การประเมินความเสียหายของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กภายใต้แผ่นดินไหว ด้วยข้อกำหนด FEMA 356 และ มยผ.1303-57

Evaluation of Reinforced Concrete Building under Seismic Forces by Guideline of FEMA 356 and DPT.1303-57

สุธน รุ่งเรือง[1*] และวิศวินทร์ อัครปัญญาธร[2]

Suthon Rungruang[1*] Wissawin Arckarapunyathorn[2]

suthon.r@rmutr.ac.th[1*], A.Wissawin@gmail.com[2]

[1] สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตศาลายา

[1] Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Rattanakosin

[2] สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

[2] Department of Civil Engineering, Faculty of Science and Technology, Nakhon Pathom Rajabhat University

Received: September 29, 2017
Revised: November 30, 2017
Accepted: March 22, 2018

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เน้นไปที่การเปรียบเทียบผลการประเมินความเสียหายภายใต้แรงแผ่นดินไหวด้วยข้อกำหนด FEMA 356 และ มยผ.1303-57 ของโครงสร้างอาคารตัวอย่างคอนกรีตเสริมเหล็ก 5 และ 8 ชั้น ซึ่งเป็นอาคารพักอาศัยรวมในจังหวัดเชียงใหม่ ที่ไม่ได้ออกแบบให้ต้านทานแผ่นดินไหว ด้วยโปรแกรมทางไฟไนต์อิลิเมนต์ อาคารตัวอย่างคอนกรีตเสริมเหล็ก 5 และ 8 ชั้น เป็นโครงสร้างระบบโครงข้อแข็งคาน-เสา รูปร่างของอาคารมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าและมีความสูงรวม 14.95 และ 25.75 เมตร ตามลำดับ การวิเคราะห์โครงสร้างเป็นแบบ 3 มิติ วิเคราะห์ด้วยวิธีพลศาสตร์เชิงเส้น (LDP) โดยใช้วิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด (RSA) และกำหนดให้ฐานรองรับของแบบจำลองโครงสร้างเป็นฐานรองรับแบบยึดแน่น จากการศึกษาพบว่าอาคารตัวอย่างทั้งสองมีระดับสมรรถนะของอาคารอยู่ในระดับป้องกันการพังทลาย (Collapse Prevention Level; CP) ค่าเกณฑ์การยอมรับระดับสมรรถนะในคานของทั้งสองข้อกำหนดไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่ค่าเกณฑ์การยอมรับระดับสมรรถนะในเสาของทั้งสองข้อกำหนดมีความแตกต่างกัน โดยเกณฑ์การยอมรับระดับสมรรถนะในเสาของ มยผ.1303-57 มีค่ามากกว่า 0% - 20.70% สำหรับเกณฑ์การยอมรับระดับเข้าใช้อาคารได้ทันที (Immediate Occupancy Level; IO) และมีค่ามากกว่า 0% - 20.4% สำหรับเกณฑ์การยอมรับระดับปลอดภัยต่อชีวิต (Life Safety Level; LS) เมื่อเทียบกับค่าเกณฑ์การยอมรับระดับสมรรถนะของ FEMA 356 ในขณะที่เกณฑ์การยอมรับระดับ CP ในเสาของ มยผ.1303-57 มีค่าน้อยกว่า 0% - 13.33% เมื่อเทียบกับค่าเกณฑ์การยอมรับระดับสมรรถนะของ FEMA 356

คำสำคัญ: คอนกรีตเสริมเหล็ก, แผ่นดินไหว, การประเมินความเสียหาย, สเปกตรัมตอบสนอง

Abstract

The objective of this research is to compare the evaluation of performance damage levels under seismic forces by guideline of FEMA 356 and DPT.1303-57. Five and eight-story reinforced concrete building were structural models by using finite element program. The studied building is a common housing building in Chiang Mai. The structure is a beam-column system and not be designed for earthquake resistance. Both buildings have rectangular shaped building. The height of five and eight-story building are 14.95 and 25.75 meters respectively. The Linear dynamic procedure (LDP) utilized modal response spectrum analysis (RSA) was used this procedure was conducted for 3-Dimensional structure. Fixed support was used. The evaluation results indicated that performance level of both of the buildings is collapse prevention level (CP). The acceptance criteria of performance level for beam based on the guideline of DPT.1303-57 and FEMA 356 are slightly different, but, for a column, the both of guideline are different. The acceptance criteria

of performance level for a column based on the guideline of DPT.1303-57, percentage of increasing was 0% - 20.70% for immediate occupancy Level (IO), and percentage of increasing was 0% - 20.40% for life safety level (LS) compared with guideline of FEMA 356. Whereas, the acceptance criteria of performance level for a column on CP level based on the guideline of DPT.1303-57, percentage of decreasing was 0% - 13.33% compared with guideline of FEMA 356.

Keywords: reinforced concrete, earthquake, damage evaluation and response spectrum analysis.

1. บทนำ

เมื่อวันที่ 5 พฤษภาคม พ.ศ. 2557 ประเทศไทยได้เผชิญกับเหตุการณ์แผ่นดินไหวครั้งรุนแรงที่สุดในประวัติศาสตร์ไทยในรอบ 40 ปี โดยมีขนาดความรุนแรงของแผ่นดินไหว 6.3 ริกเตอร์ ส่งผลทำให้อาคารต่างๆ เกิดความเสียหายอย่างหนัก ชำร้ายอาคารบางส่วนได้พังทลายลง จนเป็นเหตุทำให้ประชาชนได้รับบาดเจ็บ และอาคารไม่สามารถใช้งานต่อไปได้ เหตุการณ์นี้เป็นสิ่งที่ย้ำเตือนว่าแผ่นดินไหวเป็นภัยที่ใกล้ตัว และมีความเสี่ยงต่อชีวิตและทรัพย์สิน

ในอดีตจนถึงปัจจุบันประเทศไทยได้ตระหนักถึงภัยอันตรายจากแผ่นดินไหวมาโดยตลอด โดยในปี พ.ศ. 2540 ประเทศไทยได้ออกกฎกระทรวงฉบับที่ 49 ซึ่งเป็นข้อบังคับสำหรับด้านการออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหวเป็นครั้งแรก [1] และต่อมาในปี พ.ศ. 2550 ประเทศไทยได้ออกกฎกระทรวงฉบับที่ 50 เพื่อบังคับใช้แทนกฎกระทรวงฉบับเดิม ซึ่งได้ทำการปรับปรุงแก้ไขเนื้อหาของกฎกระทรวงฉบับที่ 49 ให้มีความทันสมัยและสะดวกในการวิเคราะห์โครงสร้างมากยิ่งขึ้น โดยใช้วิธีแรงสถิตเทียบเท่าในการวิเคราะห์โครงสร้างอาคารเพื่อต้านทานแรงแผ่นดินไหว [2] อย่างไรก็ตามวิธีการวิเคราะห์นี้ไม่เหมาะสมสำหรับอาคารที่มีรูปทรงไม่สม่ำเสมอ ต่อมาภายหลังในปี พ.ศ. 2552 ทางกรมโยธาธิการและผังเมืองได้จัดทำมาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว (มยผ.1302) [3] และในปี พ.ศ. 2554 ได้จัดทำมาตรฐานประกอบการออกแบบอาคารเพื่อต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว (มยผ.1301-54) [4] ซึ่งได้กำหนดวิธีการวิเคราะห์ที่หลากหลายและการออกแบบอาคารเพื่อต้านทานแรงแผ่นดินไหวให้มีความทันสมัยมากยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตามมีอาคารจำนวนมากที่ไม่ได้ออกแบบเพื่อต้านทานแรงแผ่นดินไหว โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาคารที่สร้างก่อนปี พ.ศ. 2540 ดังนั้นอาคารเหล่านี้จึงมีความเสี่ยงที่จะได้รับความเสียหายเนื่องจากแรงแผ่นดินไหวและต้องเตรียมการรับมือความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นได้ การเตรียมการรับมือภัยธรรมชาติเนื่องจากแรงแผ่นดินไหวมีหลากหลายวิธี ซึ่งวิธีการประเมินความเสียหายของอาคารจากแบบจำลองโครงสร้าง ก็เป็นวิธีการหนึ่งสำหรับการเตรียมความพร้อมในการรับมือจากเหตุการณ์แผ่นดินไหว [5]

ข้อกำหนด FEMA 356 [6] และ มยผ.1303-57 [7] เป็นข้อกำหนดสำหรับการประเมินความเสียหายของโครงสร้างอาคาร โดยข้อกำหนด มยผ.1303-57 เป็นข้อกำหนดที่มีความทันสมัยมากกว่า แต่ในขณะเดียวกัน ข้อกำหนด FEMA 356 ก็เป็นข้อกำหนดที่ได้รับการยอมรับจากทั่วทุกมุมโลก จะเห็นว่า แม้ข้อกำหนด มยผ.1303-57 จะมีความทันสมัยมากกว่าข้อกำหนด FEMA 356 แต่ยังไม่มีการเปรียบเทียบความแตกต่างของผลการประเมินความเสียหายระหว่างข้อกำหนดทั้งสองอย่างชัดเจน ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องสร้างองค์ความรู้และเปรียบเทียบผลการประเมินความเสียหายเพื่อนำไปใช้งานต่อไป

ทั้งนี้ขอบเขตของงานวิจัยนี้ จะเป็นการประเมินความเสียหาย และเปรียบเทียบผลการประเมินความเสียหายระหว่างข้อกำหนด FEMA 356 และ มยผ. 1303-57 โดยพิจารณาโครงสร้างอาคารพักอาศัยรวมคอนกรีตเสริมเหล็ก 5 และ 8 ชั้น ในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งเป็นอาคารที่มีปริมาณเป็นจำนวนมาก

วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้ มุ่งเน้นเพื่อประเมินความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับโครงสร้างอาคารพักอาศัยรวมคอนกรีตเสริมเหล็ก 5 และ 8 ชั้น ในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ และเพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลการประเมินความเสียหายระหว่างข้อกำหนด FEMA 356 และ มยผ.1303-57

2. อาคารตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกแบบอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 5 และ 8 ชั้น โดยอาคารเหล่านี้ถูกออกแบบให้รับน้ำหนักบรรทุกในแนวดิ่งและแรงลมเท่านั้น มิได้คำนึงถึงแรงแผ่นดินไหว เหล็กเสริมที่ใช้ในโครงสร้างองค์อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กมี 2 ชนิด คือ เหล็กเส้นกลมชั้นคุณภาพ SR24 และเหล็กข้ออ้อยชั้นคุณภาพ SD40 โดยมีกำลัง ณ จุดครากเท่ากับ 2,400 และ 4,000 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ อาคารตัวอย่างนี้กำหนดให้รับน้ำหนักบรรทุกคงที่เพิ่มเติม 150 กิโลกรัมต่อตารางเมตร และน้ำหนักของผนังก่ออิฐ 180 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ระบบโครงสร้างของอาคารตัวอย่างนี้เป็นแบบระบบโครงคาน-เสา (Beam-Column Frame) ซึ่งเป็นอาคารอพาร์ตเม้น ประเภทที่พักอาศัยรวม ในจังหวัดเชียงใหม่มาเป็นกรณีศึกษา

2.1 อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 5 ชั้น

รายละเอียดของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 5 ชั้น มีดังต่อไปนี้

2.1.1 ผังอาคารมีขนาด 14.1x31.3 เมตร ความสูงทั้งหมด 14.95 เมตร ภายในอาคารใช้อิฐมอญกั้นเป็นกำแพงระหว่างห้อง

2.1.2 คอนกรีตมีค่ากำลังอัดประลัย 240 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (รูปทรงกระบอก) ที่อายุ 28 วัน และมีค่าโมดูลัสยืดหยุ่น 233,928.20 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (ดูจากแบบก่อสร้าง)

2.1.3 พื้นชั้นที่ 1 เป็นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อในที่หนา 10-15 เซนติเมตร โดยมีคานรองรับ สำหรับพื้นชั้นที่ 2-5 เป็นแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงสำเร็จรูปหนา 10 เซนติเมตร (ความหนารวมคอนกรีตเททับหน้า) ยกเว้นพื้นห้องน้ำเป็นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อในที่หนา 10 เซนติเมตร โดยเหล็กเสริมในพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อในที่จะใช้เหล็กเสริม DB12 @ 0.15-0.30 เมตร

2.1.4 เสาที่ใช้พิจารณาในการวิเคราะห์นี้มีขนาด 30x50, 30x40, 25x40, 25x30, 20x40, 20x30, 20x25 และ 20x20 เซนติเมตร โดยมีการเสริมเหล็กที่แตกต่างกัน (ปริมาณเหล็กเสริมต่อพื้นที่หน้าตัดเสาอยู่ระหว่าง 1.13% - 8.2%)

2.1.5 คานที่ใช้พิจารณาในการวิเคราะห์นี้มีขนาด 20x40, 20x50 และ 25x60 เซนติเมตร โดยมีการเสริมเหล็กที่แตกต่างกัน

2.1.6 อาคารตัวอย่างนี้กำหนดให้รับน้ำหนักบรรทุกจรเท่ากับ 200 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (สำหรับชั้นที่ 1-5) และ 50 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (สำหรับชั้นหลังคา)

2.2. อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 8 ชั้น

รายละเอียดของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 8 ชั้น มีดังต่อไปนี้

2.2.1 ผังอาคารมีขนาด 17.4x48 เมตร ความสูงทั้งหมด 25.75 เมตร ภายในอาคารใช้อิฐมอญกั้นเป็นกำแพงระหว่างห้อง

2.2.2 คอนกรีตมีค่ากำลังอัดประลัย 280 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (รูปทรงกระบอก) ที่อายุ 28 วัน และมีค่าโมดูลัสยืดหยุ่น 252,671.32 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (ดูจากแบบก่อสร้าง)

2.2.3 พื้นเป็นแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงสำเร็จรูปหนา 10 เซนติเมตร (ความหนารวมคอนกรีตเททับหน้า)

2.2.4 เสาที่ใช้พิจารณาในการวิเคราะห์นี้มีขนาด 20x50, 20x40, 20x30, 20x20, 20x40, 20x45, 20x35, 20x50, 20x30 และ 20x25 เซนติเมตร โดยมีการเสริมเหล็กที่แตกต่างกัน (ปริมาณเหล็กเสริมต่อพื้นที่หน้าตัดเสาอยู่ระหว่าง 1.13% - 4.33%)

2.2.5 คานที่ใช้พิจารณาในการวิเคราะห์นี้มีขนาด 20x35, 20x30, 20x20, 25x60, 20x30, 10x30, 15x35, 15x30, 25x35 และ 20x60 เซนติเมตร โดยมีการเสริมเหล็กที่แตกต่างกัน

2.2.6 อาคารตัวอย่างนี้กำหนดให้รับน้ำหนักบรรทุกจรเท่ากับ 200 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (สำหรับชั้นที่ 1-8) และ 50 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (สำหรับชั้นหลังคา)

3. วิธีการวิเคราะห์และการดำเนินการวิจัย

3.1. แบบจำลองโครงสร้างอาคารตัวอย่าง

ในการศึกษาวิจัยนี้จะจำลองโครงสร้างอาคารที่พักอาศัยรวมคอนกรีตเสริมเหล็ก 5 และ 8 ชั้น แบบ 3 มิติ โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์ ดังแสดงในรูปที่ 1 และ 2 ตามลำดับ สำหรับฐานรองรับของแบบจำลองโครงสร้างในงานวิจัยนี้กำหนดให้เป็นฐานรองรับแบบยึดแน่น (Fixed Support) และกำหนดค่าสติฟเนสขององค์อาคารคอนกรีต โดยลดค่าสติฟเนสของเสาและคานจากหน้าตัดก่อนเกิดการแตกร้าวเหลือ 70% และ 35% ตามลำดับ เนื่องจากการแตกร้าวของโครงสร้าง (Crack Section) จะมีผลต่อค่าสติฟเนส [3]

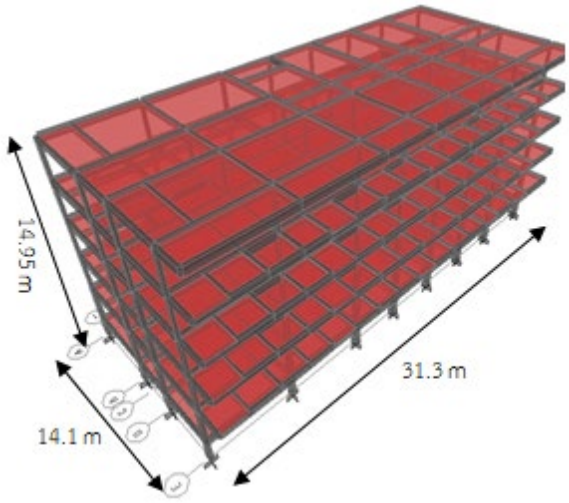
3.2. การวิเคราะห์ด้วยวิธีพลศาสตร์เชิงเส้น

สำหรับงานวิจัยนี้ใช้การวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีพลศาสตร์เชิงเส้นโดยใช้วิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด (Modal Response Spectrum Analysis) เนื่องจากวิธีพลศาสตร์เชิงเส้นเป็นวิธีที่มีขั้นตอนการคำนวณที่สะดวกกว่าวิธีพลศาสตร์ไม่เชิงเส้น และมีความถูกต้องใกล้เคียงกับวิธีพลศาสตร์ไม่เชิงเส้น ดังนั้นวิธีการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีพลศาสตร์เชิงเส้นจึงมีประสิทธิภาพเพียงพอต่อการวิเคราะห์และการประเมินความเสียหายอาคาร [8] โดยกำหนดชนิดของโครงสร้างอาคารเป็นแบบโครงต้านแรงดัดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบธรรมดา (Ordinary Reinforced Concrete Moment Resisting Frame; R = 3, Ω_0 =3 และ C_d = 2.5) ตามมาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว [3]

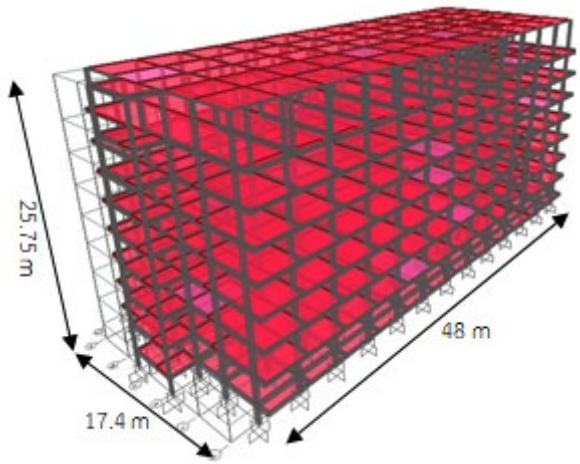
จำนวนของโหมดที่ต้องพิจารณาจะต้องมีค่าน้ำหนักประสิทธิผลเชิงโหมด (Effective Modal Weight, or Modal Weight Participation) ไม่น้อยกว่า 90% ของน้ำหนักประสิทธิผลทั้งหมดของอาคารสำหรับแต่ละทิศทางของแผ่นดินไหวในแนวราบที่ตั้งฉากกัน ซึ่งมีทั้งหมด 9 โหมด สำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก 5 ชั้น ดังแสดงในตารางที่ 1 และ 15 โหมด สำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก 8 ชั้น ดังแสดงในตารางที่ 2 โดยผลการวิเคราะห์ในแต่ละโหมด ที่นำมาพิจารณาจะนำมารวมกันแบบ Square Root Sum of Square (SRSS)

3.3. ระดับความรุนแรงของแผ่นดินไหว

ระดับความรุนแรงของแผ่นดินไหวที่ใช้สำหรับการประเมินกำลังต้านทานแผ่นดินไหวของอาคารตัวอย่าง จะใช้ตามมาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว [3] ค่าความเร่ง ตอบสนองเชิงสเปกตรัม (Spectral Acceleration) สำหรับคาบเวลา 1.0 และ 0.2 วินาที จะถูกแสดงดังตารางที่ 3 และประเภทของชั้นดินที่ใช้สำหรับวิเคราะห์โครงสร้างอาคารตัวอย่างจะกำหนดให้เป็นชั้นดินประเภท D สำหรับสเปกตรัมตอบสนองในการวิเคราะห์โครงสร้างอาคารตัวอย่าง จะแสดงในรูปที่ 3 ผลแรงเฉือนที่ฐานอาคารจากการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีพลศาสตร์เชิงเส้นจะต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 85% ของแรงเฉือนที่ฐานอาคารจากการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีสถิตเทียบเท่าซึ่งผลของแรงเฉือนที่ฐานอาคารจากการวิเคราะห์โครงสร้างมีค่าเท่ากับ V_x = 408.02 ตัน และ V_y = 422.29 ตัน สำหรับอาคาร 5 ชั้น และ V_x = 574.34 ตัน และ V_y = 573.32 ตัน สำหรับอาคาร 8 ชั้น



รูปที่ 1 แบบจำลองอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก สูง 5 ชั้น



รูปที่ 2 แบบจำลองอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก สูง 8 ชั้น

ตารางที่ 1 ค่าความถี่ธรรมชาติและน้ำหนักประสิทธิผลของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก 5 ชั้น

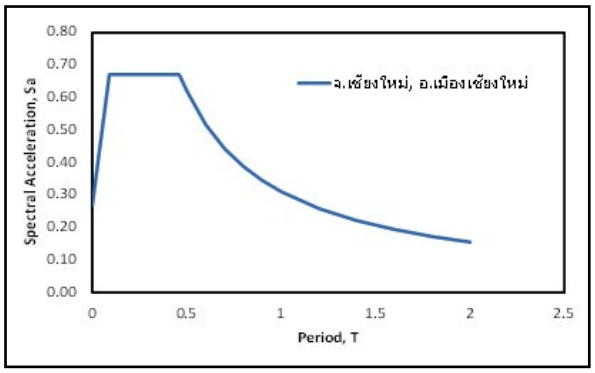
Mode	Period	UX	UY	RZ
	sec	%	%	%
1	1.383	72%	0%	4%
2	1.163	0%	13%	2%
3	1.066	0%	61%	67%
4	0.496	11%	0%	1%
5	0.422	0%	1%	1%
6	0.385	0%	9%	9%
7	0.231	8%	0%	0%
8	0.201	1%	2%	0%
9	0.183	0%	7%	9%
Total		**92%**	**93%**	**93%**

ตารางที่ 2 ค่าความถี่ธรรมชาติและน้ำหนักประสิทธิผลของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก 8 ชั้น

Mode	Period	UX	UY	RZ
	sec	%	%	%
1	2.672	70%	0%	6%
2	1.655	0%	0%	10%
3	1.379	0%	67%	54%
4	1.278	0%	4%	1%
5	1.150	0%	0%	1%
6	1.134	1%	0%	0%
7	0.909	8%	0%	1%
8	0.804	1%	0%	0%
9	0.752	0%	0%	0%
10	0.545	4%	0%	2%
11	0.506	0%	3%	6%
12	0.469	0%	7%	1%
13	0.266	6%	1%	6%
14	0.249	4%	2%	3%
15	0.220	0%	6%	1%
Total		**94%**	**90%**	**92%**

ตารางที่ 3 ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม

คาบเวลา	ค่าความเร่งตอบสนอง (g)
คาบเวลา 0.2 วินาที (S_s)	0.878
คาบเวลา 1.0 วินาที (S_1)	0.248



รูปที่ 3 สเปกตรัมผลตอบสนองสำหรับการวิเคราะห์

3.4. การประเมินกำลังต้านทานแผ่นดินไหวของอาคาร

การประเมินกำลังต้านทานแผ่นดินไหวหรือการประเมินระดับสมรรถนะของอาคารและโครงสร้าง หมายถึง ค่าที่แสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมของโครงสร้างในขณะที่รับแรงแผ่นดินไหวและความเสียหายที่เกิดขึ้น ตามข้อกำหนด FEMA 356 [6] และ มยผ. 1303-57 [7] ได้จำแนกระดับสมรรถนะของอาคารออกเป็น 4 ระดับ คือ ระดับอาคารปฏิบัติงานได้ (Operational Level) ระดับเข้าใช้อาคารได้ทันที (Immediate Occupancy Level; IO) ระดับปลอดภัยต่อชีวิต (Life Safety Level; LS) และระดับป้องกันการพังทลาย (Collapse Prevention Level; CP)

การประเมินระดับสมรรถนะของโครงสร้างอาคารทั้งระบบจะวัดจากค่าการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้น (Story Drift) โดยจำแนกเป็น 3 ระดับ คือ ระดับเข้าใช้อาคารได้ทันที(IO)ค่าการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้นจะต้องมีค่าไม่เกิน 1% ระดับปลอดภัยต่อชีวิต (LS) ค่าการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้นจะต้องมีค่าไม่เกิน 2% และระดับป้องกันการพังทลาย (CP) ค่าการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้นจะต้องมีค่าไม่เกิน 4%

การประเมินระดับสมรรถนะของโครงสร้างอาคารในแต่ละชิ้นส่วนของโครงสร้างคานและเสา โดยวิธีพลศาสตร์เชิงเส้น จะใช้ค่าตัวประกอบปรับแก้ความเหนียว (m-factor) เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับเกณฑ์การยอมรับค่าระดับความเสียหายของชิ้นส่วนตามข้อกำหนด FEMA 356 [6] และ มยผ.1303-57 [7] โดยค่า m-factor สามารถคำนวณได้ตามสมการดังต่อไปนี้

$$mkQ_{CE} \geq Q_{UD} \qquad (1)$$

โดยที่ m คือ ตัวประกอบปรับแก้ความเหนียว (m-factor) ของชิ้นส่วนโครงสร้าง, k คือ ตัวประกอบความเชื่อมั่นของข้อมูล ซึ่งในที่นี้กำหนดให้เท่ากับ 1, Q_{CE} คือ ค่าคาดหวังของกำลังต้านทานของชิ้นส่วนโครงสร้างที่สภาวะการเสียรูปที่กำลังพิจารณา โดยต้องคำนึงถึงพฤติกรรมอื่นๆ ภายใต้สภาวะแรงกระทำที่ใช้ในการออกแบบที่กำลังกระทำต่อชิ้นส่วนโครงสร้างนั้นด้วย และ Q_{UD} คือ พฤติกรรมที่ถูกควบคุมโดยการเสียรูปที่ใช้ในการออกแบบจากผลของน้ำหนักบรรทุกแนวดิ่งรวมกับผลของแรงแผ่นดินไหว ซึ่ง Q_{UD} สามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$Q_{UD} = Q_G \pm Q_E \qquad (2)$$

$$Q_G = 1.1(Q_D + Q_L) \qquad (3)$$

โดยที่ Q_G คือ ผลของน้ำหนักบรรทุกแนวดิ่งที่ใช้ในการออกแบบ, Q_E คือ ผลของแรงแผ่นดินไหวที่ใช้ในการออกแบบ โดยคำนวณจากแรงและการวิเคราะห์แบบจำลอง, Q_D คือ ผลของน้ำหนักบรรทุกคงที่เพื่อการออกแบบ และ Q_L คือ ผลของน้ำหนักบรรทุกจรเพื่อการออกแบบ ซึ่งเท่ากับ 25% ของน้ำหนักบรรทุกจรเพื่อการออกแบบที่ยังไม่ลดค่า

4. ผลการวิจัย

4.1. ผลการประเมินความเสียหายในคาน

จากผลการประเมินความเสียหายในคานโดยภาพรวมจากทั้งข้อกำหนด FEMA 356 และ มยผ. 1303-57 สำหรับอาคารตัวอย่าง 5 ชั้น พบว่า คานชั้นที่ 1-4 มีความเสียหายอยู่ในระดับ CP และคานชั้นที่ 5-หลังคา ไม่เกิดความเสียหาย (ไม่เกินระดับ IO) ดังแสดงในรูปที่ 4 และ 5 ตามลำดับ สำหรับอาคารตัวอย่าง 8 ชั้น พบว่า คานชั้นที่ 1-6 มีความเสียหายอยู่ในระดับ CP คานชั้นที่ 7 มีความเสียหายอยู่ในระดับ LS คานชั้นที่ 8 มีความเสียหายอยู่ในระดับ IO และคานชั้นหลังคา ไม่มีความเสียหาย ดังแสดงในรูปที่ 6 และ 7 ตามลำดับ ผลการประเมินความเสียหายของคานจากทั้งสองข้อกำหนดให้ผลการประเมินที่เหมือนกัน ในขณะที่ค่าเกณฑ์การยอมรับระดับสมรรถนะ (ความเสียหาย) ในคานของทั้งสองข้อกำหนดมีความแตกต่างกันเล็กน้อย โดยเกณฑ์การยอมรับระดับสมรรถนะในคานของ มยผ.1303-57 มีค่าสูงกว่า 0.3%-0.43% เมื่อเทียบกับค่าเกณฑ์การยอมรับระดับสมรรถนะของ FEMA 356

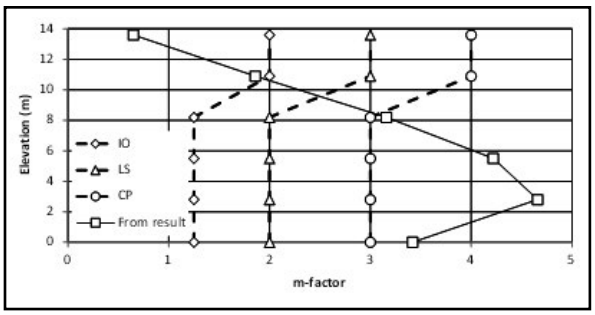
สมการที่ใช้คำนวณค่าเกณฑ์การยอมรับระดับสมรรถนะในคานของข้อกำหนด มยผ.1303-57 และ FEMA 356 เป็นสมการเดียวกัน แต่ใช้หน่วยในการคำนวณที่แตกต่างกัน ซึ่งหน่วยของ FEMA 356 จะใช้หน่วยปอนด์และนิ้ว ส่วนของ มยผ.1303-57 จะใช้หน่วยนิวต้นและมิลลิเมตร สำหรับการแทนค่าในสมการดังกล่าว ทำให้ตัวเลขที่คำนวณได้มีความคลาดเคลื่อน เนื่องจากการปัดเศษตัวเลขหลังจากการแปลงหน่วย ด้วยสาเหตุนี้จึงทำให้ค่าเกณฑ์การยอมรับระดับสมรรถนะในคานมีความแตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ตามผลกระทบจากการใช้หน่วยที่แตกต่างกันในการคำนวณไม่ได้ทำให้ค่าเกณฑ์การยอมรับระดับสมรรถนะในคานมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ วิศวินทร์ อัครปัญญาธร และศุภมน วงศ์ปิยะบวร [9]

4.2. ผลการประเมินความเสียหายในเสา

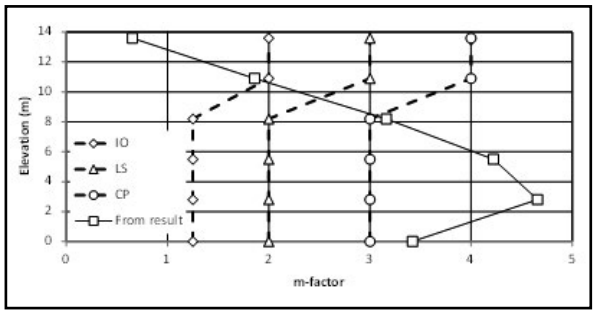
จากผลการประเมินความเสียหายในเสาโดยภาพรวมจากทั้งข้อกำหนด FEMA 356 และ มยผ. 1303-57 สำหรับอาคารตัวอย่าง 5 ชั้น พบว่า เสาชั้นที่ 1-2 ไม่เกิดความเสียหาย เสาชั้นที่ 3 มีความเสียหายอยู่ในระดับ LS และเสาชั้นที่ 4-5 มีความเสียหายอยู่ในระดับ CP ดังแสดงในรูปที่ 8 และ 9 ตามลำดับ

ผลการประเมินความเสียหายในเสาโดยภาพรวมจากข้อกำหนด FEMA 356 สำหรับอาคารตัวอย่าง 8 ชั้น จะถูกแสดงดังรูปที่ 10 โดยพบว่า เสาชั้นที่ 1 มีความเสียหายอยู่ในระดับ IO เสาชั้นที่ 2 และ 6 มีความเสียหายอยู่ในระดับ LS เสาชั้นที่ 4-5 มีความเสียหายอยู่ในระดับ CP และเสาชั้นที่ 3, 7 และ 8 ไม่เกิดความเสียหาย

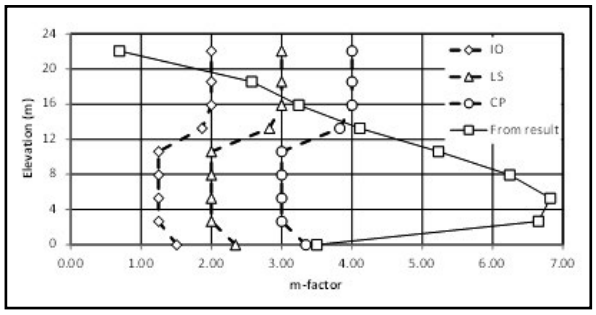
ผลการประเมินความเสียหายในเสาโดยภาพรวมจากข้อกำหนด มยผ.1303-57 สำหรับอาคารตัวอย่าง 8 ชั้น แสดงดังรูปที่ 11 และพบว่า เสาชั้นที่ 1, 3, 7 และ 8 ไม่เกิดความเสียหาย เสาชั้นที่ 2 มีความเสียหายอยู่ในระดับ LS และเสาชั้นที่ 4-6 มีความเสียหายอยู่ในระดับ CP



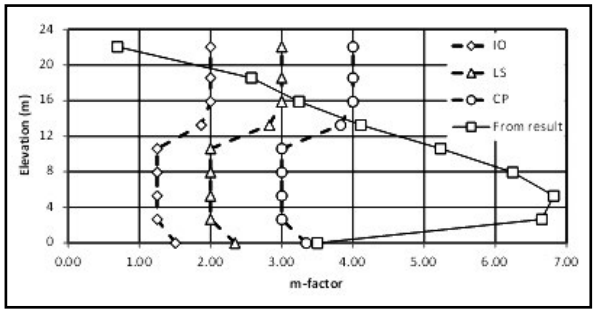
รูปที่ 4 ผลการประเมินความเสียหายในคานของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก 5 ชั้น โดยข้อกำหนด FEMA356



รูปที่ 5 ผลการประเมินความเสียหายในคานของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก 5 ชั้น โดยข้อกำหนด มยผ.1303-57



รูปที่ 6 ผลการประเมินความเสียหายในคานของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก 8 ชั้น โดยข้อกำหนด FEMA356



รูปที่ 7 ผลการประเมินความเสียหายในคานของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก 8 ชั้น โดยข้อกำหนด มยผ.1303-57

เมื่อนำผลการประเมินความเสียหายในเสาโดยภาพรวมจากข้อกำหนด FEMA 356 และ มยผ. 1303-57 สำหรับอาคารตัวอย่าง 8 ชั้น มาเปรียบเทียบกัน พบว่า เสาชั้นที่ 1 และ 6 ให้ผลของระดับความเสียหายที่แตกต่างกัน โดยเสาชั้นที่ 1 มีความเสียหายอยู่ในระดับ IO และไม่เกิดความเสียหายสำหรับข้อกำหนด FEMA 356 และ มยผ.1303-57 ตามลำดับ ในขณะที่เสาชั้นที่ 6 มีความเสียหายอยู่ในระดับ LS และ CP สำหรับข้อกำหนด FEMA 356 และ มยผ.1303-57 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4

จากผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า เส้นเกณฑ์การยอมรับระดับสมรรถนะของทั้งสองข้อกำหนดให้เกณฑ์การยอมรับระดับสมรรถนะที่แตกต่างกัน เนื่องจากค่าตัวประกอบปรับแก้ความเหนียวของชิ้นส่วนโครงสร้าง (m-factor) ที่ให้ไว้ในตารางเกณฑ์การยอมรับเชิงตัวเลขสำหรับวิธีแบบเชิงเส้นของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กของทั้งสองข้อกำหนดมีความแตกต่างกันอย่างสิ้นเชิง โดยค่าเกณฑ์การยอมรับระดับสมรรถนะในเสาของ มยผ.1303-57 มีค่ามากกว่า 0% - 20.70% สำหรับเกณฑ์การยอมรับระดับ IO และมีค่ามากกว่า 0% - 20.4% สำหรับเกณฑ์การยอมรับระดับ LS เมื่อเทียบกับค่าเกณฑ์การยอมรับระดับสมรรถนะของ FEMA 356 ในขณะที่เกณฑ์การยอมรับระดับ CP ในเสาของ มยผ.1303-57 มีค่าน้อยกว่า 0% - 13.33% เมื่อเทียบกับค่าเกณฑ์การยอมรับระดับสมรรถนะของ FEMA 356

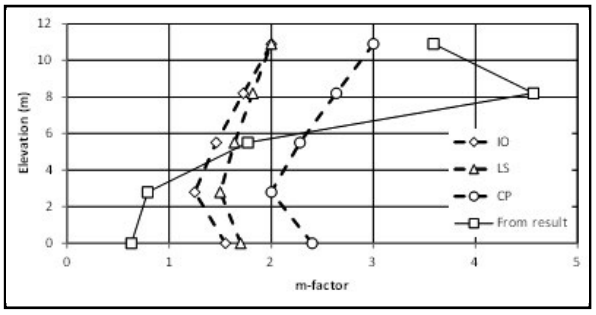
4.3. ผลการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้น (Story Drift)

จากรูปที่ 12 แสดงค่าการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้น (Story Drift) ของอาคารตัวอย่าง 5 ชั้น พบว่าค่าการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้นสูงสุดมีค่าเท่ากับ 1.3% และ 0.9% สำหรับแนวแกน X และ Y ตามลำดับ ซึ่งมีค่าไม่เกินค่าที่ยอมให้ตามมาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวคือ 2% จากผลการวิเคราะห์โดยภาพรวมพบว่า ระดับสมรรถนะของอาคารอยู่ในระดับ LS

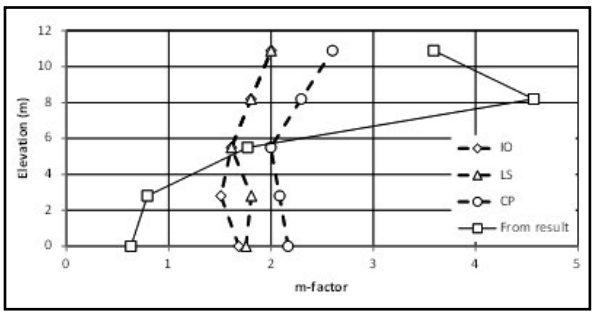
จากรูปที่ 13 แสดงค่าการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้นของอาคารตัวอย่าง 8 ชั้น พบว่าค่าการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้นสูงสุดมีค่าเท่ากับ 2.4% และ 0.8% สำหรับแนวแกน X และ Y ตามลำดับ

ซึ่งมีค่าเกินค่าที่ยอมให้ตามมาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว สำหรับแกน X ในขณะที่แกน Y มีค่าไม่เกินค่าที่ยอมให้ตามมาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว จากผลการวิเคราะห์โดยภาพรวม พบว่า ระดับสมรรถนะของอาคารอยู่ในระดับ CP ค่าการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้นในแนวแกน X ของอาคารตัวอย่าง 5 และ 8 ชั้น มีค่าสูงกว่าในแนวแกน Y เนื่องจากอาคารด้านแนวแกน Y มีค่าสติฟเนสของอาคารโดยรวมที่มากกว่าด้านแนวแกน X

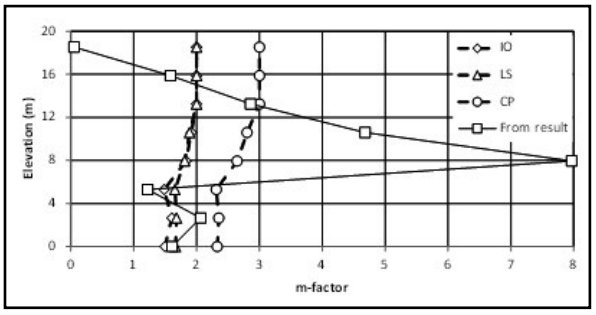
จากผลการวิเคราะห์ที่ได้ทั้งหมดนี้ (ผลการประเมินความเสียหายในคาน เสา และการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้น) โดยภาพรวมจะเห็นว่าการใช้ข้อกำหนด FEMA 356 ในการประเมินระดับสมรรถนะหรือความเสียหายโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กจะมีความประหยัดมากกว่าข้อกำหนดของ มยผ.1303-57 เนื่องจากเกณฑ์การยอมรับระดับ CP ในเสาของ FEMA 356 มีค่าสูงกว่า มยผ.1303-57 ทำให้โอกาสที่เสาจะมีความเสียหายอยู่ในระดับ CP ลดน้อยลง เป็นผลทำให้สามารถลดตำแหน่งในการเสริมกำลังอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กเพื่อต้านทานแผ่นดินไหวได้มากกว่า



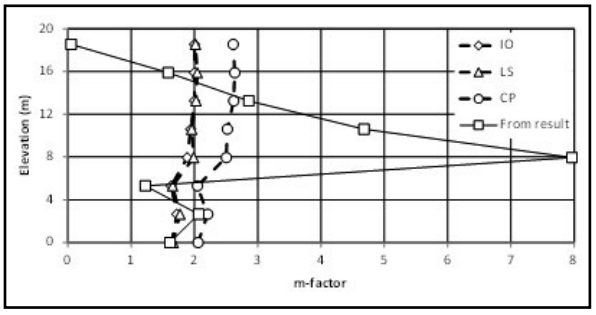
รูปที่ 8 ผลการประเมินความเสียหายในเสาของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก 5 ชั้น โดยข้อกำหนด FEMA356



รูปที่ 9 ผลการประเมินความเสียหายในเสาของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก 5 ชั้น โดยข้อกำหนด มยผ.1303-57



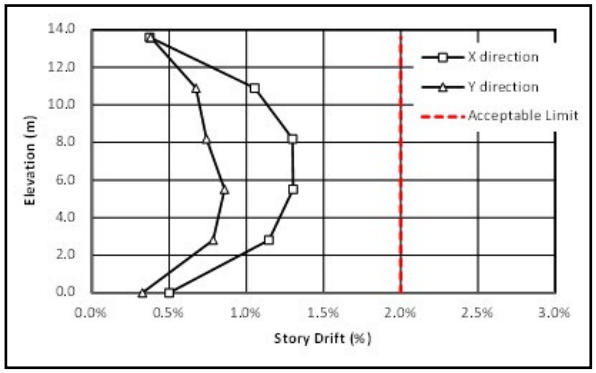
รูปที่ 10 ผลการประเมินความเสียหายในเสาของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก 8 ชั้น โดยข้อกำหนด FEMA356



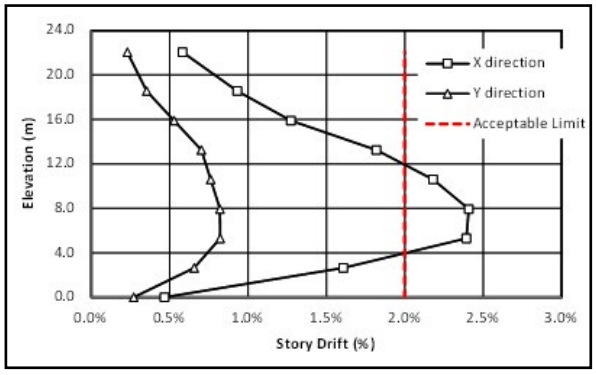
รูปที่ 11 ผลการประเมินความเสียหายในเสาของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก 8 ชั้น โดยข้อกำหนด มยผ.1303-57

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบผลการประเมินความเสียหายในเสาของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก 8 ชั้น

ระดับชั้น	ระดับความเสียหาย	
	FEMA 356	มยผ.1303-57
1	IO	-
2	LS	LS
3	-	-
4	CP	CP
5	CP	CP
6	LS	CP
7	-	-
8	-	-



รูปที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูงและค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นของอาคารตัวอย่าง 5 ชั้น



รูปที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูงและค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นของอาคารตัวอย่าง 8 ชั้น

5. สรุป

จากผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการประเมินความเสียหายระหว่างข้อกำหนด FEMA 356 และ มยผ.1303-57 ของอาคารตัวอย่าง 5 และ 8 ชั้น สามารถสรุปผลได้ดังต่อไปนี้

5.1. จากการศึกษาพบว่าอาคารตัวอย่างที่พักอาศัยรวมคอนกรีตเสริมเหล็ก 5 และ 8 ชั้น มีระดับสมรรถนะโดยภาพรวมของอาคารอยู่ในระดับป้องกันการพังทลาย (CP) ทั้งจากการใช้ข้อกำหนดของ FEMA 356 และ มยผ.1303-57

5.2. ค่าเกณฑ์การยอมรับระดับสมรรถนะในคานของข้อกำหนด มยผ.1303-57 และ FEMA 356 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากสมการที่ใช้คำนวณค่าเกณฑ์การยอมรับระดับสมรรถนะเป็นสมการเดียวกัน แต่ใช้หน่วยในการคำนวณที่แตกต่างกัน ซึ่งหน่วยของ FEMA 356 จะใช้หน่วยปอนด์และนิ้ว ส่วนของ มยผ.1303-57 จะใช้หน่วยนิวตันและมิลลิเมตร ด้วยสาเหตุนี้จึงทำให้ค่าเกณฑ์การยอมรับระดับสมรรถนะในคานมีความแตกต่างกัน

5.3. ค่าเกณฑ์การยอมรับระดับสมรรถนะในเสาของ มยผ.1303-57 มีค่ามากกว่า 0% - 20.70% สำหรับเกณฑ์การยอมรับระดับ IO และมีค่ามากกว่า 0% - 20.4% สำหรับเกณฑ์การยอมรับระดับ LS เมื่อเทียบกับค่าเกณฑ์การยอมรับระดับสมรรถนะของ FEMA 356 ในขณะที่เกณฑ์การยอมรับระดับ CP ในเสาของ มยผ.1303-57 มีค่าน้อยกว่า 0% - 13.33% เมื่อเทียบกับค่าเกณฑ์การยอมรับระดับสมรรถนะของ FEMA 356 ทั้งนี้เนื่องจากตารางเกณฑ์การยอมรับเชิงตัวเลขสำหรับวิธีแบบเชิงเส้นของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กของทั้งสองข้อกำหนดมีความแตกต่างกันอย่างสิ้นเชิง

5.4. การใช้ข้อกำหนด FEMA 356 ในการประเมินระดับสมรรถนะหรือความเสียหายโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยภาพรวม จะมีความประหยัดมากกว่าข้อกำหนดของ มยผ.1303-57 เนื่องจากค่าเกณฑ์การยอมรับระดับ CP ในเสาของ

ข้อกำหนด FEMA 356 มีค่ามากกว่าข้อกำหนด มยผ. 1303-57 จึงทำให้ลดตำแหน่งในการเสริมกำลังอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กเพื่อต้านทานแผ่นดินไหวได้มากกว่า

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ ได้รับการสนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัย จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตศาลายา คณะผู้วิจัยใคร่ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Ministry of Interior. Notification of Ministry of Interior No.49 (1997) Bearing Capacity, Resistance a nd Durability of Building to Resist Vibration & Earthquake. Bangkok; 1997. (in Thai)

[2] Ministry of Interior. Notification of Ministry of Interior No.50 (2007) Bearing Capacity, Resistance and Durability of Building to Resist Vibration & Earthquake. Bangkok; 2007. (in Thai)

[3] Department of Public Works and Town & Country Planning. Standard for Building Design to Resist Vibration of Earthquake (DPT.1302). Bangkok; 2009. (in Thai)

[4] Department of Public Works and Town & Country Planning. Standard for Building Design to Resist Vibration of Earthquake (DPT.1301-54). Bangkok; 2011. (in Thai)

[5] Nutalai P, Chintanapakdee C. Building Damage and Loss Assessment for Bangkok Area due to Earthquake. Proceedings of the 19th National Convention on Civil Engineering. 2014;19:351-358. (in Thai)

[6] Federal emergency management agency (FEMA). Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings (FEMA 356). Washington D.C.; 2000.

[7] Department of Public Works and Town & Country Planning. Standard for Evaluation and Rehabilitation of Building Structures in the District Vibration of Earthquake (DPT.1303-57). Bangkok; 2014. (in Thai)

[8] Chananan W. Comparative Evaluation of Analysis Procedures for Seismic Evaluation of a Reinforced Concrete Building [master's thesis]. Department of Civil Engineering: Faculty of Engineering: King Mongkut't Institute of Technology North Bangkok; 2006. (in Thai)

[9] Arckarapunyathorn W, Wongpiyaboworn S. Seismic Evaluation by Guideline of FEMA 356 and DPT.1303-57: Case Study of a Two-Story Reinforced Concrete Building in Chiang Mai. Proceedings of the 4th Suan Sunandha Academic National Conference on Research for Sustainable Development. 2016;4:55-66. (in Thai)