

การประเมินความมั่นคงแข็งแรงของอาคารชุดตึกแถวอนุรักษ์ไทยจากการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว The Seismic Assessment of the Anulukthai Commercial Building

เกรียงศักดิ์ แก้วกุลชัย* และยุพิน พรหมหล่อ
Griengsak Kaewkulchai* and Yupin Promloor

วิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
Major in Civil Engineering, Faculty of Engineering, Ubon Ratchathani University
*E-mail: griengsak@gmail.com

Received: Mar 27, 2018
Revised: Aug 17, 2020
Accepted: Aug 20, 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความมั่นคงแข็งแรงของอาคารชุดตึกแถวอนุรักษ์ไทย 4 ชั้นตามมาตรฐานการประเมินและการเสริมความมั่นคงแข็งแรงของโครงสร้างอาคารในเขตที่อาจได้รับแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว (มยผ. 1303-57) โดยจำลองตัวอย่างอาคารในระบบสามมิติ กำหนดให้อาคารตั้งอยู่ในอำเภอเมืองจังหวัดเชียงใหม่และพื้นที่เสี่ยงภัย ปานกลาง และเสี่ยง โดยใช้วิธีวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีสถิตไม่เชิงเส้น (nonlinear pushover analysis) และวิธีพลศาสตร์ไม่เชิงเส้นหรือวิธีประวัติเวลาแบบไม่เชิงเส้น (nonlinear time – history analysis) ด้วยคลื่นแผ่นดินไหว 9 คลื่น จากการศึกษา พบว่า การวิเคราะห์ด้วยวิธีแบบแรงกระทำด้านข้างให้ผลสมรรถนะอาคารในระดับปลอดภัยต่อชีวิตในทิศทางตามขวางและระดับเข้าใช้อาคารได้ทันทีในทิศทางตามยาวของอาคาร ความเสียหายที่เกิดขึ้นระหว่างชั้น พบว่า อาคารในทิศทางตามขวางมีค่าการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้นบริเวณชั้น 4 เกินระดับปลอดภัยต่อชีวิตอาคารในทิศทางตามยาว พบว่า การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้นเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานระดับปลอดภัยต่อชีวิต พบความเสียหายเกิดขึ้นในคานกระจายตามชั้นต่าง ๆ สำหรับการวิเคราะห์ด้วยวิธีประวัติเวลาแบบไม่เชิงเส้น พบว่า ความเสียหายในโครงสร้างมีน้อยกว่าการวิเคราะห์ด้วยวิธีแรก โดยมีคลื่นแผ่นดินไหว 2 คลื่นที่มีผลกระทบต่อโครงสร้าง และให้ผลสมรรถนะอาคารอยู่ในระดับเข้าใช้อาคารได้ทันที ความเสียหายพบมากในเสาบริเวณชั้น 3 และชั้น 2 มีค่าการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้นอยู่ในเกณฑ์ฯ จากผลการศึกษารูปได้ว่าการประเมินอาคารชุดตึกแถวอนุรักษ์ไทยจากการวิเคราะห์ทั้งสองวิธีได้ผลลัพธ์ที่สอดคล้องกันกล่าวคือ เกิดความเสียหายมากที่สุดบริเวณชั้น 3 และอาคารยังคงมีสมรรถนะในระดับปลอดภัยต่อชีวิต

คำสำคัญ: การประเมินแผ่นดินไหว ตึกแถวอนุรักษ์ไทย แผ่นดินไหว คอนกรีตเสริมเหล็ก

Abstract

The objective of this paper was to perform a seismic assessment of the 4 story Anulukthai commercial building of Thailand using the DPT Standard of the assessment and retrofit of building structures in earthquake-prone areas (DPT. 1303-2014). The building structure was assumed to be located in Muang Chiang Mai Province and High-Risk Area, Moderate Risk Area, and Risk Area. They were simulated by a 3D model. The model was analyzed by nonlinear pushover analysis and nonlinear time history analysis. The nonlinear time history analysis was applied using nine earthquake ground motion records. In the nonlinear pushover analysis, the results revealed that the structure's performance level was at the life safety level in the transverse direction and the immediate occupancy level in the longitudinal direction. When considering the story damage, it was found the 4th floor of the transverse direction inter-story drift ratio was higher than the value allowed by the DPT. 1303-2014. In fact, the columns at the 3rd floor along with the columns and some beams of the 2nd floor had local member damages. As for the longitudinal direction, it was found that the inter-story damage ratio complied with the life safety level. The results of the time history analysis showed the damage was less than the nonlinear pushover analysis. Moreover, there were only ground motion records that resulted in story damages on the 2nd and 3rd floors, as well as some beam damage on the 2nd floor. The analysis also showed that the structure's performance level in the immediate occupancy level and inter-story drift ratio was in accordance with the standard criteria. Overall, the seismic assessment of the Anulukthai commercial building by both methods met the life safety level with most damage occurring on the 3rd floor.

Keywords: The seismic assessment, Anulukthai commercial building, Earthquake, Reinforce concrete

1. บทนำ

จากเหตุการณ์แผ่นดินไหวเมื่อวันที่ 5 พฤษภาคม 2557 ขนาดความรุนแรง 6.3 ที่อำเภอแม่ลาว จังหวัดเชียงราย [1] ถือเป็นแผ่นดินไหวในระดับตื้น (shallow earthquake) ที่มีความรุนแรงและสร้างความเสียหายต่อสิ่งปลูกสร้างในจังหวัดเชียงรายเป็นจำนวนมาก ส่วนใหญ่เป็นอาคารที่พักอาศัยขนาดกลางถึงขนาดเล็กที่มีความสูงน้อยกว่า 15 เมตร ซึ่งเป็นกลุ่มอาคารที่ไม่เข้าข่ายอาคารควบคุมตามกฎหมายกระทรวงกำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทน ของอาคารและพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว พ.ศ. 2550 [2] โดยอาคารเหล่านั้นอาจไม่ได้คำนวณและออกแบบให้สามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหว จึงถือเป็นกลุ่มอาคารที่มีความเสี่ยงที่อาจได้รับความเสียหายจากแผ่นดินไหวเช่นกัน

บ้านเพื่อประชาชนที่จัดทำขึ้นโดยส่วนราชการในลักษณะแบบมาตรฐานมีหลายรูปแบบ เช่น แบบบ้านต้านภัยพิบัติแผ่นดินไหวที่ได้รับการคำนวณออกแบบโครงสร้างอาคารให้สามารถต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว และแบบบ้านทั่วไปที่ได้รับการคำนวณออกแบบตามหลักวิศวกรรมแต่ไม่ได้คำนึงถึงแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว เช่น แบบบ้านไทยอนุรักษ์ไทย แบบตึกแถวไทยอนุรักษ์ไทย 2 ชั้น 3 ชั้น และ 4 ชั้น เป็นต้น แบบบ้านดังกล่าวเป็นแบบบ้านที่ไม่เข้าข่ายใช้บังคับตามกฎหมายกระทรวงฯ หากประชาชนทั่วไปที่ต้องการก่อสร้างบ้านตามแบบดังกล่าว สามารถนำแบบบ้านไปขออนุญาตก่อสร้างต่อเจ้าพนักงานท้องถิ่นได้ทุกพื้นที่ในประเทศไทย โดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการจัดทหิวศวรรและสถาปนิกในการคำนวณและออกแบบบ้าน ถือเป็นภาระลดภาระค่าใช้จ่ายในส่วนดังกล่าวของประชาชนได้เป็นอย่างมาก อย่างไรก็ตามหากประชาชนนำแบบบ้านที่ไม่ได้ออกแบบต้านทานแผ่นดินไหวไปก่อสร้างในบริเวณที่มีความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวในระดับสูงก็อาจมีความเสี่ยงที่อาคารจะได้รับความเสียหายและไม่ปลอดภัยต่อชีวิตได้เช่นกัน ดังนั้นงานวิจัยฉบับนี้จึงได้นำแบบมาตรฐานอาคารขนาดกลางที่มีความสูงน้อยกว่า 15 เมตร ซึ่งเป็นอาคารที่ไม่เข้าข่ายเป็นอาคารควบคุมตามกฎหมายกระทรวงฯ และเป็นกลุ่มอาคารที่มีความไม่สม่ำเสมอทางโครงสร้าง มาทำการประเมินความมั่นคงแข็งแรงในการต้านทานแรงแผ่นดินไหว ซึ่งจะทำให้การจำลองโครงสร้างตึกแถวแบบ 3 มิติ โดยพิจารณาพฤติกรรมโครงสร้างอาคารเกินขอบเขตช่วงอิลาสติกด้วยวิธีสถิตไม่เชิงเส้น (nonlinear static procedure) และวิธีพลศาสตร์ไม่เชิงเส้น (nonlinear dynamic procedure) ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้าง SAP 2000 [3] ตามมาตรฐานการประเมินและการเสริมความมั่นคงแข็งแรงของโครงสร้างอาคารในเขตที่อาจได้รับแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว (มยผ. 1303-57) [4] งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการตอบสนองของโครงสร้างอาคารตัวอย่างซึ่งเป็นอาคารที่ไม่เข้าข่ายอาคารควบคุมกฎหมายกระทรวงฯ และเพื่อประเมินระดับความต้านทาน

แรงแผ่นดินไหว (seismic resistance) และระดับความเหนียวของชิ้นส่วนโครงสร้าง (ductility of structural members)

การประเมินโครงสร้างอาคารต้านทานแผ่นดินไหว (seismic assessment) เป็นวิธีการตรวจสอบระดับความต้านทานแรงแผ่นดินไหว สามารถบ่งบอกจุดบกพร่องในโครงสร้างอาคาร เพื่อใช้ในการเสริมความมั่นคงแข็งแรง สามารถวิเคราะห์ผลได้โดยวิธีเชิงเส้น (linear) และวิธีไม่เชิงเส้น (nonlinear) โดยวิธีแรกสามารถหาค่าการต้านทานแรงแผ่นดินไหวและตำแหน่งการคราก แต่ไม่สามารถบอกกลไกของการเกิดการวิบัติได้ และอาจไม่เหมาะสมกับอาคารที่มีความไม่สม่ำเสมอของโครงสร้างมาก ๆ ซึ่งวิธีที่สองสามารถบอกระดับของการต้านทานแรง การครากของชิ้นส่วน รวมไปถึงกลไกของการวิบัติในโครงสร้าง สามารถทำนายพฤติกรรมของโครงสร้างได้ใกล้เคียงกับลักษณะแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นจริง และใช้ได้กับอาคารทุกรูปแบบ อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์จะขึ้นอยู่กับแรงภายนอกที่มากระทำสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มได้แก่ วิธีแบบสถิต (static) และวิธีพลศาสตร์ (dynamic) สำหรับกรณีที่แผ่นดินไหวไม่รุนแรง โดยทั่วไปพฤติกรรมโครงสร้างจะอยู่ในช่วงยืดหยุ่นเชิงเส้น การวิเคราะห์โดยวิธีพลศาสตร์เชิงเส้น (linear dynamic procedure) เป็นวิธีที่หาค่าตอบได้ถูกต้องในระดับหนึ่งแต่หากแผ่นดินไหวมีความรุนแรงมากขึ้น อาจทำให้โครงสร้างอยู่ในช่วงไม่ยืดหยุ่นเชิงเส้น การวิเคราะห์ด้วยวิธีพลศาสตร์ไม่เชิงเส้น (nonlinear dynamic procedure) เป็นวิธีที่ถือว่าให้คำตอบที่ถูกต้องที่สุด อย่างไรก็ตามยังมีอีกหนึ่งวิธีที่สามารถให้คำตอบที่ใกล้เคียงกับวิธีพลศาสตร์ไม่เชิงเส้น ได้แก่ วิธีสถิตไม่เชิงเส้น (nonlinear static procedure) หรือที่เรียกว่าวิธีแบบแรงกระทำด้านข้าง (static pushover analysis) ซึ่งเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมเนื่องจากมีความซับซ้อนน้อยกว่าวิธีพลศาสตร์ไม่เชิงเส้น และมีความถูกต้องในระดับที่ยอมรับได้ [5]

การกำหนดเป้าหมายสมรรถนะ (performance objective) เป็นการยอมให้อาคารเกิดความเสียหายได้บ้าง แต่ต้องอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ และยังคงมีความปลอดภัยต่อผู้ใช้อาคาร ซึ่งจะต้องพิจารณาตามระดับสมรรถนะของอาคาร [4] ตามระดับความเสียหายจากการประเมินส่วนโครงสร้างและส่วนที่ไม่ใช่โครงสร้างแสดงใน Figure 1 โดยจำแนกได้ 4 ประเภท ได้แก่ ระดับอาคารปฏิบัติงานได้ (Operational level, OP) เป็นระดับที่เกิดความเสียหายน้อยมาก ไม่มีการเคลื่อนที่ระหว่างชั้น สามารถใช้งานได้แต่ไม่ปกติ ไม่มีมีความเสี่ยงต่อการสูญเสียชีวิตและทรัพย์สิน ระดับเข้าใช้อาคารได้ทันที (Immediate Occupancy Level, IO) เป็นระดับที่เกิดความเสียหายเล็กน้อย ไม่มีการเคลื่อนที่ระหว่างชั้น สามารถใช้งานได้ทันทีถึงแม้ระบบต่าง ๆ อาจใช้งานไม่ได้มีความเสี่ยงต่อการสูญเสียชีวิตและทรัพย์สินในระดับที่ต่ำมาก ระดับปลอดภัยต่อชีวิต (Life Safety Level, LS) เป็นระดับที่เกิดความเสียหายต่อชิ้นส่วนโครงสร้างในระดับปลอดภัยต่อชีวิต มีการเคลื่อนที่ระหว่างชั้นเล็กน้อย มีความเสี่ยงต่อการสูญเสีย

ชีวิตและทรัพย์สินในระดับต่ำ และระดับป้องกันการพังทลาย (Collapse Prevention Level, CP) เป็นระดับที่เกิดความเสียหายโดยรวมที่รุนแรงมาก แต่สามารถอพยพผู้ใช้อาคารส่วนใหญ่ได้ เนื่องจากอาคารยังไม่พังทลาย แต่อาคารเกิดการสูญเสียกำลังต้านทานแรงด้านข้างทั้งหมด

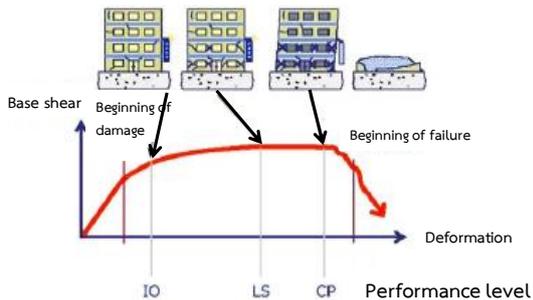


Figure 1 The Performance Level of buildings [5]

การพิจารณาระดับความเสียหายตามระดับสมรรถนะของโครงสร้าง แบ่งออกเป็น ระดับสมรรถนะโครงสร้างเข้าใช้อาคารได้ทันที โดยภาพรวมกำลังและสติฟเนสยังมีความปลอดภัย หรืออาคารเกิดการครากขึ้นได้ในบางตำแหน่ง ซึ่งมีความเสี่ยงต่อการสูญเสียชีวิตและทรัพย์สินมีน้อยมาก ระดับสมรรถนะโครงสร้างปลอดภัยต่อชีวิต โดยอาจมีความเสียหายขึ้นต่อชิ้นส่วนโครงสร้างด้านกำลังและสติฟเนส แต่เพียงพอต่อการพังทลายบางส่วนหรือทั้งหมด แต่อาคารยังคงความปลอดภัยในชีวิต และระดับสมรรถนะโครงสร้างป้องกันการพังทลาย โดยอาคารได้รับความเสียหายต่อชิ้นส่วนโครงสร้างอย่างมาก แต่ยังสามารถแบกทานน้ำหนักบรรทุกจากแรงโน้มถ่วงได้ อาจเกิดรอยร้าวอย่างรุนแรง เกิดจุดหมุนพลาสติกสำหรับชิ้นส่วนที่มีความเหนียว อาคารมีความเสี่ยงต่อชีวิตและไม่ปลอดภัยต่อการใช้งานต่อไป

การประเมินโครงสร้างจะต้องคำนึงถึงการประเมินโครงสร้างระดับชิ้นส่วนย่อยซึ่งแบ่งเป็นการวิบัติแบบเหนียว (ductile) และแบบเปราะ (brittle) การตรวจสอบการวิบัติแบบเหนียว ชิ้นส่วนจะต้องถูกควบคุมด้วยการเสียรูป (deformation - controlled member) ซึ่งอยู่ในรูปของความสัมพันธ์พันธะระหว่างแรงกับการเสียรูปของโครงสร้าง แสดงใน Figure 2 (a) และ (b) กล่าวคือ หลังจากเกิดการครากในชิ้นส่วนจุดที่ 1 สามารถรับแรงด้านข้างได้อีกจากค่ากำลังที่รวมผลของค่ากำลังเกินจุดคราก (strain hardening) โดยเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 10 เมื่อเกิดการเสียรูปในชิ้นส่วนแล้วยังมีกำลังต้านทานคงเหลืออยู่ (residual strength) Figure 2 (b) มีความแตกต่างจาก (a) กล่าวคือ สามารถรับแรงจนถึงจุดประลัยได้ แต่เมื่อเกิดการเสียรูปในชิ้นส่วนแล้วไม่มีกำลังต้านทานเหลืออยู่เลย Figure 2 (c) เป็นพฤติกรรมของชิ้นส่วนโครงสร้างแบบเปราะ หากเกิดการครากขึ้นในชิ้นส่วน จะไม่สามารถรับแรงด้านข้างได้ต่อไป เกิดการวิบัติแบบ

ฉับพลันซึ่งไม่เหมาะกับระบบโครงสร้างต้านทานแรงแผ่นดินไหว

ข้อมูลนี้จะนำไปกำหนดคุณสมบัติของชิ้นส่วนโครงสร้างเพื่อจำแนกระดับสมรรถนะโครงสร้างต่อไป

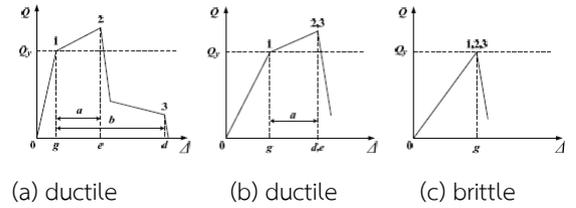


Figure 2 The relationship of force and deformation [4]

2. วิธีดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้จะทำการจำลองโครงสร้างตึกแถวแบบ 3 มิติ โดยพิจารณาพฤติกรรมโครงสร้างอาคารเกินขอบเขตช่วงอิลาสติกด้วยวิธีสถิตไม่เชิงเส้น และวิธีพลศาสตร์ไม่เชิงเส้นด้วยโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้าง ซึ่งมีขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย ดังนี้

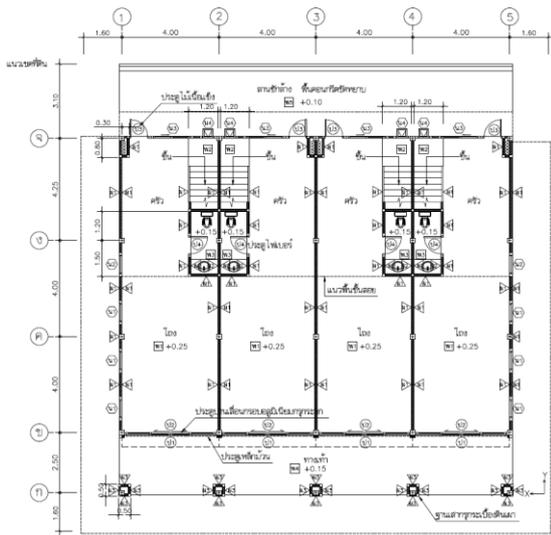
2.1 อาคารตัวอย่าง

อาคารตัวอย่างเป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กชุดแบบ 'ไทยอนุรักษ์ไทย' "ตึกแถวอนุรักษ์ภาคเหนือ 4 ชั้น" ของกรมโยธาธิการและผังเมือง [6] มีความกว้าง 19.20 เมตร ความยาว 19.45 เมตร ความสูง 14 เมตร ขนาด 4 คูหา พื้นที่ใช้สอยรวม 1,015.20 ตารางเมตร แสดงใน Figure 3 บริเวณชั้น 1 เป็นชั้นลอย มีความสูง 5 เมตร สำหรับชั้น 2 ถึงชั้น 4 มีความสูงชั้นละ 3 เมตร หลังคาสูง 2.75 เมตร มีความสูงตามกฎหมายเท่ากับ 14 เมตร ไม่เข้าข่ายอาคารตามกฎหมายฯ พ.ศ. 2550 อาคารนี้มีความไม่สม่ำเสมอในแนวตั้ง (vertical structural irregularities) โดยมีความไม่สม่ำเสมอของสติฟเนสหรือมีชั้นอ่อน (stiffness - soft story irregularity) และมีความไม่สม่ำเสมอของมวล (mass irregularity) ที่ชั้น 2 มากกว่าชั้น 1 เกิน 1.5 เท่า

โครงสร้างอาคารตัวอย่างเป็นระบบคาน-เสาคอนกรีตมีกำลังอัดประลัย 200 กก/ซม² เหล็กเส้นกลมรับแรงดึงได้ไม่น้อยกว่า 2,400 กก/ซม² มีกำลังในการต้านทานแรงดึงประลัยมีค่าเท่ากับ 3,900 กก/ซม² และเหล็กข้ออ้อยรับแรงดึงได้ไม่น้อยกว่า 3,000 กก/ซม² มีกำลังในการต้านทานแรงดึงประลัยมีค่าเท่ากับ 4,900 กก/ซม² พื้นสำเร็จรูปหนา 5 มม. สามารถรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัย 300 กก/ม² ข้อมูลการคำนวณน้ำหนักประสิทธิผลเป็นไปตาม Table 1 และข้อมูลทางโครงสร้างของเสาและคานเป็นไปตาม Table 2 และ 3



(a) front view



(b) Floor Plan

Figure 3 Detail of the sample building [6]

Table 1 The Calculation of the effective weight of a building

No. of floor	high (m.)	Weight (tons)	Effective weight (kg.)
1	2.5	25	196,430
mezzanine	2.5	25	109,260
2	3	25	237,190
3	3	28	174,890
4	3	28	173,880
rood	2.75	17	41,994
Total	16.75		933,644

Table 2 The structural index of column

no. of floor	column	Size of beam	size of deform	@ stirrup	(%) reinforcement
4	C1	0.20x0.20	4-DB16	0.20	2.30
	C2	0.20x0.20	4-DB16	0.20	2.30
	C3	0.20x0.20	4-DB20	0.20	3.59
	C4	0.20x0.20	4-DB20	0.20	3.59
	C5	0.20x0.20	4-DB20	0.20	3.59
	C6	0.15x0.15	4-RB9	0.15	1.36
3	C1	0.20x0.20	4-DB16	0.20	2.30
	C2	0.20x0.20	4-DB16	0.20	2.30
	C3	0.20x0.20	4-DB20	0.20	3.59
	C4	0.20x0.20	4-DB20	0.20	3.59
	C5	0.20x0.20	4-DB20	0.20	3.59
	C6	0.15x0.15	4-RB9	0.15	1.36
2	C1	0.20x0.20	4-DB16	0.20	2.30
	C2	0.20x0.25	4-DB16	0.20	1.79
	C3	0.20x0.25	4-DB20	0.20	2.79
	C4	0.20x0.25	4-DB20	0.20	2.79
	C5	0.20x0.25	6-DB20	2x0.15	2.79
Mezzanin	C1	0.20x0.20	4-DB16	0.20	2.30
	C2	0.20x0.30	8-DB16	2x0.20	2.92
	C3	0.20x0.30	6-DB20	2x0.20	4.57
	C4	0.20x0.30	6-DB20	2x0.20	3.43
	C5	0.20x0.35	8-DB20	2x0.20	3.86
1	C1	0.20x0.20	4-DB16	0.20	2.30
	C2	0.20x0.30	8-DB16	2x0.20	2.92
	C3	0.20x0.30	6-DB20	2x0.20	4.57
	C4	0.20x0.30	6-DB20	2x0.20	3.43
	C5	0.20x0.45	10-DB20	2x0.20	3.69
bunting	C1	0.20x0.20	4-DB16	0.20	2.30
	C2	0.20x0.30	8-DB16	2x0.20	2.92
	C3	0.20x0.35	8-DB20	2x0.20	3.86
	C4	0.20x0.40	10-DB20	2x0.20	4.19
	C5	0.30x0.45	10-DB20	2x0.30	2.31

Table 3 The structural index of beam

No. beam	Size of beam	size of deform	@ stirrup	(%) reinforcement
B1	0.20x0.40	6-DB16	0.15	1.65
B2	0.20x0.40	5-DB16	0.15	1.38
B3	0.20x0.40	4-DB16	0.10	1.72
B4	0.20x0.40	6-DB16	0.20	1.65
B5	0.20x0.40	5-DB20	0.15	2.15
B6	0.20x0.40	6-DB20	0.10	2.58
B7	0.20x0.50	6-DB20	0.15	2.03
BR	0.20x0.40	4-DB16	0.15	1.10

2.2 ที่ตั้งอาคารตัวอย่าง

กำหนดให้อาคารตัวอย่างตั้งอยู่ในอำเภอเมือง จังหวัด เชียงใหม่ โดยพิจารณาจากค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมของแผ่นดินไหวสูงสุด [7] ซึ่งจะใช้เป็นตัวแปรในการกำหนดระดับความต้านทานของอาคารสำหรับวิธีสถิตไม่เชิงเส้น

2.3 ความรุนแรงสำหรับการวิเคราะห์ด้วยวิธีสถิตไม่เชิงเส้น

ความรุนแรงของแผ่นดินไหวจะอยู่ในรูปของค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมประกอบด้วยคาบสั้นเฉลี่ยที่ 0.20 วินาที (S_s ave) เท่ากับ 0.852g และคาบเฉลี่ยที่ 1.0 วินาที (S_1 ave) เท่ากับ 0.247g สำหรับงานวิจัยฉบับนี้จะใช้ค่าความรุนแรงแผ่นดินไหวเท่ากับแผ่นดินไหวสำหรับการออกแบบ (Design Basis Earthquake, DBE) หรือมีความรุนแรง 2 ใน 3 ของ MCE [7] โดยผลการคำนวณสเปกตรัมสามารถสร้างกราฟสเปกตรัมสำหรับการออกแบบได้ใน Figure 4 โดยข้อมูลดังกล่าวจะนำไปใช้ในการหาระดับความต้านทาน ณ ตำแหน่งที่ตั้งอาคาร เพื่อคำนวณหาค่าการเคลื่อนที่เป้าหมายที่ยอดอาคาร (target displacement) หรือเทียบได้กับจุดสมรรถนะของอาคาร (performance point)

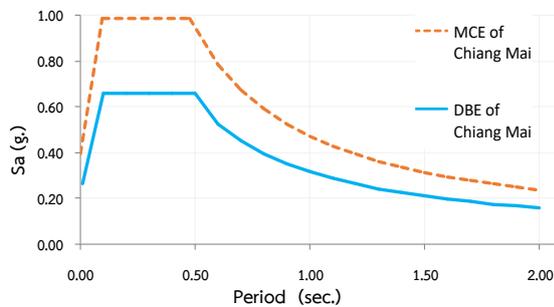


Figure 4 The comparison result of maximum response spectrum and design response spectrum

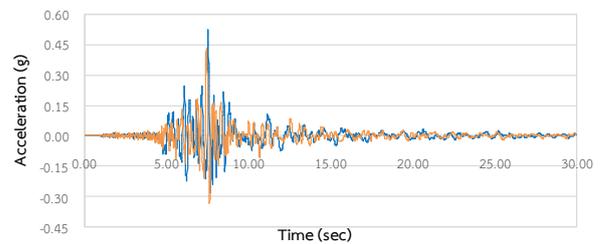
2.4 คลื่นแผ่นดินไหวในการวิเคราะห์ด้วยวิธีพลศาสตร์ไม่เชิงเส้น

เนื่องจากปัจจุบันยังไม่มีคลื่นแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ที่บันทึกได้ในประเทศไทย ดังนั้น งานวิจัยฉบับนี้จึงใช้คลื่นแผ่นดินไหวจากศูนย์วิจัยด้านวิศวกรรมแผ่นดินไหวแห่งแปซิฟิก (Pacific Earthquake Engineering Research Center, PEER) [8] โดยใช้คลื่นแผ่นดินไหวจากเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่มีลักษณะใกล้เคียงกับเหตุการณ์แผ่นดินไหวบริเวณภาคเหนือของประเทศไทย จำนวน 9 คลื่น ความรุนแรงขนาด 5 ถึง 7 มีระยะห่างจุดกำเนิดไม่เกิน 12 กิโลเมตร แต่ละชุดคลื่นแผ่นดินไหว ประกอบด้วยคลื่นขนานรอยเลื่อน (fault parallel) และ คลื่นตั้งฉากกับรอยเลื่อน (fault normal) ดังแสดงใน Table 4 และ Figure 5 โดยก่อนที่จะนำคลื่นแผ่นดินไหวไปใช้ในการวิเคราะห์จะต้องทำการคุมปรับค่า (scale) ด้วยค่าคงที่เท่ากับ 1.17145 [9] เพื่อให้สเปกตรัม

มีระดับความรุนแรงของแผ่นดินไหวสอดคล้องกับสเปกตรัมผลการตอบสนองสำหรับการออกแบบของจังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งเป็นไปตามที่วิธีที่กำหนดไว้ใน มยพ.1302 [7]

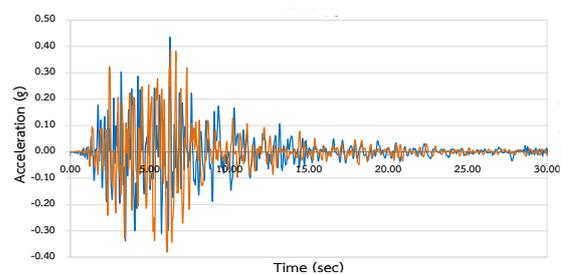
Table 4 A study was applied using nine earthquake ground acceleration records

No.	event	year	Magnitude (Mw.)	Distance (km.)	PGA (g) unscaled	
					FN	FP
1	NGA 30	1966	6.19	9.58	0.444	0.368
2	NGA 95	1972	6.24	4.06	0.372	0.329
3	NGA147	1979	5.74	9.02	0.191	0.252
4	NGA 148	1979	5.74	7.42	0.252	0.256
5	NGA 149	1979	5.74	5.70	0.233	0.252
6	NGA 161	1979	6.53	10.42	0.163	0.200
7	NGA162	1979	6.53	10.45	0.277	0.203
8	NGA 179	1979	6.53	7.05	0.484	0.370
9	NGA185	1979	6.53	7.50	0.258	0.221

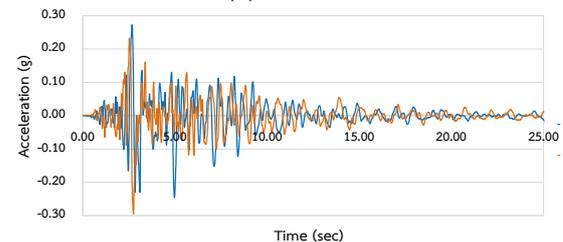


(a) NGA 30

Figure 5 The example of earthquake ground acceleration records



(b) NGA 95



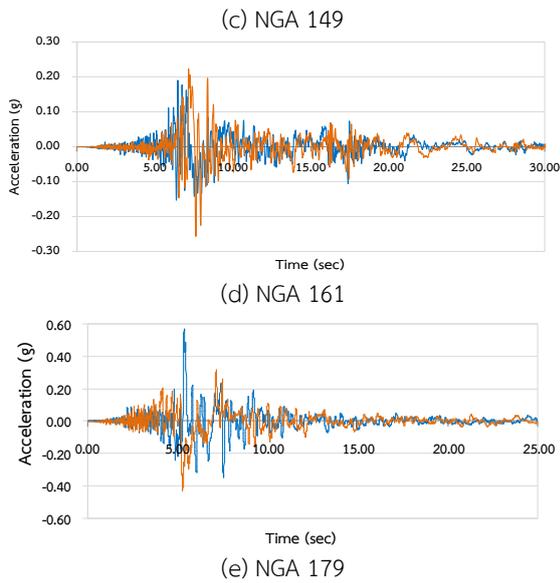


Figure 5 The example of earthquake ground acceleration records

2.5 การสร้างแบบจำลอง 3 มิติ

แบบจำลองจะพิจารณาแรงกระทำต่ออาคารในทิศทางตามยาว (Y) และทิศทางตามขวาง (X) กระทำที่ละทิศทางสำหรับการวิเคราะห์โดยวิธีสถิตไม่เชิงเส้น และกระทำพร้อมกันทั้งสองทิศทางในกรณีการวิเคราะห์ด้วยวิธีพลศาสตร์ไม่เชิงเส้น โดยตัวแปรในการสร้างแบบจำลอง ประกอบด้วย

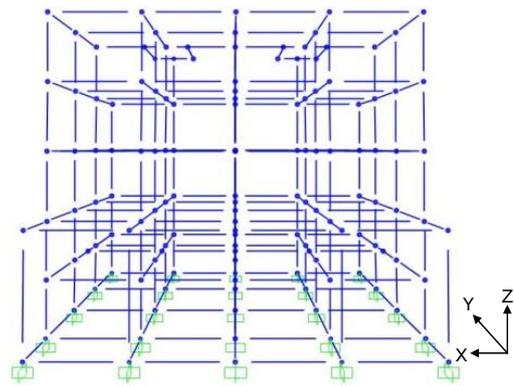
1) สมมติฐานของแบบจำลอง

แบบจำลอง ประกอบด้วย ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต ไม่พิจารณาผลจากการแตกร้าวของหน้าตัดเสาและคาน เนื่องจาก การวิเคราะห์ในงานวิจัยฉบับนี้เป็นการวิเคราะห์แบบไม่เชิงเส้น โดยจะอาศัยการจำลองพฤติกรรมของชิ้นส่วนจากความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปแบบไม่เชิงเส้น จึงไม่ใช้ค่าสติเฟนสประสิทธิภาพซึ่งคำนวณจากค่าความเกร็งประสิทธิภาพ (effective rigidity) [4] พิจารณาน้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อโครงสร้างตามการใช้งานจริง กำหนดจุดรองรับเป็นแบบยึดแน่น (fixed support) แต่ละชั้นกำหนดเป็นแผ่นพื้นแบบแข็งเกร็ง (rigid diaphragm) ให้พื้นและคานยึดติดกันเพื่อให้อาคารมีการเคลื่อนที่เท่า ๆ กันในระนาบเดียวกัน

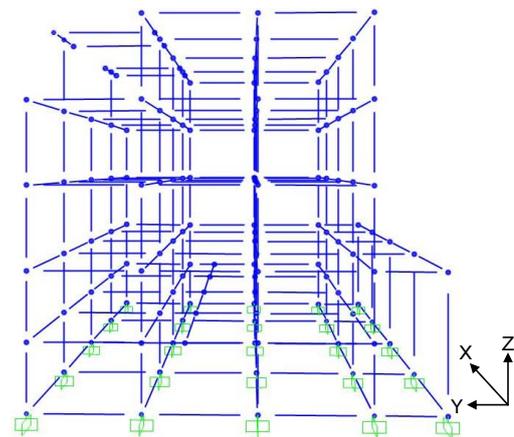
2) ชิ้นส่วนโครงสร้างเสาและคาน

พิจารณาการรับแรงกระทำในทิศทาง Y และ X ร่วมกับน้ำหนักบรรทุกคงที่และร้อยละ 25 ของน้ำหนักบรรทุกจร เพื่อศึกษาพฤติกรรมอาคารในขณะที่รับแรงที่ละทิศทางและภายใต้แรงกระทำแบบวัฏจักร (cyclic loading) ในช่วงอินelasติก การศึกษาที่ใช้แบบจำลองการเกิดหมุนพลาสติก (plastic hinge) ที่ปลายเสาและปลายคานทั้งสองด้าน โดยคำนึงถึงพฤติกรรมของอาคารขณะรับแรงแผ่นดินไหวจะเกิดโมเมนต์สูงสุดบริเวณปลายชิ้นส่วน [4] เพราะเป็นจุดที่เหล็กเสริมมีโอกาสจะเกิดการครากได้มากที่สุด แต่บริเวณอื่นจะสมมติให้มีความแข็งแรงสูงและให้ชิ้นส่วนมีพฤติกรรมอยู่

ในช่วงยืดหยุ่นมีความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดกับมุมหมุนพลาสติกเป็นแบบแข็งเกร็ง-พลาสติก (rigid plastic) โดยข้อมูลในการสร้างแบบจำลองอาคารตัวอย่างนี้เป็นไปตาม Figure 6



(a) front view



(b) side view

Figure 6 The simulated by a 3D model

3) การจำลองจุดหมุนพลาสติก

เสาและคานจะใช้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปที่แสดงพฤติกรรมการเสียรูปที่เพิ่มขึ้นในทิศทางเดียว (monotonically increasing deformation) สำหรับวิธีสถิตไม่เชิงเส้น และพฤติกรรมการเสียรูปสลับทิศทาง (multiple reversed deformation cycles) สำหรับวิธีพลศาสตร์ไม่เชิงเส้นแสดงใน Figure 7 เมื่อโครงสร้างรับแรงในแนวตั้งและแรงกระทำทางด้านข้าง ชิ้นส่วนโครงสร้างจะเกิดมุมหมุนพลาสติกเนื่องจากโมเมนต์ดัดจนถึงจุด B แล้วจะสูญเสียกำลังรับโมเมนต์แต่ยังสามารถต้านโมเมนต์ดัดต่อไปจนถึงจุด C เป็นจุดที่มุมหมุนพลาสติกสามารถต้านโมเมนต์ดัดได้สูงสุด (plastic rotation angle) มีค่าเท่ากับ d หลังจากนั้นค่าโมเมนต์จะตกลงอย่างรวดเร็วจนถึงจุด D ซึ่งอาจมีกำลังต้านทานจากคางเหล็ที่อยู่ข้างเท่ากับ c และจุด E หมายถึงการสูญเสียกำลังอย่างสิ้นเชิงมีค่ามุมหมุนพลาสติกเท่ากับ e

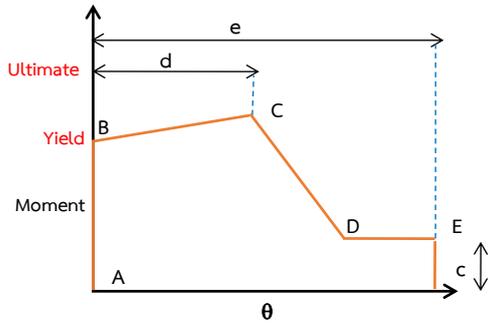


Figure 7 The relationship of force and deformation by the plastic hinge rotation

3. ผลการวิจัย

3.1 ผลการวิเคราะห์รูปแบบการสั่นของอาคาร

การหาค่าคุณสมบัติเชิงพลศาสตร์ของอาคาร ประกอบด้วย รูปแบบการสั่นไหว (natural vibration mode shape) และคาบการสั่น (modal natural periods) โดยอาคารมีผลตอบสนองสูงสุดในโหมดการสั่นที่ 1 หรือเรียกว่า คาบการสั่นในโหมดพื้นฐาน นอกจากนี้ได้แสดงค่าโหมดการสั่นอื่น ๆ ดังแสดงใน Table 5

Table 5 The analysis results of the period and the vibration mode shape

No. of mode shape	Period (sec)	natural frequency (cycle/sec)	vibration mode shape
1	0.631	1.558	Y direction
2	0.563	1.777	Y direction and torque
3	0.516	1.937	X direction and torque
4	0.258	3.881	Y direction
5	0.242	4.140	X direction and torque
6	0.223	4.488	X direction and torque

3.2 ผลการวิเคราะห์อาคารตัวอย่างด้วยวิธีสถิตไม่เชิงเส้น

การกระจายแรงแบบสถิตแบบสามเหลี่ยมเป็นสัดส่วนตามรูปร่างการสั่นของโหมดพื้นฐาน ร่วมกับน้ำหนักบรรทุกคงที่รวมกับร้อยละ 0.25 ของน้ำหนักบรรทุกกระทำพร้อมกัน โดยคำนวณผลลัพธ์แต่ละชั้น (step) ทำให้เห็นการเสียรูปในชั้นส่วนเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งอาคารเกิดการวิบัติ แล้วนำมาสร้างกราฟแรงกระทำด้านข้าง (pushover curve) ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐาน (normalized base shear, V/W) กับอัตราการเคลื่อนที่ที่ยอดอาคารสูงสุด (% drift) จากนั้นจึงคำนวณหาค่าการ

เคลื่อนที่เป้าหมายที่ยอดอาคารจากค่าสเปกตรัมผลตอบสนองที่คำนวณได้ และทำการคำนวณซ้ำตามกระบวนการแรกจนอาคารมีการเคลื่อนที่เท่ากับการเคลื่อนที่เป้าหมายที่ยอดอาคาร ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.072 เมตร สำหรับอาคารในแกน X และมีค่าเท่ากับ 0.098 เมตร สำหรับอาคารในแกน Y ซึ่งในจุดนี้หมายถึงอาคารมีการตอบสนองสูงสุด (peak response) แสดงใน Figure 8 และ 9 และประเมินค่าความเสียหายที่อยู่ในสภาวะนี้ ซึ่งประกอบด้วย ความเสียหายทั้งระบบโครงสร้าง ความเสียหายระหว่างชั้น และความเสียหายเฉพาะชิ้นส่วน

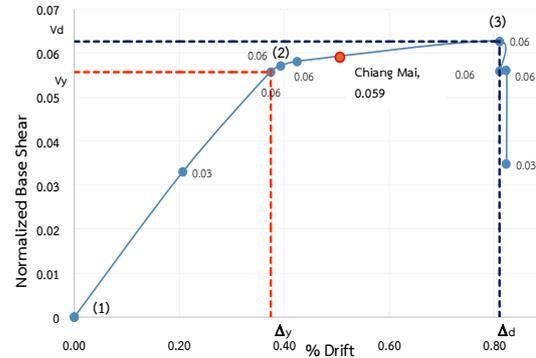


Figure 8 pushover curve (X direction)

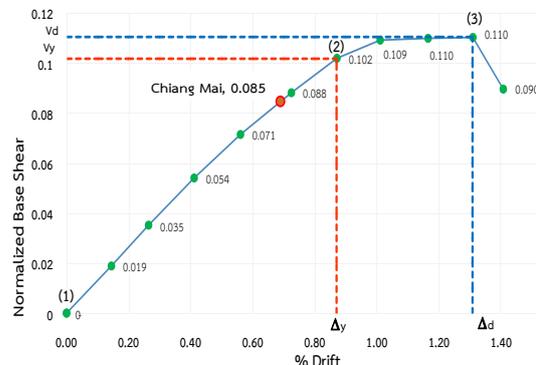


Figure 9 Pushover curve (Y direction)

Figure 8 แสดงให้เห็นว่า อาคารในแกน X มีการตอบสนองในช่วงไม่เชิงเส้น โดยมีค่า V/W เท่ากับ 0.059 กล่าวคือ มีค่าการเคลื่อนที่เกินจุดครากประสิทธิผล ($\Delta y, V_y$) โดยมีค่า V/W เท่ากับ 0.056 จากจุดที่ (2) แต่เนื่องจากยังไม่ไปถึงจุดที่ (3) ซึ่งมีค่า V/W เท่ากับ 0.063 ถือได้ว่า อาคารสามารถรับแรงด้านข้างจนกระทั่งเกิดความเสียหายแต่กำลังต้านทานแรงด้านข้างและสติเฟื่องยังคงมีอยู่ ซึ่งเป็นลักษณะของอาคารที่มีความเหนียว และมีความสามารถเสียรูปได้มาก เมื่อนำผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับสมรรถนะอาคารตามเกณฑ์มผ. 1303-57 พบว่า โครงสร้างมีความเสียหายในระดับปลอดภัยต่อชีวิต (LS)

Figure 9 แสดงให้เห็นว่า อาคารในแกน Y มีการตอบสนองอยู่ในช่วงเชิงเส้นในจุดที่ (1) มีค่า V/W เท่ากับ 0.085 เนื่องจาก ความเสียหายยังไม่ถึงจุดครากประสิทธิผล ($\Delta y, V_y$) จุดที่ (2) โดยมีค่า V/W เท่ากับ 0.102 โดยอาคารสามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวได้สูงสุดโดยมีค่า V/W

เท่ากับ 0.111 ถือว่า อาคารได้รับความเสียหายน้อยกว่าแกน X โดยโครงสร้างมีความเสียหายเล็กน้อย ด้านกำลังต้านทาน แรงต้านข้างและสติฟเนสส่วนใหญ่ยังคงมีอยู่มาก เปรียบเทียบกับสมรรถนะอาคารมีความเสียหายในระดับเข้าใช้อาคารได้ทันที (IO)

การตรวจสอบความเสียหายระหว่างชั้น (story damage) ในแกน X มีค่าการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้นเฉลี่ยสูงสุด (maximum inter-story drift ratio) บริเวณชั้น 4 เท่ากับ 1.07% แสดงใน Figure 10 (a) ถือว่าเกินเกณฑ์ มยพ.1303-57 (>1.0%) และแสดงใน Figure 10 (b) ในกรณีแกน Y พบว่า อาคารมีค่าการเคลื่อนที่ตัวสัมพัทธ์สูงสุดเท่ากับ 0.917% บริเวณชั้นที่ 3

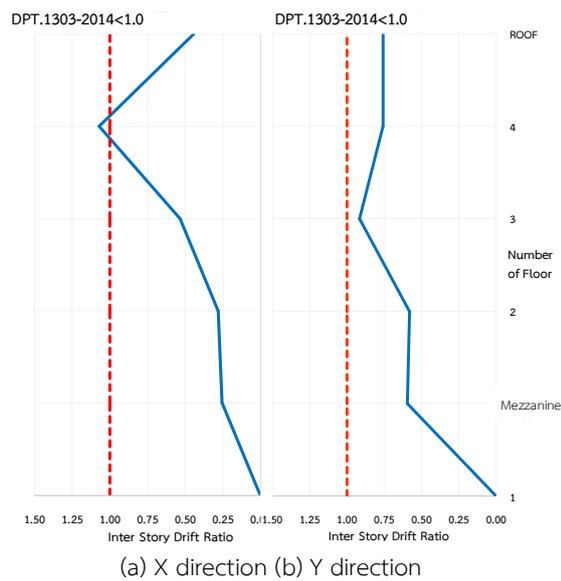


Figure 10 Story drift of the X and Y direction

การตรวจสอบเสียหายเฉพาะชิ้นส่วนโครงสร้างจากอัตราส่วนระหว่างแรงและความต้านทานในชิ้นส่วน (DCR) ที่เกิดจากแรงดัด (DCR_{θ_p}) แสดงใน Figure 11 และ 12 ผลสรุปความเสียหายของอาคารแสดงใน Figure 13 และ 14

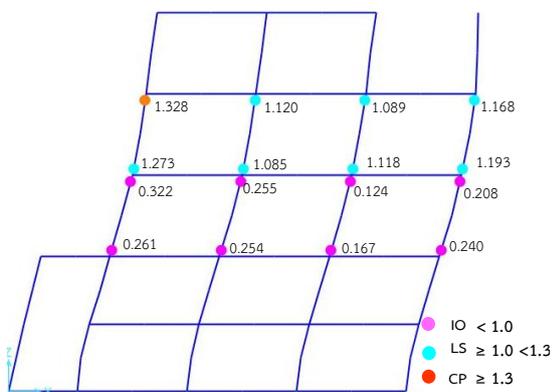


Figure 11 DCR_{θ_p} of column

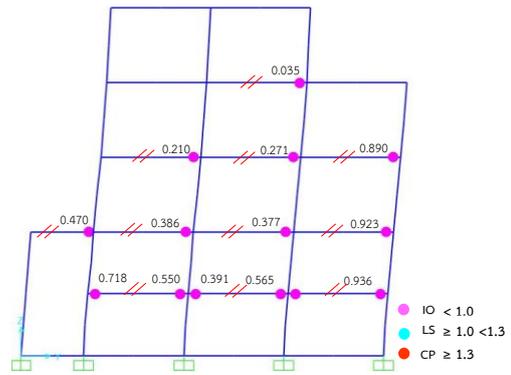


Figure 12 DCR_{θ_p} of beam

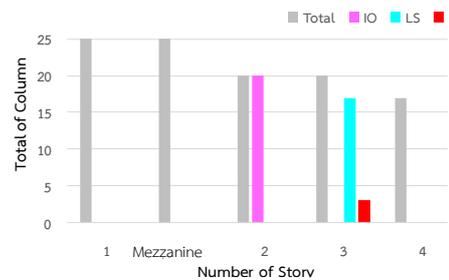


Figure 13 Position of the plastic hinge rotation (X direction)

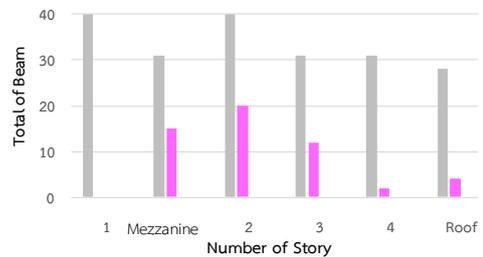


Figure 14 Position of the plastic hinge rotation (Y direction)

การตรวจสอบความเสียหายเนื่องจากแรงเฉือน พิจารณาจากแรงเฉือนที่เกิดขึ้นต่อกำลังต้านทานแรงเฉือนสูงสุดของหน้าตัดในรูปของค่า DCR_{Vc} ชิ้นส่วนเสาและค่า DCR_{Vb} ชิ้นส่วนคานในแกน X เสามีค่า DCR_{Vc} สูงสุดอยู่ในเสาชั้น 3 เท่ากับ 0.73 ตามด้วยชั้น 2 เท่ากับ 0.68 สำหรับคาน DCR_{Vb} สูงสุดอยู่ในคานชั้นลอยเท่ากับ 0.39 ตามด้วยชั้น 2 เท่ากับ 0.23 ผลสรุปแต่ละชั้นและนำเสนอจาก Figure 15 ในแกน Y เสาค่า DCR_{Vc} สูงสุดอยู่ในเสาชั้น 3 เท่ากับ 0.33 ตามด้วยชั้น 3 เท่ากับ 0.29 สำหรับคานมีค่า DCR_{Vb} สูงสุด อยู่ในคานชั้นลอยเท่ากับ 0.55 ตามด้วยชั้น 2 เท่ากับ 0.38 ซึ่งผลสรุปแต่ละชั้นเสนอใน Figure 16

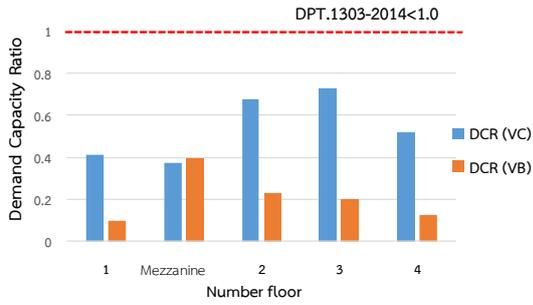


Figure 15 DCR of shear of the column and beam (X direction)

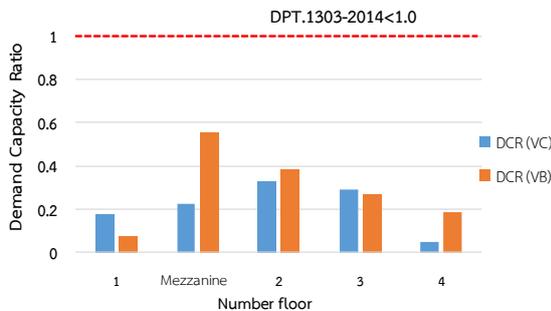


Figure 16 DCR shear of the column and beam (Y direction)

3.3 ผลการวิเคราะห์อาคารตัวอย่างด้วยวิธี พลศาสตร์ไม่เชิงเส้น

การตรวจสอบคลื่นแผ่นดินไหวด้วยผลการสั่นในโหมด พื้นฐาน ($T_s = 0.631$ sec.) เทียบกับสเปกตรัมผลตอบสนองของจังหวัดเชียงใหม่ แสดงใน Figure 17 เพื่อนำไปกำหนดช่วงการสั่น 0.20 T_s -1.5 T_s ซึ่งเป็นไปตาม มยผ. 1302 จากนั้นนำค่าเฉลี่ยของสเปกตรัมคลื่นแผ่นดินไหวทั้ง 9 คลื่น คูณปรับด้วยค่า 1.17145 เพื่อนำไปเทียบกับสเปกตรัมผลตอบสนองสำหรับการออกแบบของจังหวัดเชียงใหม่ที่คูณด้วย 1.17 แสดงใน Figure 18 สเปกตรัมคลื่นแผ่นดินไหวที่คูณปรับค่าแล้วมีค่ามากกว่า 1.17 เท่าสเปกตรัมผลตอบสนองสำหรับการออกแบบ แสดงให้เห็นว่า คลื่นแผ่นดินไหวที่นำไปใช้ครอบคลุมช่วงคาบการสั่นและครอบคลุมความถี่ในช่วงกว้าง

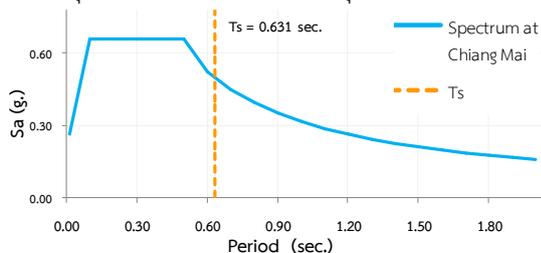


Figure 17 Design response spectrum from DPT standard and vibration period of the building

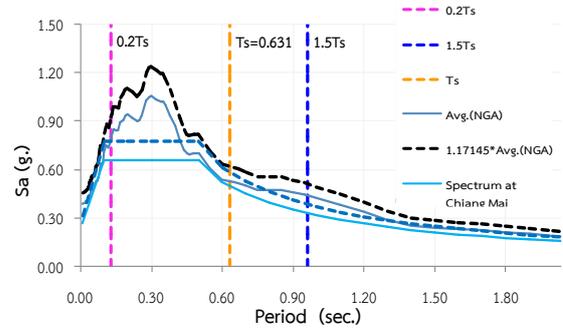


Figure 18 Average of the response spectrum has been adjusted 1.17 for Chiang Mai was using design response spectrum

การวิเคราะห์ผลตอบสนองของอาคารจากคลื่นแผ่นดินไหว ทำได้โดยคำนวณค่าการตอบสนองทุก ๆ 0.005 วินาที (Δt) และใช้คลื่นแผ่นดินไหวในแนว FN และ FP กระทำกับโครงสร้างอาคารพร้อมกันในสองทิศทาง โดยกำหนดให้น้ำหนักบรรทุกทุกครั้งที่ทั้งหมดรวมกับ 0.25 ของน้ำหนักบรรทุกจรกระทำพร้อมกัน เนื่องจากไม่สามารถแยกคำนวณในภายหลังได้ โดยผลการตอบสนองของอาคารต่อการสั่นไหวของพื้นดินนำเสนอในรูปของสัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐานกับอัตราการเคลื่อนที่ที่ยอดอาคารใน Figure 19 และ Figure 20

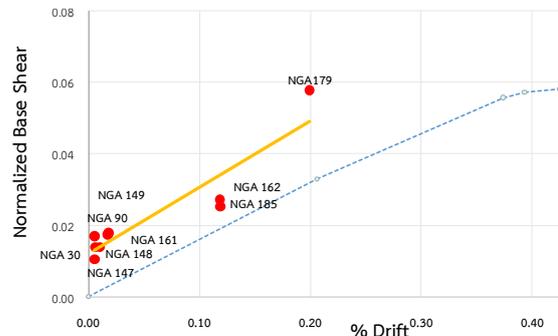


Figure 19 The results of the nonlinear time - history analysis (X direction)

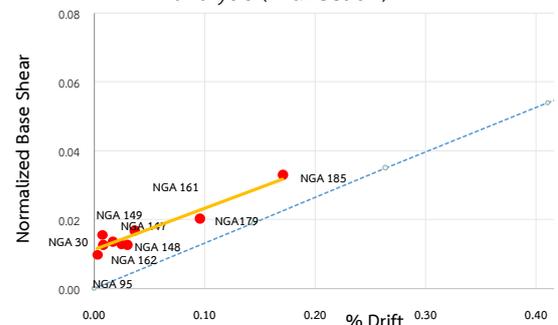


Figure 20 The analysis results of the nonlinear time history analysis (Y direction)

ผลการวิเคราะห์ด้วยคลื่นแผ่นดินไหว 9 คลื่น พบว่าอาคารในแกน X มีค่าสัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐานเฉลี่ย 0.022 โดยคลื่นแผ่นดินไหว 179 มีค่าสัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐาน

มากที่สุดเท่ากับ 0.058 และอัตราการเคลื่อนที่ที่ยอดอาคาร (% drift) เท่ากับ 0.20% กรณีอาคารในแกน Y พบว่า มีค่าสัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐานเฉลี่ย 0.017 โดยเคลื่อนแผ่นดินไหว 185 มีค่าสัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐานมากเท่ากับ 0.033 และ % Drift เท่ากับ 0.17

การตรวจสอบความเสียหายระหว่างชั้นจากค่าการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้นในขณะที่อาคารมีการตอบสนองสูงสุดต่อแรงด้านข้างภายใต้คลื่นแผ่นดินไหว 9 คลื่น พบว่า คลื่นแผ่นดินไหว 179 มีค่าการเคลื่อนที่ที่ยอดอาคารสูงสุดในแกน X เท่ากับ 4.34 ซม. (0.30%) Figure 21 (a) และคลื่นแผ่นดินไหว 185 มีค่าการเคลื่อนที่ที่ยอดอาคารสูงสุดในแกน Y เท่ากับ 3.18 ซม. (0.23%) Figure 21 (b)

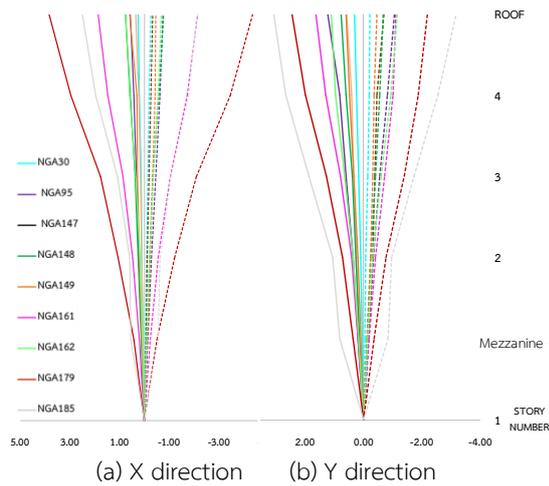


Figure 21 Roof displacement (X and Y direction)

การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้นในแกน X ของคลื่นแผ่นดินไหว 179 มีค่าเท่ากับ 0.45% ที่ชั้น 3 Figure 22 (a) ในแกน Y ของคลื่นแผ่นดินไหว 185 เท่ากับ 0.34% ที่ชั้นลอย Figure 22 (b) ถือว่าโครงสร้างมีการตอบสนองอยู่ในเกณฑ์ระดับปลอดภัยต่อชีวิต (LS) โดยผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้นมีความแตกต่างกันบริเวณชั้นลอย ชั้น 3 ชั้น 4 และชั้นหลังคา

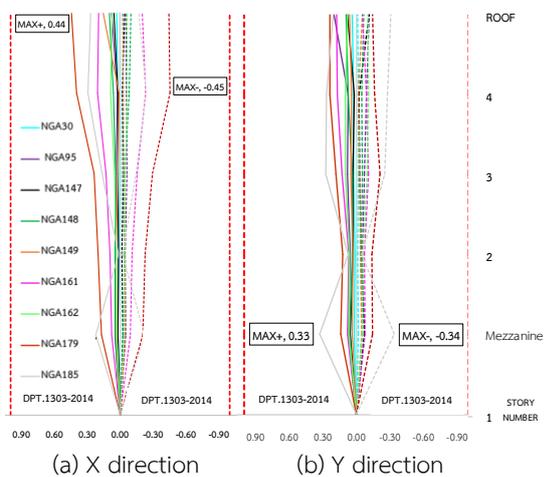


Figure 22 the story drift (X and Y direction)

การตรวจสอบความเสียหายเฉพาะชั้นส่วนเนื่องจากแรงตัดพิจารณามุมหมุนพลาสติกจากค่า $DCR_{\theta p}$ พบว่า คลื่นแผ่นดินไหว 95 ทำให้เกิดจุดหมุนพลาสติกในคานบริเวณชั้น 3 และคลื่นแผ่นดินไหว 179 ที่สร้างความเสียหายต่ออาคาร ตัวอย่างได้มากที่สุดนำเสนอใน Figure 23

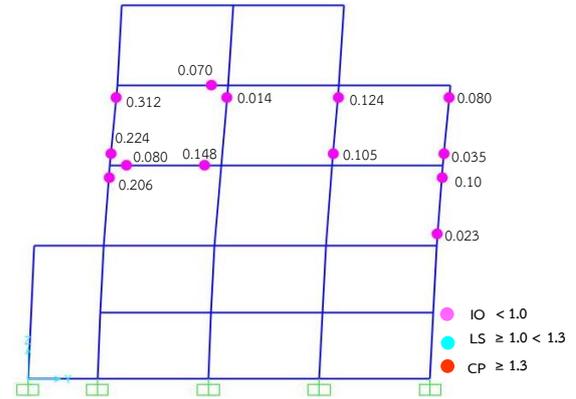


Figure 23 The structure have local member damages

ความเสียหายในเสามีระดับเข้าใช้อาคารได้ทันที 13% และ Figure 24 ความเสียหายในคานมีระดับเข้าใช้อาคารได้ทันที 5% ของชิ้นส่วนโครงสร้างทั้งหมดแสดงใน Figure 25

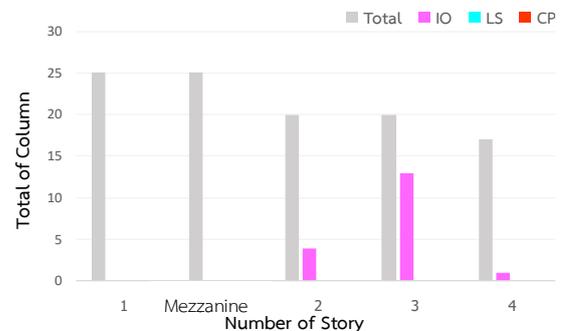


Figure 24 plastic hinge rotation of column



Figure 25 Plastic hinge rotation of beam

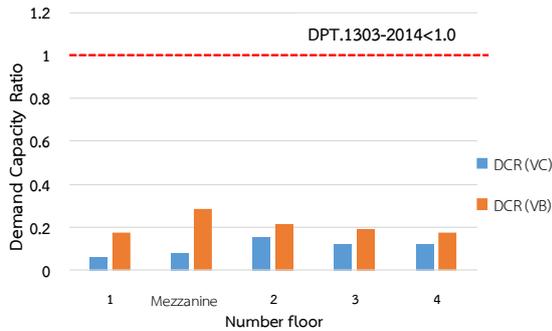


Figure 26 DCR of shear in the column and beam

การตรวจสอบความเสียหายจากแรงเฉือนด้วยค่า DCR_{VC} ของชิ้นส่วนเสา และค่า DCR_{VB} กรณีเสามีค่า DCR_{VC} สูงสุดอยู่ในเสาชั้น 2 เท่ากับ 0.15 ตามด้วยชั้น 2 เท่ากับ 0.12 ชิ้นส่วนคานามีค่า DCR_{VB} สูงสุดอยู่ในคานาชั้นลอยเท่ากับ 0.29 ตามด้วยชั้น 2 เท่ากับ 0.21 ได้สรุปและนำเสนอจาก Figure 26 เป็นไปตามเกณฑ์ที่ยอมรับในมาตรฐานตรวจสอบความเสียหายเนื่องจากแรงเฉือน

3.4 ผลการวิเคราะห์พฤติกรรมการตอบสนองต่อแรงแผ่นดินไหวของอาคารตัวอย่าง

ผลการศึกษาด้วยวิธีแบบแรงกระทำด้านข้างและวิธีประวัติเวลาแบบไม่เชิงเส้น พบว่า ในขณะที่อาคารมีการตอบสนองสูงสุดวิธีแบบแรงกระทำด้านข้างให้ผลการตอบสนองมากกว่าวิธีประวัติเวลาไม่เชิงเส้นภายใต้คลื่นแผ่นดินไหวทั้ง 9 คลื่น ซึ่งได้แก่ค่าสัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐาน ค่าการเคลื่อนที่ที่ยึดอาคาร ค่าการเสียรูปในชิ้นส่วน และปริมาณความเสียหาย ถึงแม้ว่าวิธีแบบแรงกระทำด้านข้างจะให้ผลการตอบสนองที่สูงกว่าวิธีประวัติเวลาแบบไม่เชิงเส้น แต่เมื่อพิจารณาพฤติกรรมในขณะที่ได้รับแรงแผ่นดินไหวของอาคารตัวอย่างซึ่งมีความไม่สม่ำเสมอในแนวตั้ง โดยมีสตีเฟนหรือมีชั้นอ่อน และความไม่สม่ำเสมอของมวล วิธีประวัติเวลาไม่เชิงเส้นสามารถแสดงพฤติกรรมการตอบสนองของความไม่สม่ำเสมอของโครงสร้างได้ชัดเจนกว่าวิธีแบบแรงกระทำด้านข้าง เนื่องจากวิธีดังกล่าวอาจมีข้อจำกัดของการวิเคราะห์ผลแสดงใน Figure 27 Figure 28 และ Figure 29

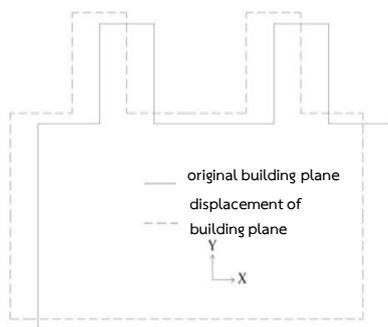


Figure 27 Maximum response from nonlinear time history analysis

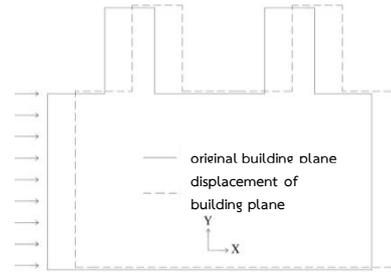


Figure 28 Maximum response from nonlinear static analysis (X direction)

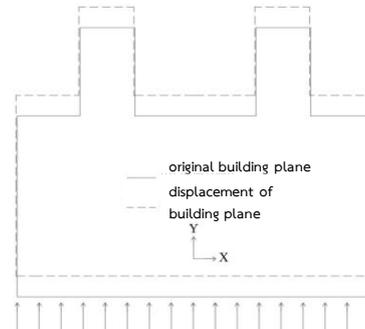


Figure 29 Maximum response from nonlinear static procedure (Y direction)

3.5 ผลการวิเคราะห์การต้านทานแรงแผ่นดินไหวของอาคารตัวอย่างในพื้นที่เสี่ยงภัยระดับต่าง ๆ

การประเมินอาคารในจังหวัดเชียงใหม่ พบว่า อยู่ในระดับปลอดภัยต่อชีวิต แต่ยังคงมีความเสียหายเกิดขึ้น โดยเฉพาะในเสา และหากนำอาคารไปก่อสร้างในบริเวณพื้นที่เสี่ยงภัยต่าง ๆ จะได้รับความเสียหายเล็กน้อยเพียงใดนั้น จึงได้จำแนกพื้นที่ที่เสี่ยงภัยตามประเภทการออกแบบอาคารที่พิจารณาจากค่าความรุนแรงของแผ่นดินไหวและการจำแนกประเภทการออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหวตามมยผ. 1302 ออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ มีความเสี่ยงภัยสูง ได้แก่ จังหวัดเชียงราย แม่ฮ่องสอน แพร่ ลำปาง และตากมีความเสี่ยงภัยปานกลาง ได้แก่ จังหวัดสุพรรณบุรี ราชบุรี และภูเก็ต และมีความเสี่ยงภัย ได้แก่ จังหวัดพิษณุโลก หนองคายและสงขลา รวมทั้งสิ้น 11 จังหวัด จากข้อมูลข้างต้นสามารถนำไปสร้างกราฟสเปกตรัมผลตอบสนองสำหรับการออกแบบแสดงใน Figure 30 ผลการศึกษาจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับผลของจังหวัดเชียงใหม่ใน Figure 31 และ Figure 32 ตำแหน่งความเสียหายเป็นไปใน Figure 33 ถึง Figure 36

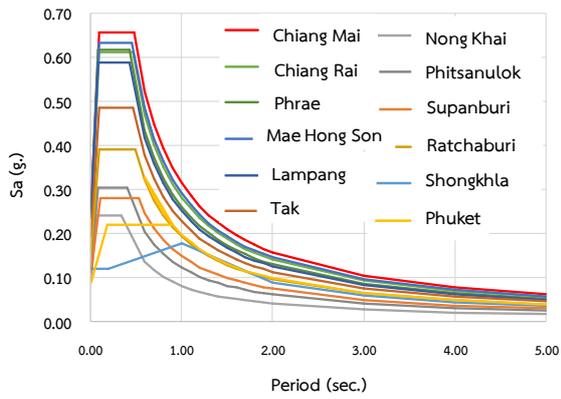


Figure 30 The design response spectrum of 10 provinces.

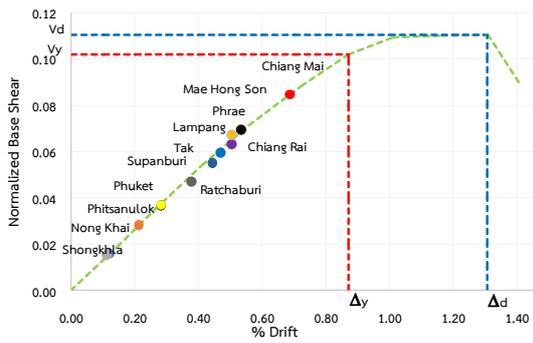


Figure 31 The capacity curve of 10 provinces (X direction)

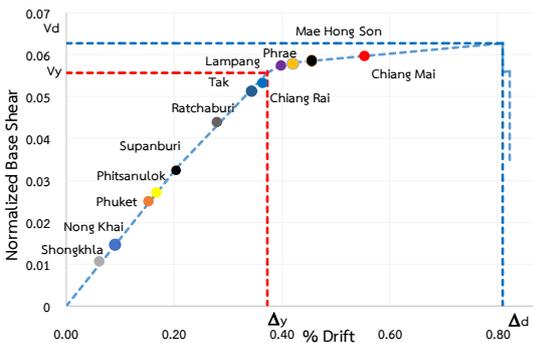


Figure 32 Capacity curve of 10 provinces (Y direction)

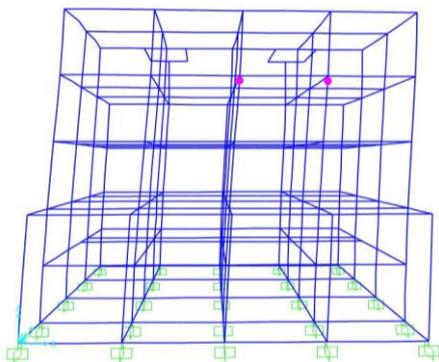


Figure 33 plastic hinge rotation in column of Ratchaburi

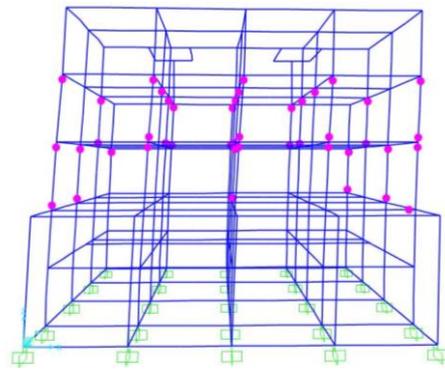


Figure 34 Plastic hinge rotation in column of Lampang and Tak

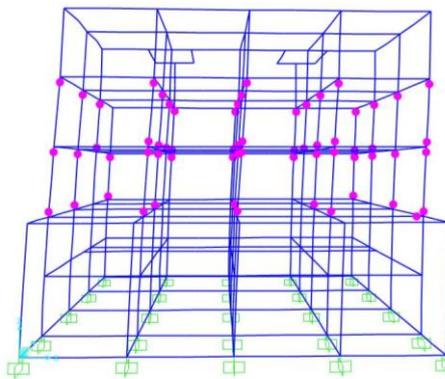


Figure 35 Plastic hinge rotation in column of Chiang Rai and Phrae

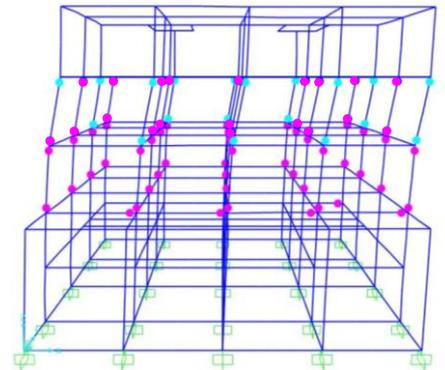


Figure 36 Plastic hinge rotation in column of Mae Hong Son

จากผลการวิจัยสรุปได้ว่า อาคารที่ตั้งอยู่ในจังหวัดหนองคาย พิบูลย์โลก สุพรรณบุรี สงขลา และภูเก็ตไม่ได้รับความเสียหายจากแผ่นดินไหวที่ใช้พิจารณา อาคารที่ตั้งอยู่ในจังหวัดราชบุรีได้รับความเสียหายเล็กน้อย และอาคารที่ตั้งอยู่ในจังหวัดเชียงราย แม่ฮ่องสอน แพร่ ลำปางและตากได้รับความเสียหายในเสาชั้น 2 และชั้น 3 และในคานชั้นลอยไปจนถึงชั้น 3 มีความเสียหายในระดับเข้าใช้อาคารได้ทันที โดยอาคารยังคงมีกำลังและสามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวดั้งเดิม ยกเว้นเสาบริเวณชั้น 3 ของอาคารที่ตั้งอยู่จังหวัดแม่ฮ่องสอนได้รับความเสียหายในระดับปลอดภัยต่อชีวิต โดยเฉพาะเสาที่อยู่ด้านหน้าและด้านหลังจำนวนหนึ่งของชั้นดังกล่าว เมื่อ

เปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ของจังหวัดเชียงใหม่ที่มีความเสียหายตั้งแต่ระดับระดับเข้าใช้อาคารได้ทันที ระดับปลอดภัยต่อชีวิตและระดับป้องกันการพังทลาย

ดังนั้น สามารถนำอาคารตัวอย่างไปสร้างได้ทุกพื้นที่ในประเทศไทย เนื่องจากอาคารมีความเสียหายเล็กน้อย ยกเว้นจังหวัดแม่ฮ่องสอนและเชียงใหม่ที่เสาบริเวณชั้น 3 ได้รับความเสียหาย ซึ่งมีเกิดการครากเกิดขึ้นหลักเสริมของเสา และมีบางส่วนได้รับความเสียหายอย่างมาก อย่างไรก็ตาม อาคารยังมีสมรรถนะในระดับความปลอดภัยต่อชีวิต

4. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ผลการประเมินความมั่นคงแข็งแรงของอาคารชุด ตึกแถวอนุรักษ์ไทยจากการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว สามารถสรุปได้ ดังนี้

4.1 สรุปผลการวิจัย

1) การตอบสนองของโครงสร้างอาคารตัวอย่าง จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีแบบแรงกระทำด้านข้างและวิธีแบบประวัติเวลาไม่เชิงเส้นวิธีแรกจะให้ผลการตอบสนองของโครงสร้างมากกว่าวิธีที่สองทุกชั้นแผ่นดินไหว ทั้งนี้ตำแหน่งความเสียหายทั้งสองวิธีมีความสอดคล้องกัน กล่าวคือ ได้รับความเสียหายมากที่สุดบริเวณชั้น 3 แต่ปริมาณและระดับความเสียหายของวิธีแบบแรงกระทำด้านข้างมีมากกว่าวิธีแบบประวัติเวลาไม่เชิงเส้น อย่างไรก็ตามถึงแม้วิธีแบบประวัติเวลาไม่เชิงเส้นจะให้ค่าการตอบสนองที่น้อยกว่าวิธีแบบแรงกระทำด้านข้าง แต่วิธีนี้สามารถวิเคราะห์การตอบสนองของอาคารที่สะท้อนให้เห็นพฤติกรรมของอาคารที่มีรูปทรงไม่สม่ำเสมอได้ เสมือนจริงกว่าวิธีแบบแรงกระทำด้านข้างอันเนื่องมาจากข้อจำกัดของการวิเคราะห์ผล ดังนั้นการใช้วิธีวิเคราะห์ทั้ง 2 วิธีควบคู่กันไปเป็นวิธีการที่เหมาะสม โดยเฉพาะกับอาคารที่มีรูปทรงไม่สม่ำเสมอ

2) ในขณะที่อาคารมีการตอบสนองสูงสุด คานของอาคารตัวอย่างมีความเหนียวสามารถสลายพลังงานจากแผ่นดินไหวได้ดี และสามารถรองรับแรงกระทำด้านข้างที่สภาวะประลัยได้ จึงเกิดการเสียรูปเกิดขึ้นน้อยในขณะที่เสามีการเสียรูปเกิดขึ้นมากโดยเฉพาะบริเวณชั้น 3 เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงขนาด จึงส่งผลต่อเสถียรภาพในการต้านทานแรงแผ่นดินไหวและมีความเสี่ยงที่อาจวิบัติแบบชั้นอ่อนแอได้

3) สามารถนำแบบอาคารตัวอย่างไปก่อสร้างได้ทุกพื้นที่ในประเทศไทย ซึ่งความเสียหายเกิดขึ้นในระดับสมรรถนะแบบเข้าใช้อาคารได้ทันที ยกเว้นในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ และจังหวัดแม่ฮ่องสอนมีความเสียหายมากกว่าแต่อย่างไรก็ตามอาคารยังมีสมรรถนะในระดับปลอดภัยต่อชีวิตซึ่งหากจะทำให้อาคารมีสมรรถนะในระดับเข้าใช้อาคารได้ทันที ควรปรับปรุงเสาบริเวณชั้น 3

4.2 ข้อเสนอแนะ

1) การออกแบบอาคารในพื้นที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวระดับสูงควรคำนึงถึงรูปทรงและความไม่สม่ำเสมอของอาคารเป็นหลัก เนื่องจากมีผลต่อรูปแบบการสั่นไหว ทำให้อาคารมีการบิดตัวร่วมกับการเคลื่อนตัวด้านข้าง จึงไม่ควรลดขนาดหน้าตัดเสาอย่างฉับพลัน เพราะบริเวณดังกล่าวจะเกิดความอ่อนไหวและส่งผลต่อเสถียรภาพในการต้านทานแรงแผ่นดินไหว

2) งานวิจัยฉบับนี้ใช้คลื่นแผ่นดินไหวที่มีผลกระทบต่ออาคารมากที่สุดเป็นคลื่นแผ่นดินไหวที่มีระยะห่างจากจุดกำเนิดไม่เกิน 10 กิโลเมตร ดังนั้น อาคารที่อยู่ใกล้แนวรอยเลื่อนมีพลังในภาคเหนือควรทำการประเมินความมั่นคงแข็งแรงของอาคารเพื่อให้มีความปลอดภัยต่อแผ่นดินไหว

3) ตัวอย่างอาคารในงานวิจัยฉบับนี้เป็นเพียงอาคารหนึ่งรูปแบบที่ไม่สามารถใช้เป็นคำตอบได้ทุกประเภทอาคาร

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Seismological Bureau. 2014. **Chiang Rai Earthquake Report May 5, 2014 at 18.08 LST**, Bangkok : Meteorological Department. 1:1-2. *(in Thai)*
- [2] Ministry of Interior. 2007. **Ministerial Regulation on Earthquake Resistance of Building (B.E. 2550) under the Building Control Act B.E. 2522**, Bangkok : Ministry of Interior. *(in Thai)*
- [3] Computers and Structures Inc (2015). **Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures Analysis Reference (SAP2000)**. Berkeley California.
- [4] Department of Public Works and Town and Country Planning. 2014. **DPT Standard of the Assessment and Retrofit of Building Structures in Earthquake Prone Areas (DPT. 1303-2014)**, Bangkok : Ministry of Interior. *(in Thai)*
- [5] Department of Public Works and Town and Country Planning. 2 0 1 4 . **Guideline of DPT Standard of the Assessment and Retrofit of Building Structures in Earthquake Prone Areas** Bangkok : Ministry of Interior. *(in Thai)*
- [6] Department of Public Works and Town and Country Planning. 2 0 0 3 . **The Anulukthai commercial building type 3 for people**, Bangkok : Ministry of Interior. *(in Thai)*

- [7] Department of Public Works and Town and Country Planning. 2009. **DPT Standard on Seismic Resistant Design of Buildings and Structures (B.E. 2552)**, Bangkok : Ministry of Interior. *(in Thai)*
- [8] Pacific Earthquake Engineering Research Center. 2016. **Peer Ground Motion Data Base BETA** <http://www.peer.berkeley.edu>. Accessed 8 September 2017.
- [9] Pananon,P and et al. 2014. **Analysis of Recorded Earthquake Ground Motions in Thailand for Applications in Earthquake Engineering and Seismology**. Final Research Report. The Thailand Research Fund. Bangkok. *(in Thai)*