บทคัดย่อ

คุณสมบัติเชิงพลศาสตร์ทั้งของชั้นดินและโครงสร้างมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการกำหนดคุณลักษณะของแผ่นดินไหวที่อาจเกิดขึ้น ณ ตำแหน่งที่ตั้ง ซึ่งส่งผลสืบเนื่องต่อผลตอบสนองของโครงสร้างต่อแผ่นดินไหว ดังนั้นการออกแบบต้านทานแรงเนื่องจากแผ่นดินไหวจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องพิจารณาปัจจัยเหล่านี้ไว้ด้วย งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการศึกษาผลของชั้นดินบริเวณที่ตั้งสำหรับบริเวณที่มีความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวและการศึกษาคุณสมบัติเชิงพลศาสตร์ของอาคาร ผลที่ได้จากการศึกษาสามารถใช้ในการประเมินความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวแบบแบ่งเขตย่อยสำหรับพื้นที่ศึกษา

ในงานส่วนแรกเป็นการศึกษาผลของชั้นดินบริเวณที่ตั้งจากการตรวจวัดภาคสนามแบบ Microtremor โดยดำเนินการเพื่อจำแนกคุณลักษณะของชั้นดินเพื่อการประเมินระดับความรุนแรงที่อาจเกิดขึ้นและนำไปจัดทำเป็นแผนที่แบ่งเขตย่อย โดยการตรวจวัดคลื่นขนาดเล็กที่ผิวดินด้วยเทคนิคการตรวจวัดแบบ 1 จุด เพื่อวิเคราะห์ค่าคาบอิทธิพลหลัก (T_P) และใช้เทคนิคการตรวจวัดแบบหลายจุดพร้อมกันเพื่อวิเคราะห์แบบ Spatial Autocorrelation (SPAC) สำหรับการสำรวจค่าความเร็วคลื่นเฉือนตามความลึกของชั้นดิน (V_S) โดยดำเนินการกับ 103 ตำแหน่งในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่และบริเวณใกล้เคียง และ 174 ตำแหน่งในพื้นที่กรุงเทพมหานครและจังหวัดใกล้เคียง แล้วจำแนกชั้นดินตามค่า T_P และ V_S

ลักษณะการแปรแปลี่ยนของคุณลักษณะของชั้นดินบริเวณที่ตั้งเป็นไปอย่างชัดเจน โดยค่า T_P และ V_S เฉลี่ยที่ระดับ 30 เมตร (V_{S30}) มีค่าแตกต่างกันอย่างมากในพื้นที่ศึกษา ในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่และบริเวณใกล้เคียงมีค่า V_{S30} ต่ำสุดประมาณ 230 เมตรต่อวินาทีและ T_P ยาวที่สุดประมาณ 0.7 วินาทีที่บริเวณที่ราบลุ่มแม่น้ำปิง และดินมีลักษณะแข็งมากขึ้นด้วยค่า V_{S30} สูงสุดประมาณ 560 เมตรต่อวินาทีและ T_P สั้นที่สุดประมาณ 0.12 วินาทีที่บริเวณตอนเหนือและตะวันตกของพื้นที่ศึกษา สำหรับพื้นที่กรุงเทพมหานครและจังหวัดใกล้เคียง พบว่าพื้นที่เลียบอ่าวไทยและบริเวณตะวันออกเฉียงใต้ของพื้นที่ศึกษามีค่าV_{S30} ต่ำสุดประมาณ 70 เมตรต่อวินาทีและ T_P ยาวที่สุดประมาณ 1.1 วินาที และ V_{S30} สูงสุดประมาณ 600 เมตรต่อวินาทีและ T_P สั้นที่สุดประมาณ 0.2 วินาทีที่บริเวณตอนเหนือและตะวันตกและตะวันออกที่เป็นขอบของแอ่งดินอ่อน

การวิเคราะห์ผลตอบสนองของพื้นดินโดยวิธีเชิงเส้นเทียบเท่าใช้ศึกษาลักษณะ Transfer function และอธิบายพฤติกรรมด้านการขยายขนาดคลื่นในแต่ละพื้นที่ที่พิจารณาเป็นโซนย่อย สำหรับโซนที่มีค่า V_S ต่ำพบว่ามีกำลังขยายสูงและคาบการสั่นหลักยาว นอกจากนี้ยังพบการขยายขนาดคลื่นในช่วงคาบการสั่นยาวตามคุณลักษณะของดินอ่อน และเมื่อ V_S เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ คาบการสั่นหลักสั้นลง กำลังขยายลดลง และไม่ปรากฏผลการขยายคลื่นในช่วงคาบการสั่นยาว

ผลการเปรียบเทียบความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมจากการศึกษานี้กับค่าที่กำหนดในมาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว (มยผ. 1302) แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างและความสอดคล้องกันในแต่ละโซนย่อย และแนวทางที่ต้องพัฒนามาตรฐาน

แบบจำลองของชั้นดินสำหรับแอ่งกรุงเทพถูกสร้างขึ้นเพื่อการศึกษาผลของการจำลองคุณสมบัติของชั้นดินต่อลักษณะการขยายกำลังของคลื่นแผ่นดินไหว ผลการศึกษาแสดงในรูปของความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมเนื่องจากคลื่นแผ่นดินไหวตัวอย่าง และวิจารณ์ผลในด้านการขยายคลื่นและคาบการสั่นหลัก โดยพบว่ากำลังขยายสูงสุดคือประมาณ 6 เท่าเกิดขึ้นที่คาบการสั่นประมาณ 1.0 วินาทีในแบบจำลองของชั้นดินด้วยระดับความลึกชั้นหินประมาณ 160 ถึง 300 เมตร ส่วนแบบจำลองที่ชั้นหินมีความลึกมากประมาณ 400 ถึง 700 เมตร มีผลของกำลังขยายสูงในช่วงคาบยาวประมาณ 2 ถึง 3 วินาทีอยู่ด้วย และมีการเปรียบเทียบผลจากการวิเคราะห์กับข้อมูลที่ตรวจวัดได้จากเหตุการณ์แผ่นดินไหวซึ่งพบความสอดคล้องดีของผลเมื่อใช้แบบจำลองระดับความลึกชั้นหินประมาณ 400 เมตร ที่สถานีตรวจวัด และงานวิจัยนี้ได้แสดงแนวทางในการประยุกต์ใช้กระบวนการไฟไนต์อีลิเมนต์จากโปรแกรมทางวิศวกรรมโครงสร้างเพื่อการวิเคราะห์ผลตอบสนองของชั้นดินแบบ 2 มิติ ซึ่งได้แสดงถึงแนวทางใช้งานเพื่อการศึกษาผลกระทบของขอบแอ่งในอนาคต

งานในส่วนที่สองเป็นผลการศึกษาพฤติกรรมทางพลศาสตร์ของอาคารสูงประมาณ 5 ชั้นและมีความไม่สม่ำเสมอในแนวดิ่งหรือแนวราบจำนวนทั้งสิ้น 11 หลัง โดยการตรวจวัดการสั่นสะเทือนของอาคารที่มีอยู่ตลอดเวลาในธรรมชาติ (Ambient Vibration) ด้วยอุปกรณ์ที่มีความไวสูง จากนั้นจึงนำค่าที่ตรวจวัดได้มาวิเคราะห์เพื่อหาค่าคุณสมบัติทางพลศาสตร์อันได้แก่ ความถี่ธรรมชาติ รูปร่างการสั่น และอัตราส่วนความหน่วง

กระบวนการตรวจวัดในงานวิจัยนี้ได้พบข้อจำกัดในการตรวจวัดเช่นความคลาดเคลื่อนในการวางอุปกรณ์ตรวจวัด ข้อจำกัดในการติดตั้งเครื่องเขย่าอาคาร และการหาค่าอัตราส่วนความหน่วงอย่างแม่นยำ ซึ่งงานวิจัยฉบับนี้ได้นำเสนอแนวทางแก้ไขโดยการพัฒนาอัลกอริทึมขึ้นมาเพื่อแก้ปัญหาเหล่านั้น รวมถึงประยุกต์ใช้อัลกอริทึม System Realization Information Matrix ที่เหมาะสมกับการวัดอัตราส่วนความหน่วงมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้ด้วย ถึงแม้ยังไม่สามารถแก้ไขทุกข้อจำกัดได้อย่างสมบูรณ์ อย่างไรก็ตามในภาพรวมทั้งหมด กระบวนการตรวจวัดสามารถบรรลุวัตถุประสงค์หลักของการศึกษา นั่นคือการได้มาซึ่งค่าคุณสมบัติทางพลศาสตร์ของอาคารเตี้ยถึงสูงปานกลางประมาณ 5 ชั้น

จากผลการศึกษาความถี่ธรรมชาติของอาคารทั้งสิ้น 11 หลัง พบว่ามีค่าใกล้เคียงหรือต่ำกว่าสูตรประมาณค่าความถี่ธรรมชาติตามมาตรฐาน มยผ. 1302 ไม่มากนักซึ่งสูตรประมาณค่าความถี่ธรรมชาติดังกล่าวได้พัฒนามาจากงานวิจัยในอดีตที่ศึกษากลุ่มอาคารที่ค่อนข้างสูงและมีรูปทรงและการตอบสนองแผ่นดินไหวอย่างสม่ำเสมอ ถึงแม้การศึกษาครั้งนี้จะเป็นกลุ่มอาคารที่ที่สูงประมาณ 5 ชั้นและมีความไม่สม่ำเสมออยู่ แต่สูตรประมาณค่าดังกล่าวก็ยังสอดคล้องกับพฤติกรรมทางพลศาสตร์ของอาคารกลุ่มนี้ในระดับที่ยอมรับได้ สำหรับค่าอัตราส่วนความหน่วง จากการใช้อัลกอริทึมที่ทันสมัยมากขึ้น ทำให้คณะผู้วิจัยเสนอค่าประมาณค่าอัตราส่วนความหน่วงของอาคารเมื่อสั่นอิสระได้ที่ 2% ซึ่งเป็นค่าโดยเฉลี่ยจากทุกอาคารที่ทำการตรวจวัดซึ่งมีลักษณะการก่อสร้างคล้ายคลึงกัน

นอกจากนี้แล้ว ในงานวิจัยนี้ยังได้สร้างแบบจำลองไฟไนต์อิลิเมนต์ขึ้นมาเพื่อศึกษาพฤติกรรม 3 มิติของอาคารว่าสอดคล้องอย่างไรกับผลการตรวจวัด จากการศึกษาพบว่าแบบจำลองไฟไนต์อิลิเมนต์อาจให้ผลที่แตกต่างจากพฤติกรรมจริงของอาคารได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสมมติฐานในการสร้างแบบจำลองนั้นด้วย การตรวจวัดพฤติกรรมอาคารจึงมีความสำคัญอย่างมากหากต้องการประเมินพฤติกรรมของอาคารให้ใกล้เคียงความจริงที่สุด

Abstract

Dynamic properties of both sites and structures are the key parameters which can substantially influence the characteristics of ground response caused by earthquake and subsequently govern the structural response. As a result, the local site effects and dynamic characteristics of structures are indispensable to be taken into account for seismic design. In this research, the objectives are to examine site effects of potential seismic risk area and investigate the dynamic properties of buildings. These results are valuable for seismic hazard assessment and further microzonation study in the investigated area.

In the first part of the study, site effects are examined from investigations of site characteristics of subsoil by microtremor techniques. The objective is to characterize subsoils for seismic hazard assessment and microzonation study. The technique of single point observation with Horizontal-to-Vertical spectral ratio (H/V) to estimate the predominant period (T_P) and the technique of array observation with Spatial Autocorrelation (SPAC) for exploration of shear wave velocity (V_S) were conducted for 103 sites in Chiangmai and the vicinity area, and 174 sites in Bangkok and the vicinity area. Site classifications based on T_P and the average V_S are presented.

The variation of the site characteristics can be clearly distinguished where the average of shear wave velocity from the surface to 30-m depth (V_{S30}) and the predominant periods vary significantly within the survey area. In Chiangmai area, the lowest V_{S30} of 230 m/s and longest T_P of 0.7 second were found along Ping river area, while more stiff soil with higher V_{S30} of 560 m/s and shorter T_P of 0.12 second were found in the north and west of the investigated area. In Bangkok area, it was shown that the area along the Gulf of Thailand and the south-east part exhibit very low V_{S30} of 70 m/s and long T_P of 1.1 second, while high V_{S30} of 600 m/s and short T_P of 0.2 second were found in the north, west and east parts which are boundary of the plain.

Seismic site response analyses were conducted using equivalent linear method. The transfer functions obtained from equivalent linear analysis of the soil model for microzonation zones provided amplification characteristics of each area. In the zones of low V_S, high amplification and long predominant period were identified. In addition, amplification in the long period ranges was observed due to characteristics of soft soil layers. The predominant periods became shorter, amplification ratios were decreased, and long period effects were diminished in the zone of high V_S.

Comparison of spectral acceleration obtained by this study with the existing values specified in the current standard of Thailand, DPT 1302, was examined. It was pointed out both discrepancy and agreement of the design spectral acceleration for different zones.

The models of subsoil were constructed based on shear wave velocity in Bangkok to study the effects of subsoil models on modification of ground motions induced from seismic waves. The acceleration response spectral resulted from a set of earthquake waves were presented and examined for their characteristics of amplification and dominant period. The amplification factor of about 6 was found around the period of 1.0 second for the model of 160 to 300 m depth of bedrock. For deeper bedrock model, 400 to 700 m, amplifications in long period ranges of 2 to 3 second were significantly observed. Comparison of results from the analysis and the observed record was made and their good agreement was achieved when using the model of 400 m depth bedrock at the seismometer station. In addition, this study presents an application of 2-dimensional ground response analysis by using finite element analysis software for structural engineering. The applicability of the technique was examined showing its potential for ground response analysis considering basin edge effects.

The second part of the study showed the results of dynamic behaviors of 11 buildings, low-rise and containing some degree of irregularities. The dynamic properties such as natural frequencies, damping ratios, and vibration mode shapes were extracted from their natural ambient vibrations, which were recorded by sensitive velocity sensors.

The process of measuring these dynamic properties had faced some limitations; these were placing the sensors in the right position, installation of a vibration shaker, and extracting the reliable damping ratios. This research applied algorithms to solve those difficulties, especially, the process of extracting the damping ratios by System Realization Information Matrix (SRIM) algorithm, which is a modern time-domain algorithm. Although some limitations still remain technically unsolved, the main objective of the research, i.e. the extraction of dynamic properties of mid-rise irregular buildings, has been accomplished.

Measured natural frequencies from 11 buildings shows that they are close to, or lower than in some cases, the approximated values from a formula given in the seismic design standard of Thailand. Although that formula was derived from regular high-rise buildings, it is still applicable to those mid-rise irregular buildings in this research. For the damping ratios extracted by SRIM algorithm, the damping ratio of 2%, which is the average measured value from all 11 buildings, is recommended for these mid-rise buildings.

This research also compared the measured behaviors of a real building with its three dimensional behaviors predicted by finite element analysis. It was found that the finite element model may not represent the real behaviors accurately. These differences were caused by some assumptions in the modeling process. This evidence shows that measurement of dynamic properties is really important to predict the real response of buildings.