



กราฟสเปกตรัมผลตอบสนองที่สร้างจากผลเจาะสำรวจดินในจังหวัดพะเยา
SEISMIC RESPONSE SPECTRUM CURVE CREATED FROM SITE EXPLORATION
IN PHAYAO PROVINCE

ปรีดา ไชยมหาวัน^{1*} กัทรมน วงศ์ราษฎร์² และ ธนกร ชมภูรัตน์¹
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา

บทคัดย่อ

บทความนี้ นำเสนอแนวโน้มของกราฟสเปกตรัมผลตอบสนอง ที่ใช้สำหรับการออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหวด้วยวิธีพลศาสตร์ ตามมาตรฐานของกรมโยธาธิการ (มยพ 1302-52) โดยกราฟดังกล่าวนี้สร้างขึ้นจากผลการเจาะสำรวจดินในสนาม ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดพะเยา ทั้งหมด 35 หลุมเจาะ ข้อมูลคุณสมบัติของดินภายในหลุมเจาะ ถูกนำมาใช้คำนวณเพื่อสร้างเป็นความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งตอบสนองกับคาบธรรมชาติ เพื่อให้ได้กราฟสเปกตรัมผลตอบสนองแบบจำเพาะเจาะจงในสถานที่ที่อาคารตั้งอยู่ ผลการศึกษาพบว่า กราฟที่ได้มีแนวโน้มที่จะให้ค่าผลตอบสนองเป็นไปตามลักษณะของดินแบบ C ร้อยละ 60.0 รองลงมากราฟเป็นไปตามลักษณะดินแบบ D ร้อยละ 34.3 และกราฟเป็นไปตามลักษณะดินแบบ E ร้อยละ 5.7 โดยกราฟมีลักษณะ $S_{D1} \leq S_{DS}$ ทั้งหมด นอกจากนี้แล้ว ผู้วิจัยได้รวบรวมกราฟดังกล่าวเผยแพร่บนเว็บไซต์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา (http://www.ce.eng.up.ac.th/response_curve/) เพื่อให้วิศวกรออกแบบ หรือผู้ที่สนใจ สามารถดาวน์โหลด ข้อมูล เพื่อใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงเบื้องต้นสำหรับการออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหวในบริเวณตำแหน่งที่ใกล้เคียงกับหลุมเจาะ ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดพะเยา ได้อย่างสะดวกอีกด้วย

คำสำคัญ: กราฟสเปกตรัมผลตอบสนอง การออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหว การออกแบบโครงสร้างด้วยวิธีเชิงพลศาสตร์ การวิเคราะห์การตอบสนองของชั้นดิน ผลเจาะสำรวจดินในจังหวัดพะเยา

ABSTRACT

This paper present the trends of response spectrum curve for seismic building design by dynamic analysis method based on the Department of Public Works and Town & Country Planning Standard (DPT 1302-52). The graphs are constructed from the 35 site exploration bored holes in Phayao district Province. The data of soil properties in the boring logs were used for creating the specific response spectrum curve with the relationship of ground acceleration and natural period for the site where the building located on. The result show that the response spectrum curves trend to be the manner of the soil type C around 60.0 percent. The secondary type around 34.3 percent is the manner of response spectrum curve for soil type D and the final type is the manner of the soil type E around 5.7 percent. The all of response spectrum curves are $S_{D1} \leq S_{DS}$ manner. Furthermore, the authors gather and public all 35 response spectrum curves on The School of Engineering, University of Phayao web site

Preeda Chaimahawan¹ Pattaramon Wongrat² and Thanakorn Chompoorat¹

¹Assistant Professor, School of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Phayao.

²Graduate student, School of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Phayao.

(http://www.ce.eng.up.ac.th/response_curve/). If the designed building located in Phayao district and near the bore hole, the designer engineer or interested people can download and use these response spectrum curve as the fundamental or reference data in seismic building design with ease.

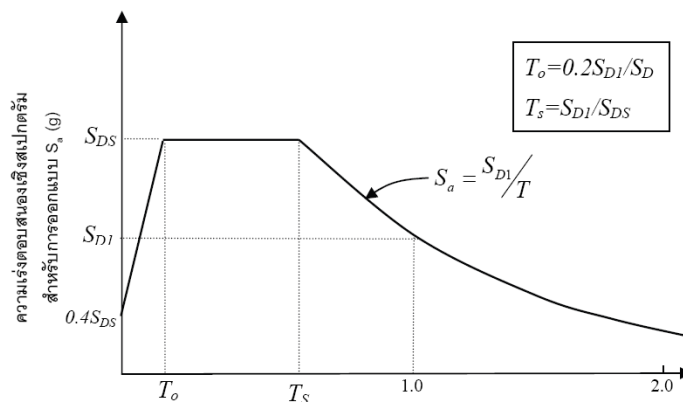
KEYWORDS: seismic response spectrum curve, seismic building design, structural dynamic design, soil layer response analysis, site exploration in Phayao province

1. บทนำ

การออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหวด้วยวิธีพลศาสตร์ เป็นวิธีที่ใช้ในการออกแบบที่ใกล้เคียงกับพฤติกรรมของอาคารภายใต้แรงกระทำของแผ่นดินไหวมากที่สุด เนื่องจากแรงแผ่นดินไหวเป็นแรงพลศาสตร์ ซึ่งขั้นตอนที่สำคัญในการออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหว นอกจากการกำหนดขนาดหน้าตัดและกำหนดรายละเอียดการเสริมเหล็กแล้ว ขั้นตอนการประมาณค่าแรงแผ่นดินไหวที่กระทำกับอาคารที่เหมาะสมถือว่าเป็นขั้นตอนที่สำคัญอีกขั้นตอนหนึ่ง ซึ่งเมื่อประมาณค่าแรงแผ่นดินไหวแล้วก็จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างและออกแบบของอาคารต่อไป โดยแรงแผ่นดินไหวที่กระทำนี้จะต้องมีค่าไม่น้อยจนทำให้อาคารไม่ปลอดภัย และมีค่าไม่มากจนเกินไปจนทำให้ห้องอาคารมีขนาดใหญ่ ไม่มีความประหยัด โดยสมการคำนวณแรงแผ่นดินไหวออกแบบหรือแรงเฉือนที่ฐานของกรมโยธาธิการนั้นปรับปรุงมาจากมาตรฐานของประเทศสหรัฐอเมริกา (ASCE7-05)[1] สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$V = S_a \left(\frac{I}{R} \right) W \tag{1}$$

- เมื่อ V เป็นแรงเฉือนที่ฐาน
- S_a เป็นความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม
- I เป็นตัวประกอบความสำคัญของอาคาร
- R เป็นตัวประกอบปรับผลตอบสนอง
- W เป็นน้ำหนักของอาคาร



รูปที่ 1 ตัวอย่างสเปกตรัมผลตอบสนองสำหรับการออกแบบด้วยวิธีเชิงพลศาสตร์ สำหรับพื้นที่ทั่วประเทศ (ยกเว้นแอ่งกรุงเทพฯ) (มยผ1302-52)[2]

จะเห็นว่าตัวแปรที่สำคัญสำหรับการคำนวณแรงแผ่นดินไหวออกแบบนั้น คือ ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม (S_a) ซึ่งค่าความเร่งนี้สามารถอ่านค่าได้จากการสร้างกราฟสเปกตรัมผลตอบสนอง และอ่านค่าให้สอดคล้องกับคาบการสั่นของโครงสร้างอาคารดังแสดงในรูปที่ 1 เป็นตัวอย่างสเปกตรัมผลตอบสนองใน มยผ 1302-52[2] ซึ่งกราฟนี้จะต้องสร้างขึ้นให้สอดคล้องกับตำแหน่งหรือที่ตั้งของตัวอาคารที่จะก่อสร้าง และสภาพของชั้นดินของอาคารที่ตั้ง ดังนั้นข้อมูลสำคัญในการสร้างกราฟผลตอบสนองเชิงสเปกตรัม ได้แก่ ผลการเจาะสำรวจดินในสนาม (boring log) ซึ่งปัจจุบันจะมีการเจาะสำรวจดินเพื่อให้ได้ข้อมูลดินไปใช้ในการออกแบบฐานราก หรือเพื่อกำหนดขนาดหน้าตัดและความยาวของเสาเข็มเท่านั้น เมื่อใช้ในโครงการก่อสร้างหนึ่งโครงการเรียบร้อยแล้ว ข้อมูลดังกล่าวก็จะสูญหายไป ไม่ได้นำกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งหากมีการก่อสร้างอาคารใหม่ใกล้เคียงกับบริเวณดังกล่าว ก็จะทำให้สูญเสียเวลา และค่าใช้จ่ายในการเจาะสำรวจใหม่อีกครั้ง ดังนั้นหากมีการรวบรวมข้อมูลดินทั่วทั้งจังหวัดและเก็บไว้เป็นฐานข้อมูล เพื่อให้วิศวกรสามารถเลือก และนำไปใช้ให้เหมาะสมตามพื้นที่แล้ว ก็จะสามารถลดระยะเวลาและค่าใช้จ่ายในการทำงานลงได้ นอกจากนี้แล้วข้อมูลการเจาะสำรวจดินดังกล่าวยังมีประโยชน์อย่างยิ่งในการนำมาใช้ในการสร้างสเปกตรัมผลตอบสนองในการออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหว

ในปัจจุบันนี้ ยังมีการนำข้อมูลการเจาะสำรวจดินมาใช้ในการสร้างสเปกตรัมผลตอบสนองที่น้อยอยู่ หรือมีการทำเฉพาะในโครงการก่อสร้างขนาดใหญ่ หรือโครงการก่อสร้างอาคารที่มีความสำคัญเท่านั้น เนื่องจากการขาดความรู้และความเข้าใจในการออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหวของวิศวกรไทยในปัจจุบัน อีกทั้งรายวิชาที่เกี่ยวกับการออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหวนั้น เป็นวิชาที่ไม่ได้บังคับให้มีการศึกษาในระดับปริญญาตรี วิศวกรจะต้องหาความรู้หรือศึกษาเพิ่มเติมจากการเข้ารับการอบรม หรืออ่านจากตำรา เอกสาร หรือศึกษาต่อในระดับปริญญาโทเท่านั้น นักวิจัยหลายคน [3-5] ได้พยายามสร้าง และพัฒนากราฟสเปกตรัมที่เหมาะสมกับพื้นที่แต่ละแห่ง เพื่อให้การนำไปใช้นั้นมีความถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้น

เมื่อวันที่ 5 พฤษภาคม 2557 ได้เกิดแผ่นดินไหวขนาด 6.3 แมกนิจูด บริเวณรอยเลื่อนพะเยา โดยมีศูนย์กลางการเกิดแผ่นดินไหวอยู่ที่ตำบลดงมะดะ อำเภอมะลาว จังหวัดเชียงราย ผลของแผ่นดินไหวครั้งนี้ทำให้อาคารและบ้านเรือนเสียหาย และพบปรากฏการณ์ลิกวิเฟกชัน (Liquefaction) เป็นบริเวณกว้างหลายพื้นที่ในเขตจังหวัดเชียงราย และจังหวัดพะเยา [6-7] ประกอบกับตั้งแต่ปี พ.ศ.2553 ถึงปัจจุบัน จังหวัดพะเยาเริ่มมีการขยายตัวทางเศรษฐกิจอย่างมากเนื่องจากการจัดตั้งมหาวิทยาลัยพะเยา ส่งผลทำให้เริ่มมีการก่อสร้างอาคารสูงจำนวนมาก อาทิ อาคารเรียน หอพัก และโรงแรม เป็นต้น ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้พยายามสร้างและรวบรวมกราฟสเปกตรัมผลตอบสนองให้สอดคล้องกับพื้นที่ โดยเริ่มจากในตัวอำเภอเมือง จังหวัดพะเยาก่อน แล้วทำเป็นฐานข้อมูลเพื่อให้ผู้ออกแบบสามารถหยิบไปใช้ได้ จะช่วยลดระยะเวลาการทำงาน ประหยัดค่าใช้จ่าย ได้ค่าแรงแผ่นดินไหวออกแบบที่ใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อสร้างฐานข้อมูลชั้นดินเชิงวิศวกรรมในอำเภอเมือง จังหวัดพะเยา
2. เพื่อสร้างฐานข้อมูล และกราฟสเปกตรัมผลตอบสนองสำหรับการออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหวในอำเภอเมือง จังหวัดพะเยา ซึ่งเป็นข้อมูลที่สำคัญในการนำไปใช้ในการประมาณค่าแรงแผ่นดินไหวในการออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหวใน อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา

3. วิธีดำเนินการวิจัย

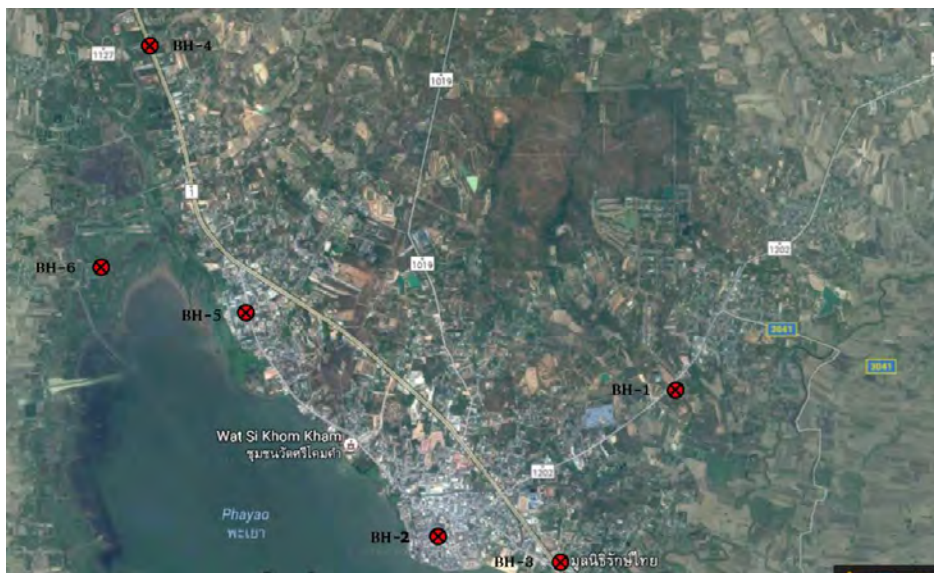
การดำเนินการวิจัยเริ่มต้นจากรวบรวมข้อมูลการเจาะสำรวจดิน โดยสามารถรวบรวมได้ทั้งสิ้น 35 หลุม เบื้องต้นได้รวบรวมข้อมูลหลุมเจาะที่ได้จากงานก่อสร้างอาคารภายในมหาวิทยาลัยพะเยา (รูปที่ 2) ซึ่งเป็นหลุมเจาะที่มีความน่าเชื่อถือสูง และจากนั้นจึงรวบรวมจากข้อมูลโครงการก่อสร้างต่างๆ ที่มีการเจาะสำรวจดิน ในเขต อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา และมีการรายงานผลต่อกรมโยธาธิการและผังเมืองจังหวัดพะเยา นอกจากนี้แล้วงานวิจัยนี้ยังได้นำงบประมาณบางส่วน มาทำการจ้างให้เจาะสำรวจดินเพิ่มเติมอีกจำนวน 6 หลุม โดยพยายามเจาะให้ได้ความลึกมากที่สุดเท่าที่ความสามารถของเครื่องมือจะทำได้ และเจาะให้ลึกถึงชั้นทรายหรือชั้นดินแน่น เพื่อให้ข้อมูลหลุมเจาะนั้นครอบคลุมทั้ง 15 ตำบล ในเขต อำเภอเมือง จ.พะเยามากที่สุด หลุมเจาะ ภาพถ่ายหลุมเจาะสำรวจเพิ่มเติมแสดงดังรูปที่ 3 ตำแหน่งหลุมเจาะสำรวจ ถูกกำหนดโดยพิจารณาการกำเนิดของดินตะกอนทางธรณีวิทยาประกอบในการตัดสินใจ และให้ครอบคลุม 15 ตำบล ในอำเภอเมือง จังหวัดพะเยา อันได้แก่ ตำบล เวียง แม่ต้า แม่นาเรือ บ้านคุ่น บ้านต้า บ้านต้อม แม่ปืม แม่กา บ้านใหม่ จำป่าห้วย ท่าวังทอง แม่ใส บ้านสาง ท่าจำปี และสันป่าม่วง จากนั้นจึงนำข้อมูลการเจาะสำรวจดิน ได้แก่ ความลึกและความหนาของชั้นดินในแต่ละชั้น ชนิดของดิน ความชันเหลวของชั้นดิน ค่า SPT ค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำของดิน (S_u) มาแปลผล เพื่อสร้างกราฟความสัมพันธ์สเปกตรัมผลตอบสนองตามมาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง (มยผ 1302-52)[2] ภาพถ่ายหลุมเจาะสำรวจดิน และ แผนที่แสดงตำแหน่งหลุมเจาะเพิ่มเติม 6 หลุม และความลึกดังรูปที่ 3 ถึงรูปที่ 5



รูปที่ 2 ตำแหน่งหลุมเจาะที่นำมาวิเคราะห์ (ต.แม่กา อ.เมืองพะเยา)



รูปที่ 3 ภาพถ่ายหลุมเจาะสำรวจเพิ่มเติมทั้ง 6 หลุม



รูปที่ 4 แผนที่แสดงตำแหน่งหลุมเจาะสำรวจเพิ่มเติม 6 หลุม



รูปที่ 5 ความลึกของหลุมเจาะสำรวจเพิ่มเติม 6 หลุม

4. แนวทางการสร้างกราฟสเปกตรัมผลตอบสนอง

การสร้างกราฟสเปกตรัมผลตอบสนองสำหรับการออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหว จำเป็นที่จะต้องจำแนกประเภทชั้นดินของที่ตั้งอาคาร โดยหากไม่มีผลการเจาะสำรวจดินแล้ว มักกำหนดชั้นดินเป็นประเภท D ซึ่งเป็นลักษณะดินแน่น (stiff soil) ดินประเภท D นั้น มีค่าความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ย (\bar{v}_s) ระหว่าง 180-360 เมตร/วินาที มีค่าการทดสอบฝังจัมมาตรฐานเฉลี่ย (SPT N) อยู่ระหว่าง 15-50 ครั้ง และมีกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (\bar{S}_u) ระหว่าง 15 – 50 กิโลปาสกาล อย่างไรก็ตาม การจำแนกประเภทของดินที่ถูกต้องที่สุดจะต้องใช้เครื่องมือวัดความเร็วคลื่นเฉือน (shear wave velocity) ในช่วง 30 เมตรแรก โดยต้องให้นักธรณีวิทยาเป็นผู้แปลผล ซึ่งการวัดจะต้องมีเครื่องกำเนิด เครื่องรับสัญญาณ (seismograph) ในทางปฏิบัติเป็นไปได้ยาก เนื่องจากเครื่องมือมีราคาสูงและต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญเฉพาะทางเท่านั้น มยพ. 1302-52[2] ได้ให้แนวทางในการจำแนกประเภทของชั้นดินที่ตั้งอาคารจาก

4.1 ค่าการทดสอบฝังจัมมาตรฐานเฉลี่ย (Average Field Standard Penetration Resistance, \bar{N})

ค่าของการทดสอบฝังจัมมาตรฐานเฉลี่ย (\bar{N}) ในช่วงความลึก 30 เมตรแรก สามารถคำนวณได้จาก

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{N_i}} \quad (2)$$

เมื่อ N_i เป็นค่าการทดสอบฝังจุมมาตรฐาน หรือ การทดสอบ Standard Penetration Test (SPT) สำหรับชั้นดินทราย ดินเหนียว และหิน ชั้นดินที่ i

d_i เป็นความหนา สำหรับชั้นดินทราย ดินเหนียว และหิน ชั้นดินที่ i

n เป็น จำนวนชั้นดิน ในช่วงความลึก 30 เมตรแรก

4.2 ค่าการทดสอบฝังจุมมาตรฐานเฉลี่ยสำหรับชั้นทราย ($PI < 20$) (Average Standard Penetration Resistance for Cohesionless Soil Layer, \bar{N}_{ch}) ค่าดังกล่าวสามารถคำนวณได้จาก

$$\bar{N}_{ch} = \frac{d_s}{\sum_{i=1}^m \frac{d_{si}}{N_{si}}} \quad (3)$$

เมื่อ N_{si} เป็นค่าการทดสอบฝังจุมมาตรฐานสำหรับชั้นดินทรายที่ i

d_{si} เป็นความหนาสำหรับชั้นดินทรายชั้นดินที่ i

d_s เป็นความหนาของชั้นดินทรายทั้งหมดในช่วง 30 เมตรแรก ($\sum_{i=1}^m d_i = d_s$ โดย m เป็นจำนวนชั้นดินทราย)

4.3 ค่ากำลังแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำเฉลี่ย (\bar{S}_u) สำหรับดินเหนียว ($PI > 20$) โดยสามารถคำนวณได้จาก

$$\bar{s}_u = \frac{d_c}{\sum_{i=1}^k \frac{d_{ci}}{s_{ui}}} \quad (4)$$

เมื่อ d_c เป็นความหนาของชั้นดินเหนียวทั้งหมดในช่วง 30 เมตรแรก

d_{ci} เป็นความหนาสำหรับชั้นดินเหนียวชั้นดินที่ i

s_{ui} เป็นค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำของชั้นดิน i แต่ไม่เกิน 240 กิโลปาสกาล

ซึ่งงานวิจัยฉบับนี้ได้ใช้ข้อมูลการเจาะสำรวจดินในสนาม โดยนำค่า \bar{N} \bar{N}_{ch} และ \bar{S}_u มาใช้จำแนกประเภทของชั้นดิน เพื่อสร้างเป็นกราฟสเปกตรัมผลตอบสนองที่มีความแม่นยำมากที่สุด เกณฑ์การจำแนกประเภทของชั้นดินตาม มยพ.1302-52[2]

5. ตัวอย่างการสร้างกราฟสเปกตรัมผลตอบสนองของที่ตั้งอาคาร

ในหัวข้อนี้จะนำเสนอตัวอย่างการสร้างกราฟสเปกตรัมผลตอบสนองของที่ตั้งอาคาร โดยนำหลุมเจาะ BH-5 ซึ่งเป็นหลุมเจาะที่ได้ทำการเจาะสำรวจเพิ่มเติมตามรูปที่ 4 และ 5 มาแสดงตัวอย่างในการคำนวณ โดยหลุมดังกล่าวมีการเจาะสำรวจพบทั้งชั้นดินเหนียวและชั้นทราย สำหรับหลุมเจาะสำรวจ BH-5 แสดงดังรูปที่ 6 ความลึกของหลุมเจาะประมาณ 13 เมตร

BOREHOLE # BH-5						Page 1 of 1						
Project No: 16288 Project: วิจัยการลดภัยพิบัติจากแผ่นดินไหวในจังหวัดพะเยา Site Location: ตำบลเมืองงาย จังหวัดพะเยา			Ground Elev.(m): G.W.L (m): 2.00 Total Depth (m): 12.45		Date Started: 8 August 2016 Date Finished: 8 August 2016 Co-ordinate(N): Co-ordinate(E):							
Depth (m)	Sample Type	Symbols Type	Number	Symbols	SOIL DESCRIPTION	Unit Weight (kN/m ³)	PL Wn LL		Suc (kN/m ²)		SPT (N)	
							15	20	20	40	60	80
0					Ground Surface							
0	SS	SS	1		Stiff to hard CLAY, brown and brownish grey to grey, low plasticity. (CL)	0.00					12	
1	SS	SS	2								20	
2	SS	SS	3								29	
3	SS	SS	4								23	
4	SS	SS	5								34	
5	SS	SS	6								18	
6	SS	SS	7								23	
7	SS	SS	8								28	
8	SS	SS	9								36	
9	SS	SS	10								52	
9	SS	SS	11		Very dense silty SAND, brown, fine to medium grained. (SM)	8.50					51	
10	SS	SS	12								54	
11	SS	SS	13								52	
12	SS	SS	13		Hard CLAY, reddish brown, low plasticity. (CL)	11.50					52	
12.45					End of Borehole	12.45						

รูปที่ 6 ผลเจาะสำรวจดิน BH-5

จากข้อมูลผลเจาะสำรวจดินค่าของการทดสอบฝั่งจมาตรฐานเฉลี่ยสำหรับชั้นทราย (\bar{N}_{ch}) ในช่วงความลึก 30 เมตรแรก สามารถคำนวณได้จาก (3)

เมื่อ m เป็น จำนวนชั้นดินทราย ในช่วงความลึก 30 เมตรแรก มีค่าเท่ากับ 3

d_{si} เป็นความหนาสำหรับชั้นดินทรายชั้นดินที่ i เท่ากับ 0.45 เมตร

d_s เป็นความหนาของชั้นดินทรายทั้งหมดในช่วง 30 เมตรแรก $d_s = \sum_i^m d_i = 0.45 + 0.45 + 0.45 = 1.35$ เมตร

N_{si} เป็นค่าการทดสอบฝังจัมมาตรฐาน หรือ การทดสอบ Standard Penetration Test (SPT) สำหรับชั้นดินทราย ชั้นดินที่ i

$$\sum_{i=1}^4 \frac{d_{si}}{N_{si}} = \frac{0.45}{52} + \frac{0.45}{51} + \frac{0.45}{54} = 0.0258$$

$$\bar{N}_{ch} = \frac{\sum_{i=1}^n d_{si}}{\sum_{i=1}^n \frac{d_{si}}{N_{si}}} = \frac{1.35}{0.0258} = 52.3$$

ค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำเฉลี่ย (\bar{s}_u) ของชั้นดินสามารถคำนวณได้จาก (4)

เมื่อ d_c เป็นความหนาของชั้นดินเหนียวทั้งหมดในช่วง 30 เมตรแรก ซึ่งมีค่าเท่ากับ $10 \times 0.45 = 4.5$ เมตร

d_{ci} เป็นความหนาสำหรับชั้นดินเหนียวชั้นดินที่ i

s_{ui} เป็นค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำของชั้นดิน i ค่า s_{ui} ประมาณได้จากสมการความสัมพันธ์ของ

Terzaghi และ Peck [8] $Q_u = 1.45(N)$ ดันต่อตารางเมตร เมื่อ $s_u = \frac{1}{2}Q_u$

$$\sum_{i=1}^{10} \frac{d_i}{s_{ui}} = \frac{1}{9.81} \times \left(\frac{0.45}{7.95} + \frac{0.45}{13.25} + \frac{0.45}{19.21} + \frac{0.45}{15.24} + \frac{0.45}{22.53} + \frac{0.45}{11.93} + \frac{0.45}{15.24} + \frac{0.45}{18.55} + \frac{0.45}{23.85} + \frac{0.45}{34.45} \right) = 0.0293$$

จะได้ $\bar{s}_u = \frac{d_c}{\sum_{i=1}^k \frac{d_i}{s_{ui}}} = \frac{4.5}{0.0293} = 154$ กิโลปาสกาล

$\bar{N}_{ch} = 52.3 > 50$ และ $\bar{S}_u = 154 > 100$ กิโลปาสกาล ดังนั้น ดินดังกล่าวเป็นประเภท C หรือ Very dense soil and soft rock

ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมของแผ่นดินไหวรุนแรงสูงสุดที่พิจารณา ที่คาบการสั่น 0.2 วินาที (S_s) เท่ากับ 0.630g และคาบการสั่น 1 วินาที (S_1) เท่ากับ 0.146g สำหรับอำเภอเมือง จังหวัดพะเยาตามตารางที่ 1.4-1 ของ มยพ.1302-52[2]

F_a คือ ค่าสัมประสิทธิ์สำหรับชั้นดิน ณ ที่ตั้งอาคาร สำหรับคาบการสั่น 0.2 วินาที (F_a) จากตารางที่ 1.4-2 ตาม มยพ.1302-52[2] มีค่าเท่ากับ $F_a = 1.148$

F_v คือ สัมประสิทธิ์สำหรับชั้นดิน ณ ที่ตั้งอาคาร สำหรับคาบการสั่น 1 วินาที จากตารางที่ 1.4-3 ตาม มยพ.1302-52[2] มีค่าเท่ากับ $F_v = 1.654$

ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่คาบการสั่น 0.2 วินาที ที่ถูกปรับแก้เนื่องจากผลของชั้นดิน ณ ที่ตั้งอาคาร $S_{MS} = F_a S_s = 1.148 \times 0.630g = 0.723g$ ค่าดังกล่าวเป็นความเร่งของแผ่นดินไหวที่มีความรุนแรงสูงสุดที่คาบการเกิดซ้ำ 2,500 ปี

ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่คาบการสั่น 1.0 วินาที ที่ถูกปรับแก้เนื่องจากผลของชั้นดิน ณ ที่ตั้งอาคาร $S_{M1} = F_v S_1 = 1.654 \times 0.146g = 241g$

ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับออกแบบมีค่าเท่ากับระดับแผ่นดินไหวที่มีความรุนแรงสูงสุดที่คาบการเกิดซ้ำ 1,000 ปี หรือมีความรุนแรงสองในสามเท่าของแผ่นดินไหวที่มีความรุนแรงสูงสุดที่คาบการเกิดซ้ำ 2,500 ปี สามารถคำนวณได้จาก

$$S_{DS} = \left(\frac{2}{3}\right)S_{MS} = \left(\frac{2}{3}\right) \times 0.723g = 0.482g \quad \text{และ} \quad S_{D1} = \left(\frac{2}{3}\right)S_{M1} = \left(\frac{2}{3}\right) \times 0.241g = 0.161g$$

จะเห็นว่า $S_{D1} < S_{DS}$ เมื่อนำมาสร้างสเปกตรัมผลตอบสนองสำหรับการออกแบบ ได้ดังรูปที่ 7

ตำแหน่งที่ตั้ง บ้านเมตตา ปากน้ำ ต.เมตตา อ.เมือง จ.พะเยา BH5
พิกัดภูมิศาสตร์ N'19 11.622' E' 99' 52.535'

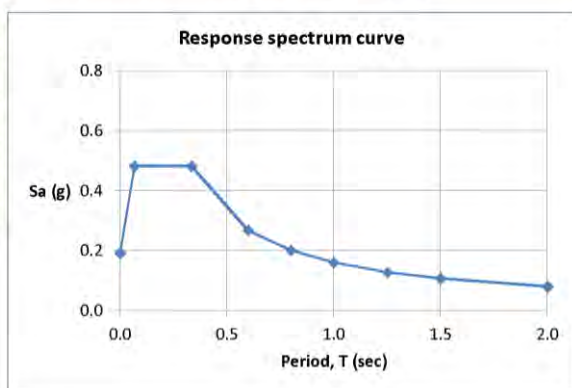
ชั้น	ความลึก (ม.)	ความหนา di (ม.)	ชนิดของดิน	ความชันเสา	SPT (ครั้ง/ฟุต) Ni	S_u (ตัน/ตร.ม.)	ϕ	d_s	d_c	d_i/N_i	d_i/S_u	หมายเหตุ
1	0.00	0.45	Clay		12	7.95	-	0	0.45	0.000	0.057	
2	0.50	0.95	Clay		20	13.25	-	0	0.45	0.000	0.034	
3	1.00	1.45	Clay		29	19.21	-	0	0.45	0.000	0.023	
4	1.50	1.95	Clay		23	15.24	-	0	0.45	0.000	0.030	
5	2.00	2.45	Clay		34	22.53	-	0	0.45	0.000	0.020	
6	2.50	2.95	Clay		18	11.93	-	0	0.45	0.000	0.038	
7	3.00	3.45	Clay		23	15.24	-	0	0.45	0.000	0.030	
8	4.50	4.95	Clay		28	18.55	-	0	0.45	0.000	0.024	
9	6.00	6.45	Clay		36	23.85	-	0	0.45	0.000	0.019	
10	7.50	7.95	Sand		52	-		0.45	0	0.009	0.000	
11	9.00	9.45	Sand		51	-		0.45	0	0.009	0.000	
12	10.50	10.95	Sand		54	-		0.45	0	0.008	0.000	
13	12.00	12.45	Clay		52	34.45	-	0	0.45	0.000	0.013	
รวม								1.35	4.5	0.026	0.287	

$$N_{ch} = \frac{d_s}{\sum_{i=1}^m \frac{d_i}{N_i}} = 52.30 \text{ ครั้ง/ฟุต}$$

$$S_{u_i} = \frac{d_c}{\sum_{i=1}^k \frac{d_i}{S_{ui}}} = 153.84 \text{ กิโลปาสกาล}$$

ประเภทชั้นดิน C
อ.เมือง จ.พะเยา
 $S_s = 0.630g$
 $S_1 = 0.146g$
 $F_a = 1.148$
 $F_v = 1.654$
 $S_{MS} = F_a \cdot S_s = 0.723g$
 $S_{M1} = F_v \cdot S_1 = 0.241g$
 $S_{DS} = (2/3)S_{MS} = 0.482g$
 $S_{D1} = (2/3)S_{M1} = 0.161g$

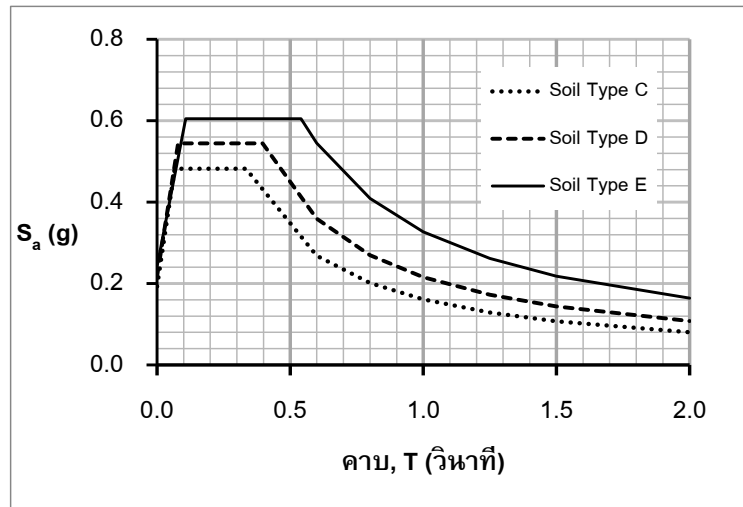
T(sec)	Sa(g)
0.000	0.193
0.067	0.482
0.334	0.482
0.600	0.268
0.800	0.201
1.000	0.161
1.250	0.129
1.500	0.107
2.000	0.080



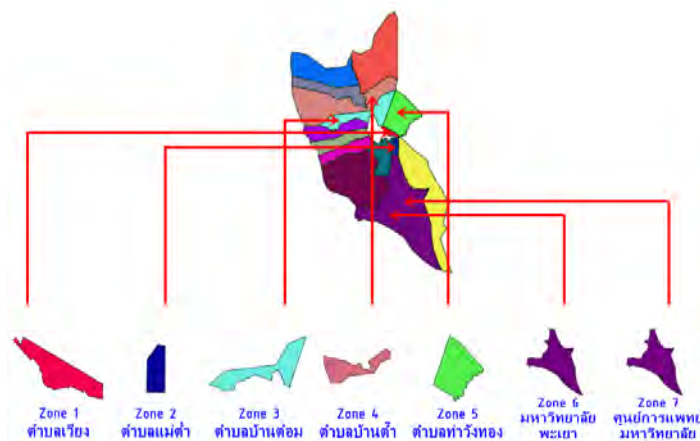
รูปที่ 7 สเปกตรัมผลตอบสนองสำหรับหลุมเจาะ BH-5

6. แนวโน้มของกราฟสเปกตรัมผลตอบสนอง

ผลการสร้างสเปกตรัมผลตอบสนองจากข้อมูลหลุมเจาะสำรวจดินทั้ง 35 หลุม พบว่า กราฟสเปกตรัมสำหรับออกแบบที่คาบการสั่น 0.2 วินาที (S_{DS}) ต่ำกว่าที่คาบการสั่น 1 วินาที (S_{D1}) ทั้งหมด โดยพบว่าสามารถสร้างกราฟได้ 3 รูปแบบ ดังรูปที่ 8 ตามลักษณะของชั้นดินที่พบ ได้แก่ชั้นดินประเภท C พบว่ามากที่สุดถึง 21 หลุมคิดเป็นร้อยละ 60 รองลงมาเป็นชั้นดินประเภท D 12 หลุม คิดเป็นร้อยละ 34.3 และชั้นดินประเภท E พบ 2 หลุม คิดเป็นร้อยละ 5.7 โดยกราฟความเร่งตอบสนองสำหรับชั้นดินประเภท C ให้ค่าความเร่งสูงสุดไว้ที่ 0.482g ในขณะที่ชั้นดินประเภท D ให้ค่าความเร่งสูงสุดไว้ที่ 0.544g และ ชั้นดินประเภท E ให้ค่าความเร่งสูงสุดไว้ที่ 0.605g สำหรับชั้นดินประเภท E ซึ่งเป็นดินอ่อน (soft soil) ตรวจสอบในหลุมเจาะจำนวน 2 หลุมบริเวณด้านทิศใต้ของกว๊านพะเยา ในขณะที่หลุมเจาะทางด้านทิศเหนือของกว๊านพะเยาพบว่าเป็นชั้นดินประเภท D และ C



รูปที่ 8 สเปกตรัมผลตอบสนองสำหรับอำเภอเมือง จังหวัดพะเยา จากข้อมูลผลเจาะสำรวจดินทั้ง 35 หลุม



รูปที่ 9 การแบ่งพื้นที่หลุมเจาะสำรวจกายเว็บไซต์

จากแนวโน้มของกราฟทำให้เห็นว่า หากทำตามคำแนะนำของ มยศ.1302-52[2] ที่กล่าวว่า ในกรณีที่ไม่มีความรู้ดินที่แน่นอน ให้กำหนดชั้นดินเป็นประเภท D จะได้ค่าความเร่งสำหรับการออกแบบอยู่ในด้านที่ปลอดภัย เนื่องจากดินที่พบส่วนใหญ่จากข้อมูลเจาะสำรวจดิน 35 หลุมเป็นชั้นดินประเภท C ให้ค่าความเร่งผลตอบสนองที่ต่ำกว่า โดยหากใช้ข้อมูลการเจาะสำรวจดินมาทำการสร้างกราฟสเปกตรัมผลตอบสนอง หรือใช้กราฟผลตอบสนองจากงานวิจัยฉบับนี้แล้ว พบว่าสามารถลดค่าแรงสำหรับการออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหวลงได้สูงสุดร้อยละ 11 เนื่องจากส่วนใหญ่เป็นชั้นดินประเภท C ทำให้ได้โครงสร้างที่มีความประหยัดมากขึ้น และยังคงมีความปลอดภัยเช่นเดิม

ข้อมูลหลุมเจาะ และกราฟสเปกตรัมผลตอบสนองทั้ง 35 หลุมได้ถูกรวบรวม และได้เผยแพร่ไว้บนเว็บไซต์ ของสาขาวิชา วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา ตาม link (http://www.ce.eng.up.ac.th/response_curve/) นั้น ได้แบ่งพื้นที่ของหลุมเจาะออกเป็น 7 พื้นที่ ตามข้อมูลของหลุมเจาะและเพื่อให้ง่ายในการนำไปใช้ ดังรูปที่ 9 ซึ่งตำแหน่งหลุมเจาะได้แสดงพิกัด

ภูมิศาสตร์แบบในทุกหลุมเจาะ เพื่อให้ผู้ที่สนใจหรือผู้ที่นำไปใช้ สามารถตรวจสอบกับพิคโตแกรมของอาคารที่ตนเองจะก่อสร้าง ใกล้เคียงกับข้อมูลหลุมเจาะดังกล่าวหรือไม่ นอกจากนี้แล้วยังสามารถดาวน์โหลดข้อมูลการเจาะสำรวจดินเพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการออกแบบฐานรากจากเว็บไซต์ดังกล่าวได้อีกด้วย

7. สรุป

จากการรวบรวมข้อมูลการเจาะสำรวจดินในสนามที่มีความน่าเชื่อถือ จำนวน 35 หลุม เพื่อสร้างฐานข้อมูลของกราฟสเปกตรัมผลตอบสนองในอำเภอเมือง จังหวัดพะเยา พบว่า กราฟสเปกตรัมผลตอบสนองที่ได้เป็นกราฟที่มี ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบที่คาบการสั่น 1.0 วินาที (S_{D1}) มีค่าน้อยกว่าค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบที่คาบการสั่น 0.2 วินาที (S_{DS}) ทั้งหมด จากการศึกษาพบว่า ค่าความเร่งผลตอบสนองสูงสุดมีค่าเท่ากับ 0.482g 0.544g และ 0.605g สำหรับชั้นดินประเภท C D และ E ตามลำดับ โดยส่วนใหญ่เป็นกราฟสำหรับชั้นดินประเภท C มากที่สุดร้อยละ 60 รองลงมาเป็นชั้นดินประเภท D ร้อยละ 31.4 และชั้นดินประเภท E ร้อยละ 8.6 ตามลำดับ กราฟสเปกตรัมดังกล่าวทั้ง 35 หลุมได้ถูกรวบรวม และเผยแพร่บนเว็บไซต์ www.ce.eng.up.ac.th/response_curve/ โดยผู้ที่สนใจสามารถดาวน์โหลดและนำไปใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหว และฐานราก ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดพะเยาได้ โดยไม่เสียค่าใช้จ่ายใดๆ

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณสำหรับทุนสนับสนุนการวิจัยจาก โครงการวิจัยแผ่นดินไหวมหาวิทยาลัยพะเยา ประจำปีงบประมาณ 2559 สัญญาเลขที่ RD59047 โครงการ “การลดภัยพิบัติจากแผ่นดินไหวในจังหวัดพะเยา” และ บริษัท เอ็นจิเนียริง ดีไซน์ คอนซัลแตนท์ จำกัด สำหรับผลข้อมูลเจาะสำรวจชั้นดิน ของจังหวัดพะเยา

เอกสารอ้างอิง

- [1] American Society of Civil Engineers (ASCE-05). *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*, Structural Engineering Institute of the American Society of Civil Engineers, 2006.
- [2] Department of Public Works and Town & Country Planning, Ministry of Interior. DPT 1302-52. *Standard for the Design of Building under Seismic load*, Digital Offset Asia Pacific Co., Ltd, Bangkok, 2009.
- [3] Freeman, S. A. Response Spectra as A Useful Design and Analysis Tool for Practicing Structural Engineers, *ISET Journal of Earthquake Technology*, 2007, Paper No. 475, 44(1), March, pp. 25–37.
- [4] Lam, N.T.K. & Wilson, J.L. The New Response Spectrum Model for Australia, *Earthquake Engineering in the low and moderate seismic regions of Southeast Asia and Australia, 2008*, (EJSE international) special issue.
- [5] Matheu, E. E. Yule, D. E. and Kala, R. V. Determination of Standard Response Spectra and Effective Peak Ground Accelerations for Seismic Design and Evaluation, *US Army Corps of Engineers*, 2005, ERDC/CHL CHETN-VI-41, Dec, USA.
- [6] Wongrat, P. Thongdetsri, T. Chompoorat, T. and Chaimahawan, P. Study of Earthquake effect to liquefaction potential in Phayao Province, *The 21st National Convention on Civil Engineering*, 28-30 June 2016, Sonkhla, Thailand.
- [7] Lindung, Z. M., Suched, L. and Suttisak, S. Empirical Study of Liquefaction Potential in Chiang Rai Province in the North of Thailand, *The 28th KKHTCNN Symposium on Civil Engineering*, 2015, November 16-18, Bangkok, Thailand.
- [8] Terzaghi, K. and Peck, R.B. *Soil Mechanics in Engineering Practice*, 2nd edit, John Wiley & Sons, 1967.