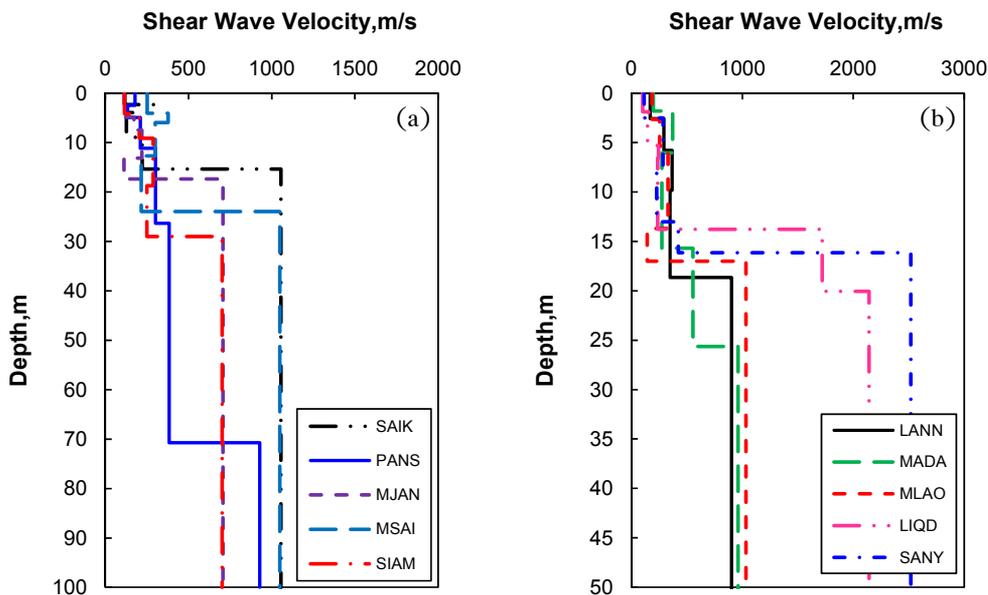
ชื่อ	ตำแหน่ง	$V_{s30}$ (m/s)	$T_p$ H/V (s)	$SA_{Max}$ (g)	Amplification <sub>Max</sub>	$T_p$ Trans. Fn.
MLAO	รร. แม่ลาววิทยาคม	348	0.32	1.13	2.17	0.35
MADA	อบต. ดงมะตะ	384	N.A.	1.34	1.94	0.27
LIQD	บ.ดงมะตะ	352	0.21	N.A.	N.A.	N.A.
SANY	รร. บ้านห้วยสำนยาว	393	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
LANN	มทร. ล้านนา	400	0.27	0.87	2.22	0.22
SAIK	รร. บ้านทรายขาว	280	0.32	0.92	2.28	0.33
PANS	รร. พานพิทยาคม	247	0.21, 0.73	0.31	1.58	0.3, 0.73
SIAM	อ.เมือง	221	0.45	0.58	2.32	0.44
MJAN	อ.แม่จัน	217	0.71	N.A.	N.A.	0.50
MSAI	อ.แม่สาย	296	0.43	N.A.	N.A.	0.42

เมื่อพิจารณาความเร็วเฟสที่ขึ้นอยู่กับความถี่ของแต่ละบริเวณแสดงดังรูปที่ 3 จากผลการวิเคราะห์พบว่า ความยาวคลื่นที่ยาวที่สุด มีค่ามากกว่า 200 เมตรสำหรับทุกบริเวณ ดังนั้น ในการคำนวณย้อนกลับเพื่อหาความลึกของชั้นดินในแต่ละบริเวณสามารถประเมินความลึกได้ถึง 100 เมตร หรือมากกว่า



รูปที่ 3 Dispersion Curve สำหรับบริเวณที่สำรวจ; (a) บริเวณดินอ่อน, และ (b) บริเวณดินแข็ง

ความเร็วคลื่นเฉือนตามความลึกที่คำนวณได้จากการคำนวณย้อนกลับแสดงดังรูปที่ 4 โดยทั่วไปความเร็วคลื่นเฉือนมีค่าเพิ่มขึ้นในชั้นดินที่ลึกขึ้น และที่ระดับความลึกประมาณ 20-30 เมตร ค่าความเร็วคลื่นเฉือนเพิ่มขึ้นอย่างฉับพลัน เป็นค่าประมาณ 1000 เมตรต่อวินาทีหรือมากกว่า ซึ่งถือว่าเป็นความลึกของชั้นหินเสมือนของตำแหน่งนั้น ยกเว้นที่ตำแหน่ง PANS, MJAN และ SIAM ซึ่งมีลักษณะของ Vs30 ที่ต่ำกว่าและระดับของชั้นหินเสมือนที่มีความลึกมากกว่า อันคาดว่าตั้งอยู่ในบริเวณแอ่งตะกอนที่ลึกกว่ารูปที่ 4(a) แสดงความเร็วคลื่นเฉือนตามความลึกสำหรับบริเวณดินอ่อน รูปที่ 4(b) แสดงความเร็วคลื่นเฉือนตามความลึกสำหรับบริเวณดินแข็ง โดยสังเกตได้ว่าความเร็วคลื่นเฉือนตามความลึกอาจมีลักษณะที่แตกต่างกันอย่างมากถึงแม้ค่าเฉลี่ย Vs30 มีค่าใกล้เคียงกันก็ตาม ตัวอย่างเช่นบริเวณ PANS, SIAM และ SAIK เป็นต้น



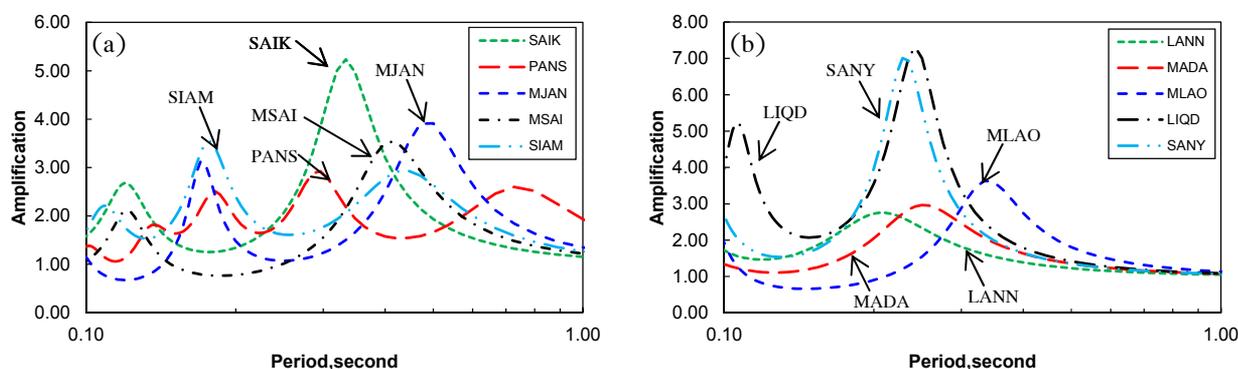
รูปที่ 4 ความเร็วคลื่นเฉือนตามความลึก; (a) บริเวณดินอ่อน, และ (b) บริเวณดินแข็ง

### 3.2 ผลการวิเคราะห์ Transfer function

Transfer function คืออัตราส่วนของค่าผลตอบสนองต่อค่าการสั่นไหวที่ป้อนเข้าไปที่คาบการสั่นต่าง ๆ ซึ่งใช้สำหรับอธิบายลักษณะการตอบสนองของระบบที่ถูกกระตุ้น โดยสำหรับชั้นดินที่ศึกษา สามารถใช้อธิบายลักษณะการขยายค่าของคลื่นแผ่นดินไหว คือ ขนาดของการขยายค่าและคาบการสั่นที่คลื่นถูกขยาย ความเร็วคลื่นเนียนตามความลึกที่ได้จากการสำรวจของแต่ละบริเวณ ได้นำมาใช้สร้างแบบจำลองชั้นดินเพื่อประเมิน Transfer Function ของการแพร่กระจายของคลื่นในแนวดิ่งโดยโปรแกรม SHAKE (Schnabel 1972 [7]) และผลการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 5a สำหรับชั้นดินอ่อน และ 5b สำหรับชั้นดินแข็ง แสดงถึงการสั่นสะเทือนจะถูกขยายชัดเจนที่หลายคาบการสั่น สำหรับคาบการสั่นหลัก  $T_p$  จากยอดแหลมของ Transfer Function ของแต่ละบริเวณแสดงไว้ในตารางที่ 1 ซึ่ง  $T_p$  จากการวิเคราะห์มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ตรวจวัดโดยวิธี H/V

สำหรับชั้นดินอ่อน คาบโหมดพื้นฐานมีค่ายาวที่สุดประมาณ 0.73 วินาทีที่บริเวณ PANS, 0.5 วินาทีที่บริเวณ MJAN, 0.44 วินาทีที่บริเวณ SIAM, 0.42 วินาทีที่บริเวณ MSAI และ 0.33 วินาทีที่บริเวณ SIAK และบริเวณที่อยู่ในพื้นที่ดินแข็งมีค่าคาบสั้นกว่า โดยที่ค่าคาบที่สั้นที่สุดมีค่าประมาณ 0.22 วินาทีที่บริเวณ LANN, ประมาณ 0.27 วินาทีที่บริเวณ SANY, LIQD และ MADA และ 0.35 วินาทีที่บริเวณ MLAO นอกจากนี้ค่าอัตราการขยายกำลังของแต่ละบริเวณสามารถทราบได้จาก Transfer Function ซึ่งบริเวณที่มีอัตราการขยายกำลังที่มาก เป็นผลมาจากความแตกต่างกันมากของค่า  $V_s$  ระหว่างชั้นหินเสมือนและชั้นดิน ตัวอย่างเช่น บริเวณ LIQD, SANY และ SIAK

สำหรับบริเวณที่มีค่าคาบยาว เช่น 0.73 วินาทีที่บริเวณ PANS (บริเวณดินอ่อน) และ 0.35 วินาทีที่บริเวณ MLAO (บริเวณดินแข็ง) ปัญหาการสั่นพ้อง (Resonant) ของอาคารที่มีค่าคาบธรรมชาติใกล้เคียงกับค่าดังกล่าวจึงอาจเป็นปัญหาที่เกิดการสั่นสะเทือนอย่างรุนแรงกับอาคารนั้นได้

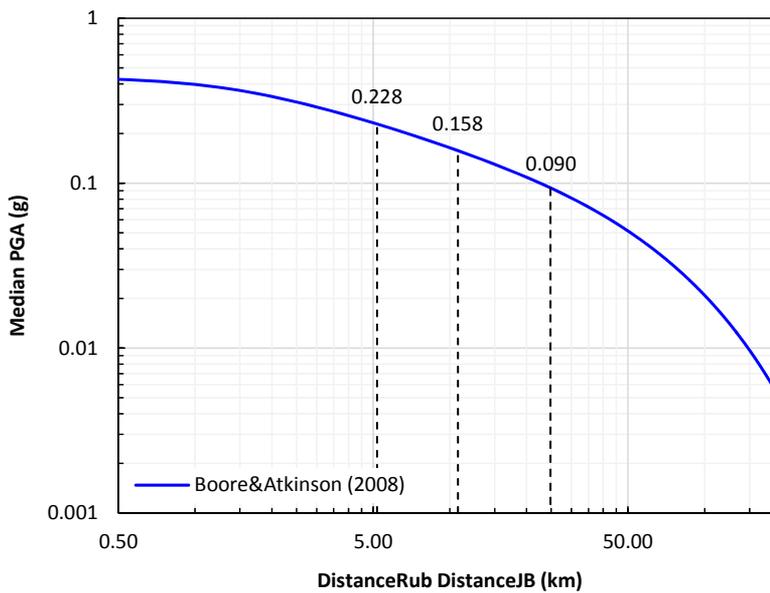


รูปที่ 5 Transfer Function; (a) บริเวณดินอ่อน, และ (b) บริเวณดินแข็ง

### 3.3 การประเมินค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่ชั้นผิวดิน

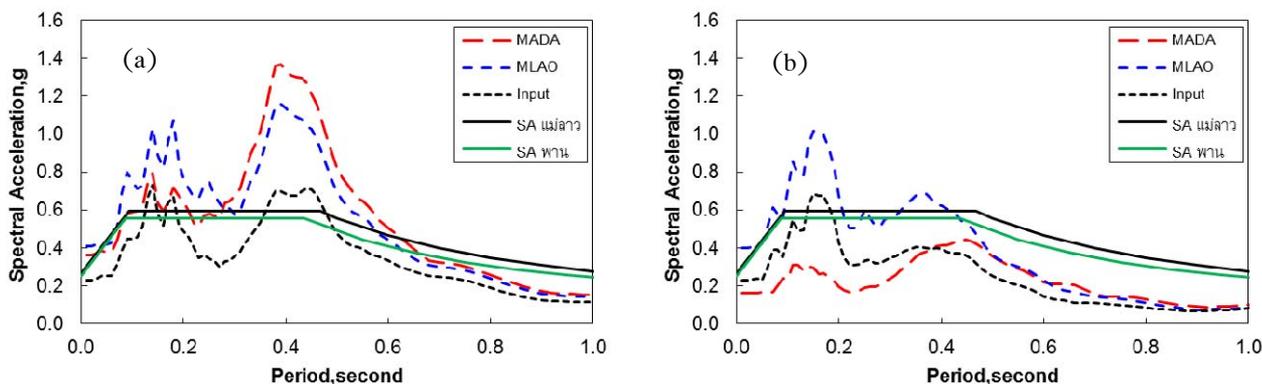
การสั่นสะเทือนที่พื้นดินที่เป็นผลจากแผ่นดินไหววันที่ 5 พฤษภาคม 2557 สำหรับพื้นที่ต่าง ๆ เป็นข้อมูลที่สำคัญแต่ยังขาดอยู่ เนื่องจากไม่มีสถานีบันทึกคลื่นแผ่นดินไหวที่ตำแหน่งที่ได้รับผลกระทบจากแผ่นดินไหวไว้ การศึกษาในส่วนนี้เป็นความพยายามที่จะประเมินลักษณะของแผ่นดินไหวของแต่ละบริเวณที่ได้ทำการสำรวจคุณสมบัติของชั้นดิน โดยจำลองชั้นดินด้วยค่าความเร็วคลื่นเนียนตามความลึกจนถึงระดับชั้นหินเสมือนของแต่ละบริเวณแล้วทำการคำนวณการสั่นสะเทือนที่พื้นดินเนื่องจากการแพร่ขึ้นของคลื่นที่ป้อนที่ชั้นหินเสมือนด้านล่าง ซึ่งคลื่นที่ใส่ป้อนนี้ได้จากคลื่นตั้งต้นที่ตรวจวัดได้จากสถานีอ่างเก็บน้ำแม่ปืม จังหวัดพะเยา ที่มีระยะห่างจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหววันที่ 5 พฤษภาคม 2557 ประมาณ 48 กิโลเมตร แล้วทำการแปลงเป็นคลื่นที่ชั้นหินที่บริเวณต่าง ๆ ด้วยความสัมพันธ์ระหว่างค่าสูงสุดของความเร่งกับระยะห่างจากแหล่งกำเนิดโดย Boore & Atkinson (2008) โดยกำหนดค่าความเร็วคลื่นเนียน  $V_{s30} = 520$  เมตรต่อวินาที ประเภทการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อนแบบ Strike-Slip และขนาดของ

แผ่นดินไหวเท่ากับ 6.10 จากคลื่นที่สถานีอ่างเก็บน้ำแม่ปืมที่มีค่าสูงสุดของความเร่งเท่ากับ 0.067g บริเวณที่ทำการปรับขนาดคลื่นคือที่ระยะทางจากศูนย์กลาง 5 กิโลเมตร (ใช้สำหรับบริเวณ MADA และ MLAO) 10 กิโลเมตร (สำหรับ LANN และ SAIK) และ 25 กิโลเมตร (สำหรับ SIAM และ PANS) ได้ค่าความเร่งสูงสุดที่ชั้นหินเท่ากับ 0.228g, 0.158g และ 0.090g ตามลำดับ อย่างไรก็ตามการปรับเฉพาะขนาดของคลื่นเท่านั้นเป็นเพียงสมมุติฐานที่สามารถทำได้ โดยยังขาดความถูกต้องขององค์ประกอบความถี่ในคลื่นซึ่งไม่สามารถปรับได้ รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับค่าความเร่งสูงสุดจากความสัมพันธ์การลดทอนของคลื่นที่ใช้

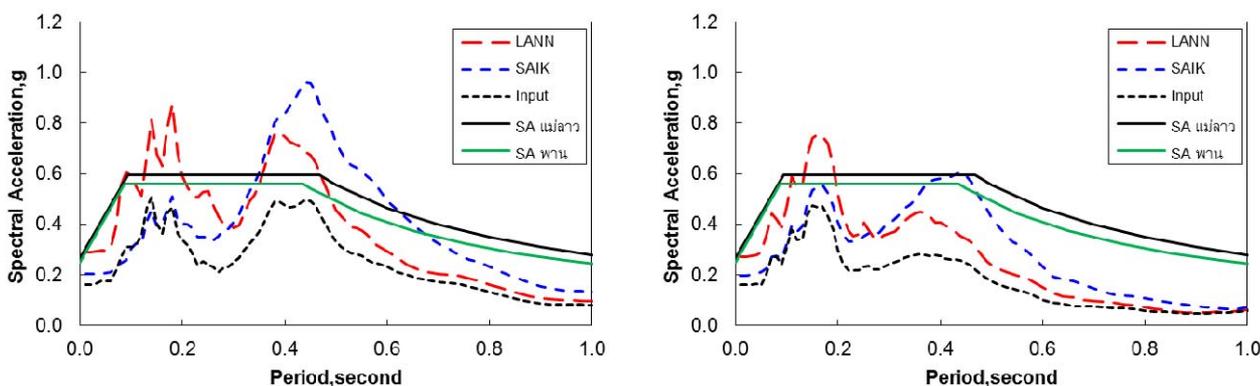


รูปที่ 6 การลดทอนของค่าความเร่งที่ชั้นหินสูงสุดตามระยะทางสำหรับบริเวณที่ศึกษา

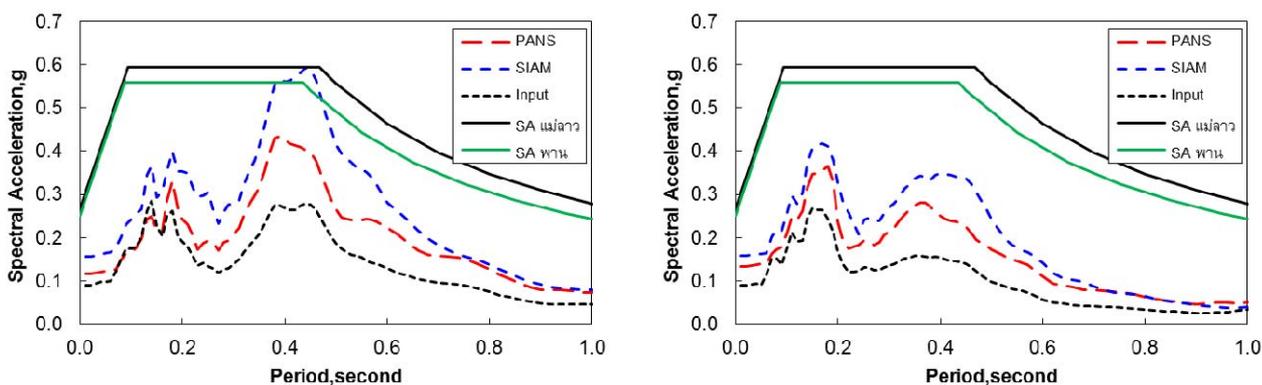
จากคลื่นแผ่นดินไหวบนพื้นที่วิเคราะห์ได้จากวิธีเชิงเส้นเทียบเท่าแบบ 1 มิติ นำมาใช้คำนวณค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม (SA) สำหรับอัตราส่วนความหน่วง 5% สำหรับคลื่นใน 2 แนวคือ E และ N และเปรียบเทียบกับค่า SA ตามมาตรฐาน มยพ.1302 สำหรับ อ.แม่ลาว และ อ.พาน ของดินประเภท D ได้ผลดังรูปที่ 7 สำหรับบริเวณ MADA และ MLAO รูปที่ 8 สำหรับบริเวณ LANN และ SAIK และรูปที่ 9 สำหรับบริเวณ SIAM และ PANS



รูปที่ 7 SA สำหรับบริเวณ MADA และ MLAO; (a) คลื่นในแนว E และ (b) คลื่นในแนว N



รูปที่ 8 SA สำหรับบริเวณ LANN และ SAIK; (a) คลื่นในแนว E และ (b) คลื่นในแนว N



รูปที่ 9 SA สำหรับบริเวณ PANS และ SIAM; (a) คลื่นในแนว E และ (b) คลื่นในแนว N

จากผลการวิเคราะห์ SA พบว่า สำหรับบริเวณ MLAO และ MADA ซึ่งเป็นพื้นที่ที่อยู่ห่างจากศูนย์กลางแผ่นดินไหวประมาณ 5 กิโลเมตร มีค่า SA สูงสุดประมาณ 1.2g ที่คาบประมาณ 0.4 วินาทีและมีอัตราการขยายกำลังของคลื่นสูงสุดประมาณ 2 เท่า ส่วน

บริเวณห่างออกไปที่ LANN และ SAIK มีค่า SA มีค่าสูงสุดประมาณ 1.0g ที่คาบประมาณ 0.4 วินาที และอัตราการขยายกำลังของคลื่นประมาณ 2 เท่า โดย SA ของ SAIK มีค่าสูงกว่าเนื่องจากลักษณะของดินที่มีค่า Vs ต่ำกว่า สำหรับบริเวณ SIAM และ PANS มีค่า SA มีค่าสูงสุด 0.6 และ 0.4g ตามลำดับ และอัตราการขยายกำลังของคลื่นอยู่ในช่วง 1.5-2 เท่า ค่า SA สรุปในตารางที่ 1 โดยค่า SA ที่วิเคราะห์สำหรับพื้นที่ในรัศมี 10 กิโลเมตรมีค่าสูงกว่าค่าตามมาตรฐาน มยผ. 1302 อย่างมีนัยสำคัญ

### 3.4 ลักษณะการกระจายตัวของอาคารที่เสียหาย

จากการสำรวจลักษณะความเสียหายของอาคารพบว่า อาคารส่วนใหญ่ที่เสียหายเป็นบ้านขนาดเล็กที่ไม่ได้ออกแบบและก่อสร้างตามหลักวิศวกรรมอย่างเหมาะสม แต่มีบางส่วนเป็นอาคารขนาดใหญ่ เช่น โรงเรียนและสำนักงานทางราชการ ที่เสียหายรุนแรงเช่นกัน ความเสียหายที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่เป็นผลมาจากวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง หรือกระบวนการก่อสร้างมีคุณภาพต่ำ นอกจากนี้ รูปแบบของอาคารที่ไม่เหมาะสม เช่น อาคารที่มีมวลมาก มีลักษณะชั้นอ่อน (Soft Story) เสาสั้น (Captive Column) และความไม่สม่ำเสมอเชิงการบิด (Torsional Irregularity) ปัจจัยเหล่านี้เป็นสาเหตุหลักที่ทำให้อาคารเกิดความเสียหาย อาคารโรงเรียนที่สร้างแบบคอนกรีตเสริมเหล็กขนาด 2 ถึง 4 ชั้น หลายแห่งได้รับความเสียหายอย่างหนัก เนื่องจากอาคารเหล่านี้ถูกก่อสร้างก่อนที่จะมีกฎกระทรวงสำหรับการออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหวปี พ.ศ. 2540

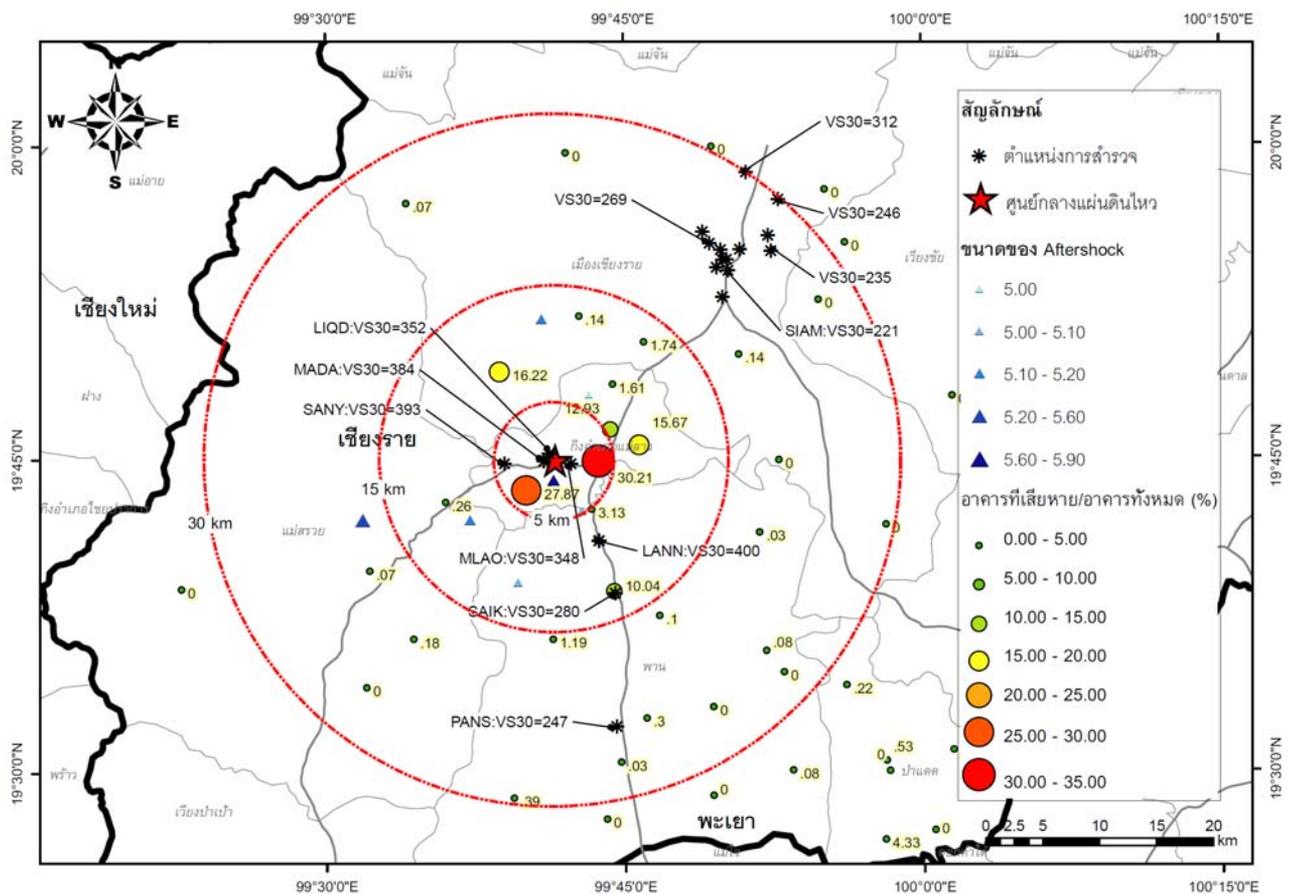
จากรายงานของ ศปอ. ความเสียหายส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นกับอาคารอยู่ในพื้นที่ 45 ตำบลใน 7 อำเภอ ซึ่งอยู่ในรัศมีประมาณ 30 กิโลเมตรจากจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหว จากเหตุการณ์ครั้งนี้ ศปอ. ได้ทำการสำรวจและแบ่งประเภทความเสียหายของโครงสร้างออกเป็น 3 ระดับคือ 1) สามารถใช้งานได้โดยปลอดภัย 2) เสียหายบางส่วนรื้อซ่อมแซม สามารถใช้งานได้ในบริเวณพื้นที่ที่กำหนด 3) เสียหายรุนแรงและเป็นอันตราย ไม่สามารถใช้งานอาคารได้ ผลการสำรวจพบว่า อาคารจำนวนมากกว่า 2,500 หลัง จากอาคารทั้งหมดที่มีการแจ้งว่าได้รับความเสียหายประมาณ 10,000 หลัง จัดอยู่ในประเภทความเสียหายระดับ 2 ขึ้นไป

รูปที่ 10 แสดงการกระจายตัวของความเสียหายในพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบ รวมถึงตำแหน่งของจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหวและ Aftershock ที่มีขนาดใหญ่มากกว่า 5.0 ซึ่งระดับความเสียหายในแต่ละตำบลในรูปของร้อยละของอาคารที่เสียหายระดับ 2 ขึ้นไปต่อจำนวนอาคารทั้งหมดในตำบลนั้นแสดงเป็นวงกลมที่มีขนาดต่างกันตามค่าร้อยละ และตัวเลขกำกับในแต่ละตำบลคือค่าร้อยละและจำนวนอาคารทั้งหมดในตำบลนั้น สำหรับตำแหน่งที่ทำการสำรวจ Microtremor แสดงโดยสัญลักษณ์ดอกจันร่วมกับค่า Vs30 จากแผนที่ดังกล่าวมีข้อสรุปสำคัญดังนี้

- พื้นที่ตำบลที่อยู่ในรัศมี 5 กิโลเมตรจากจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหวได้รับความเสียหายมากที่สุด โดยมีตำแหน่งที่สำรวจ Microtremor ได้แก่ MLAG, LIQD, MADA และ SANY ซึ่งมีสภาพชั้นดินเป็นดินแข็งมีค่า Vs30 อยู่ในช่วง 350 ถึง 390 เมตรต่อวินาที การสั่นไหวขนาดรุนแรงจะมีค่ามากขึ้นในช่วงคาบการสั่นประมาณ 0.25 วินาที ในพื้นที่ LIQD, MADA และ SANY ซึ่งอาจเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้บ้านเรือนขนาดเล็กในพื้นที่นี้ได้รับความเสียหายจำนวนมาก สำหรับอาคารโรงเรียน 3 ชั้น ที่ได้รับความเสียหายอย่างรุนแรงในพื้นที่บริเวณ MLAG อาจมีสาเหตุส่วนหนึ่งมาจากการสั่นพ้องของอาคารนี้ใกล้เคียงกับคาบการสั่นหลักในระหว่างเกิดแผ่นดินไหว นอกจากนี้ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่ผิวดิน (SA) ในพื้นที่นี้มีค่าสูง ส่งผลให้อาคารบ้านเรือนในบริเวณนี้ได้รับความเสียหายมากกว่าพื้นที่อื่น ๆ
- ร้อยละของการกระจายความเสียหายของอาคารมีค่าลดลงสำหรับพื้นที่ที่ห่างจากศูนย์กลางแผ่นดินไหว แต่อย่างไรก็ตาม บริเวณ SAIK มีร้อยละความเสียหายที่ค่อนข้างสูงเมื่อพิจารณาที่ระยะทาง และเมื่อเปรียบเทียบคุณลักษณะของชั้นดินกับบริเวณ LANN พบว่าบริเวณ SAIK มีค่า Vs สำหรับดินชั้นต้น ๆ มีค่าต่ำและมีความแตกต่างของค่า Vs ในแต่ละชั้นสูงกว่า ส่งผลให้ Transfer Function และ SA มีค่าสูงอย่างชัดเจน ส่วนบริเวณ LANN ชั้นดินมีความแข็งมากกว่า ทำให้อาคารบริเวณ LANN ได้รับผลกระทบน้อยกว่า ซึ่งปริมาณอาคารที่เสียหายในสองบริเวณนี้สอดคล้องกับการศึกษาผลกระทบของชั้นดินบริเวณที่ตั้ง
- บริเวณ PANS ห่างจากจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหวลงมาทางใต้ประมาณ 25 กิโลเมตร ลักษณะของบริเวณนี้เป็นชั้นดินที่หนาและมีค่า Vs ต่ำ และจาก SA ที่มีค่าสูงที่บริเวณคาบการสั่นประมาณ 0.2 และ 0.4 วินาที ที่บริเวณนี้มีอาคารเรียน 4 ชั้น ที่มีมิติ กว้าง 20 เมตร ยาว 80 เมตร และ สูง 16 เมตร ได้รับความเสียหายอย่างรุนแรงและต้องการก่อสร้าง

ใหม่ จากการตรวจวัดคาบธรรมชาติของอาคารหลังจากเกิดความเสียหายรุนแรงที่เสาและผนังชั้นล่างพบว่า ค่าคาบธรรมชาติเท่ากับ 0.364, 0.757 และ 0.206 วินาที สำหรับการสั่นในแนวนอนกับด้านยาว แนวตั้งฉากกับด้านยาว และแนวบิด ตามลำดับ และหากประเมินว่าความเสียหายจากแผ่นดินไหวทำให้คาบธรรมชาติของอาคารเพิ่มขึ้นจากเดิมเป็น 1.5 เท่า ดังนั้นคาบธรรมชาติของอาคารก่อนเกิดความเสียหายควรมีค่าประมาณ 0.243, 0.505 และ 0.137 วินาที ซึ่งการสั่นหลักในทั้ง 2 ทิศทาง มีค่าคาบการสั่นที่ใกล้เคียงกับค่าที่มีค่า SA สูง และอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้อาคารนี้เสียหายรุนแรงถึงแม้ตั้งอยู่ห่างจากศูนย์กลางแผ่นดินไหวมาก

- เขตอำเภอเมืองเชียงรายใกล้กับตำแหน่งบริเวณ SIAM และมีความเสียหายของบ้านเรือนจำนวนไม่มาก แต่เนื่องจากคุณสมบัติของชั้นดินค่อนข้างอ่อน ทำให้อาคารโรงเรียนบางแห่งได้รับความเสียหายเล็กน้อย โดยมีการแตกร้าวในส่วนที่ไม่ใช่โครงสร้างหลัก อย่างไรก็ตามค่า SA ที่ได้อยู่ในระดับที่มากกว่าบริเวณ PANS ซึ่งจำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมสำหรับคลื่นที่เหมาะสมที่ใช้ในการป้อนที่ชั้นหินและคุณสมบัติของเชิงพลศาสตร์ของอาคาร



รูปที่ 10 แผนที่แสดงการกระจายตัวของอาคารที่ได้รับความเสียหาย ตำแหน่งการสำรวจและค่า Vs30 และตำแหน่งศูนย์กลางแผ่นดินไหวและ Aftershock

#### 4. สรุปผลการศึกษา

บทความนี้นำเสนอผลการสำรวจภาคสนามของคุณลักษณะของชั้นดินบริเวณที่ตั้งและการวิเคราะห์ผลตอบสนองของพื้นดินสำหรับบริเวณพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากแผ่นดินไหวเมื่อวันที่ 5 พฤษภาคม 2557 จังหวัดเชียงราย ผลการสำรวจภาคสนามที่ได้คือความเร็วคลื่นเฉือนและค่าคาบอิทธิพลหลักของชั้นดิน แล้วทำการสร้างแบบจำลองของชั้นดินเพื่อการประเมินผลจากแผ่นดินไหว

ไหวในพื้นที่ตำแหน่งต่าง ๆ และนำเสนอผลประกอบการกระจายตัวของอาคารที่เสียหายในแต่ละตำบล ข้อเสนอสำคัญที่ได้จากการศึกษามีดังนี้

- พื้นที่ที่ศึกษามีลักษณะทางธรณีเทคนิคที่แตกต่างกันได้มากแม้อยู่ในบริเวณใกล้เคียงกัน โดยมีค่า Vs30 อยู่ในช่วงประมาณ 220 ถึง 400 เมตรต่อวินาที และมีค่าคาบอิทธิพลหลักอยู่ในช่วง 0.2 ถึง 0.7 วินาที พื้นที่ที่เป็นดินแข็งคือบริเวณใกล้ศูนย์กลางแผ่นดินไหว เช่น ตำบลดงมะดะ อำเภอแม่ลาว ส่วนบริเวณพื้นที่ที่ราบและอยู่บนชั้นดินอ่อนกว่าได้แก่ ตำบลเมืองพาน อำเภอพาน เขตชุมชนในอำเภอเมือง และอำเภอแม่จัน
- ความหนาของชั้นดินก่อนถึงชั้นหินเสมือนที่ประเมินได้ในอำเภอแม่ลาวมีค่าประมาณ 20 ถึง 30 เมตร แต่พบว่าชั้นดินมีความหนามากกว่าในพื้นที่อำเภอพาน อำเภอเมือง และอำเภอแม่จัน
- ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่ผิวดิน (SA) สำหรับพื้นที่ที่อยู่ภายในรัศมีประมาณ 10 กิโลเมตรจากศูนย์กลางแผ่นดินไหวมีค่ามากกว่า 1.0g มีค่าคาบอิทธิพลหลักอยู่ในช่วง 0.25 ถึง 0.35 วินาที ซึ่งค่า SA ที่ประเมินได้ มีค่าสูงกว่าค่าที่กำหนดสำหรับใช้ออกแบบตามมาตรฐาน มยพ. 1302 ในพื้นที่นี้อย่างมาก และเกิดความเสียหายต่ออาคารจำนวนมาก
- ในตำแหน่งสำรวจที่อยู่ห่างจากบริเวณศูนย์กลางแผ่นดินไหวประมาณ 15 กิโลเมตร พบว่าเกิดความเสียหายต่ออาคารจำนวนมากสำหรับพื้นที่ที่มีความเร็วคลื่นเฉือนต่ำ แต่สำหรับบริเวณที่มีความเร็วคลื่นเฉือนสูงกว่าและอยู่ในระยะห่างใกล้เคียงกันพบว่ามี ความเสียหายเกิดขึ้นต่ออาคารน้อยกว่า
- ที่ตำบลเมืองพาน อำเภอพาน ซึ่งอยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางประมาณ 25 กิโลเมตร และมีสภาพเป็นชั้นดินหนาและมี Vs ค่อนข้างต่ำ แผ่นดินไหวที่ประเมินได้มีค่าประมาณ 0.4g และมีค่าต่ำกว่าค่าตาม มยพ. 1302 แต่ได้สร้างความเสียหายรุนแรงต่ออาคารโรงเรียนสูง 4 ชั้น ซึ่งอาจมีสาเหตุส่วนหนึ่งมาจากการที่อาคารมีมวลมากและมีคาบธรรมชาติใกล้เคียงกับคาบการสั่นของแผ่นดินไหว
- มีหลายพื้นที่ชุมชนในจังหวัดเชียงรายที่แสดงถึงลักษณะของชั้นดินที่มีค่า Vs ค่อนข้างต่ำ และมีโอกาสที่จะสามารถขยายระดับความรุนแรงของแผ่นดินไหวได้ อาคารและสิ่งปลูกสร้างในบริเวณนี้จึงมีความเสี่ยงจากแผ่นดินไหวค่อนข้างสูง โดยเฉพาะอาคารขนาดใหญ่ที่อาจมีคาบธรรมชาติอยู่ในช่วงที่มีค่า SA สูงแม้เป็นแผ่นดินไหวที่ไกลจากศูนย์กลาง

### กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย (สกว.) งานวิจัยเลขที่ RDG5630018 และขอขอบคุณอาจารย์รัฐพล เกติยศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย ที่ให้ความช่วยเหลือข้อมูลพื้นที่ทำการสำรวจ

### เอกสารอ้างอิง

- [1] ศูนย์ประสานงานเพื่อตรวจสอบอาคารเนื่องจากภัยพิบัติแผ่นดินไหวจังหวัดเชียงราย (ศปอ.) กรมโยธาธิการและผังเมืองจังหวัดเชียงราย รายงานสรุปผลการตรวจสอบอาคารที่เสียหาย รายงานเมื่อวันที่ 16 มิถุนายน 2557
- [2] Nakamura Y. (1989), "A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface using Microtremor on the Ground Surface", Q. Rep. Railw. Tech. Res. Inst. 30, No. 1, 25-33.
- [3] Aki K. (1957) "Space and Time Spectra of Stationary Stochastic Waves, with Special Reference to Microtremors", Bulletin of the Earthquake Research Institute, No. 22: 415-456.
- [4] Okada H. (2003) The Microtremor Survey Method (translated by Koya Suto), Geophysical Monograph Series, No.12, Society of Exploration Geophysicists.
- [5] Schnabel, P.B., Lysmer, J. and Seed, H.B. (1972) SHAKE: A Computer Program for Earthquake Response Analysis of Horizontally Layered Sites. Report No. UCB/EERC-72/12, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley.
- [6] Vucetic, M. and R. Dobry., (1991) "Effect of plasticity on cyclic response" Journal of Geotechnical Engineering, ASCE. Vol. 117. No.1: 89-107
- [7] Seed, H.B., and Idriss, I.M., (1970) Soil moduli and damping factors for dynamic response analyses. Rep. No. EERC-70/10., Earthquake Engineering Research Center, Univ. of California at Berkeley



- [8] Schnabel, P.B., (1973) Effects of local geology and distance from source on earthquake ground motions. Ph.D. thesis, University of California, Berkeley
- [9] Yokoi T. (2005) "Combination of Down Hill Simplex Algorithm with Very Fast Simulated Annealing Method-an Effective Cooling Schedule for Inversion of Surface Wave's Dispersion Curve", Proc. of the Fall Meeting of Seismological Society of Japan. B049.