การเปรียบเทียบผลลัพธ์แรงกระทำจากการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่าที่กำหนดไว้ในมาตรฐานรุ่นต่างๆ

Comparison of Seismic Demands from Earthquake by Equivalent Lateral Force Procedure in Different Versions of Design Codes

แพร เสือปาน[1] สมชาย ปฐมศิริ[2,*]

[1,2] ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล จ.นครปฐม
**Corresponding author; E-mail address: egspt@yahoo.com*

บทคัดย่อ

กฎหมายหรือมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างเพื่อต้านทานแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวในประเทศไทยเริ่มขึ้นเป็นครั้งแรกในปี พ.ศ. 2540 โดยกฎกระทรวง ฉบับที่ 49 ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 หลังจากนั้นได้มีการออกกฎกระทรวงฯ พ.ศ. 2550, มยผ. 1302-2552 มาตรฐานของกรมโยธาธิการและผังเมือง ปี พ.ศ. 2552, มยผ. 1301/1302-61 ปี พ.ศ. 2561 และ กฎกระทรวงฯ ปี พ.ศ. 2564 ตามลำดับ ในระดับสากลมีการอ้างถึง UBC1985 (พ.ศ. 2528), ASCE7-02 (พ.ศ. 2545), ASCE7-05 (พ.ศ. 2548), ASCE7-10 (พ.ศ. 2553), ASCE7-16 (พ.ศ. 2559) และล่าสุด ASCE7-22 (พ.ศ. 2565) บทความนี้เป็นผลการศึกษาเปรียบเทียบผลลัพธ์แรงกระทำที่คำนวณด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่าตามที่กำหนดหรือแนะนำไว้โดยมาตรฐานรุ่นต่างๆ เหล่านี้ การศึกษานี้ใช้อาคารรูปทรงสม่ำเสมอขนาดความกว้าง 14.4 เมตร ยาว 28.8 เมตร สูง 5 ชั้น เป็นตัวอย่าง โดยสมมุติให้อาคารนี้ตั้งอยู่ในจังหวัดเชียงรายและกรุงเทพมหานคร ผลการวิเคราะห์พบว่า กฎกระทรวงฯ ฉบับล่าสุด ปี พ.ศ. 2564 ให้ค่าแรงเฉือนทั้งหมดในแนวราบที่ระดับพื้นดิน มากกว่าค่าที่คำนวณได้โดยกฎกระทรวงฯ ปี พ.ศ. 2540 เกือบ 2 เท่า ในกรณีจังหวัดเชียงราย แต่กลับให้ค่าน้อยกว่า หากอาคารตั้งอยู่ในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ในขณะที่มาตรฐาน ASCE7-16 คำนวณค่าแรงเฉือนทั้งหมดในแนวราบที่ระดับพื้นดินเพิ่มขึ้นจาก ASCE7-02 1.21 และ 1.32 เท่าในพื้นที่จังหวัดเชียงรายและกรุงเทพมหานคร ตามลำดับ หากมาตรฐานรุ่นใหม่มีความถูกต้องแม่นยำ เป็นไปได้ว่าอาคารที่มีอยู่เดิมอาจจะไม่แข็งแรงเพียงพอ และควรมีการประเมินความแข็งแรงของโครงสร้างเพื่อเสริมกำลังต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวที่อาจเกิดขึ้นได้ในอนาคต

คำสำคัญ: แผ่นดินไหว, วิธีแรงสถิตเทียบเท่า, กฎกระทรวง, มยผ.1302, ASCE7

Abstract

Laws or standards for analyzing and designing structure to resist the earthquake in Thailand was first mandated in 1997 (2540 B.E.) by the Ministerial Regulation No. 49 according to the Building Control Act 1979 (2522 B.E.). Since then, series of laws and standards have been followed, i.e., The Ministerial Regulation 2007 (2550 B.E.), DPT 1302-2552 (2009), DPT 1301/1302-61 (2018), and Ministerial Regulation 2021 (2564 B.E.), respectively. Abroad, UBC1985, ASCE7-02, ASCE7-05, ASCE7-10, ASCE7-16, and recently ASCE7-22 have been released. This paper reports the comparison study of resulting seismic demands by using the Equivalent Lateral Force (ELF) procedure specified in different versions of design codes. A case study of a 14.4 x 28.8 m x 5 floors building with special reinforced concrete moment resisting frame is used for the analysis. It is assumed that the building is located in Chiang Rai province and Bangkok. For the Chiang Rai province case, the analysis results shows that the base shear from using the recent Ministerial Regulation 2021 (2564 B.E.) is almost double as compare to Ministerial Regulation 1997 (2540 B.E.). However, if the building is located in Bangkok, Ministerial Regulation 1997 (2540 B.E.) gave the higher base shear. The resulting base shear from ASCE7-16 is 1.21 and 1.32 times that of ASCE7-02 for Chiang Rai province and Bangkok cases, respectively. Supposed that the newly released codes are correct and precise, many old buildings may not be sufficiently strong and should be subject to the assessment for enhancing their resistance to possible earthquakes in the future.

Keywords: Earthquake, Equivalent Lateral Force procedure, Thai design standards, ASCE7

1. บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหว ทั้งภาคเหนือ, ภาคตะวันตกและภาคใต้ของประเทศมีรอยเลื่อนที่มีพลัง ซึ่งสามารถทำให้เกิดความรุนแรงของแผ่นดินไหวขนาดกลางและขนาดใหญ่ได้ นอกจากนี้พื้นที่แถบกรุงเทพและปริมณฑลตั้งอยู่บนชั้นดินอ่อนซึ่งสามารถขยายความรุนแรงจากแผ่นดินไหวระยะไกล [1] ในอดีตประเทศไทยได้รับความเสียหายจากแผ่นดินไหวหลายครั้ง จากสถิติข้อมูลของกองเฝ้าระวังแผ่นดินไหว กรมอุตุนิยมวิทยา [2] เมื่อวันที่ 11 กันยายน เกิดแผ่นดินไหวขนาด 5.1 ริคเตอร์ ศูนย์กลางที่ อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย สร้างความเสียหายให้กับสิ่งก่อสร้างใกล้ศูนย์กลางแผ่นดินไหว เช่น โรงเรียน โรงพยาบาล และวัด เป็นจำนวนมาก นอกจากนี้ มีรายงานผู้เสียชีวิต 1 คน สิ่งปลูกสร้างใกล้ศูนย์กลางแผ่นดินไหวเสียหายอย่างหนัก จากแผ่นดินไหวขนาด 6.3 ริคเตอร์ เมื่อวันที่ 5 พฤษภาคม 2557 ศูนย์กลางที่ อำเภอแม่ลาว จังหวัดเชียงราย

เมื่อ ปี พ.ศ.2540 ประเทศไทยเริ่มประกาศใช้กฎกระทรวงฉบับที่ 49 [3] เพื่อควบคุม 10 จังหวัดภาคเหนือและภาคตะวันตกของประเทศให้มีการออกแบบอาคารต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว โดยข้อกำหนดแนวทางการออกแบบสำหรับอาคารที่มีรูปทรงสม่ำเสมอจะใช้วิธีแรงสถิตเทียบเท่าตามมาตรฐาน Uniform Building Code (UBC) ที่เผยแพร่เมื่อค.ศ.1985 ของสหรัฐอเมริกา ต่อมาได้มีการออกกฎกระทรวงฉบับใหม่ พ.ศ.2550 [4] โดยเพิ่มพื้นที่ควบคุมให้ครอบคลุมถึงกรุงเทพมหานครและปริมณฑลที่ตั้งอยู่บนชั้นดินอ่อนและพื้นที่ภาคใต้บางส่วนที่ตั้งอยู่บริเวณรอยเลื่อนระนองและรอยเลื่อนคลองมะรุ่ยซึ่งมีการสั่นสะเทือนอยู่บ่อยครั้ง ในขณะเดียวกันกรมโยธาธิการและผังเมืองก็ได้ทำการศึกษาและออกมาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวเมื่อพ.ศ.2552 [5] โดยใช้แม่แบบมาจากมาตรฐานที่ออกโดย American Society of Civil Engineers (ASCE) เมื่อค.ศ.2006 ของประเทศสหรัฐอเมริกา [6] ซึ่งเป็นมาตรฐานสากลที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย และได้ปรับปรุงมาตรฐานใหม่ออกเป็น มยผ. 1301/1302-61 ซึ่งเผยแพร่เมื่อ ปี พ.ศ.2561 [7] ล่าสุดใน ปี พ.ศ.2564 ได้มีการออกกฎกระทรวงฉบับใหม่ [8] โดยขยายพื้นที่ควบคุมมากขึ้น พร้อมกับออกประกาศกระทรวงมหาดไทยเพื่อกำหนดหลักเกณฑ์การออกแบบอาคารต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว ซึ่งการออกแบบโดยวิธีแรงสถิตเทียบเท่าจะใช้อิงตาม มยผ.1301/1302-61

จะเห็นได้ว่าประเทศไทยนั้นได้มีการปรับปรุงพัฒนามาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวประมาณทุก ๆ 10 ปี ในขณะที่มาตรฐาน ASCE7 ของประเทศสหรัฐอเมริกา ได้ปรับปรุงทุก ๆ 4 - 6 ปี การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์อาคารตัวอย่างคอนกรีตเสริมเหล็ก 5 ชั้น ที่มีระบบต้านทานแรงด้านข้างแบบโครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวพิเศษซึ่งสมมุติว่าตั้งอยู่ในพื้นที่ อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย และกรุงเทพมหานครโดยใช้วิธีแรงสถิตเทียบเท่าตามมาตรฐานที่มีการปรับปรุงแต่ละรุ่นในประเทศไทยและ ASCE7 ของประเทศสหรัฐอเมริกา

2. กรณีศึกษา

ในการศึกษานี้เลือกใช้อาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก 5 ชั้น โดยสมมุติให้ตั้งอยู่ในพื้นที่ อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย และพื้นที่โซน 5 ในกรุงเทพมหานครตามมาตรฐานของกรมโยธาธิการและผังเมือง โดยอาคารรูปทรงสม่ำเสมอและมีระบบต้านทานแรงด้านข้างแบบโครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวพิเศษ (Special Reinforce Concrete Moment Frames [SRCMF]) รายละเอียดลักษณะของโครงสร้างอาคาร, ภาพแสดงแปลนโครงสร้างพื้นของอาคารและแบบจำลอง 3 มิติแสดงในตารางที่ 2.1 และรูปที่ 2.1 ตามลำดับ

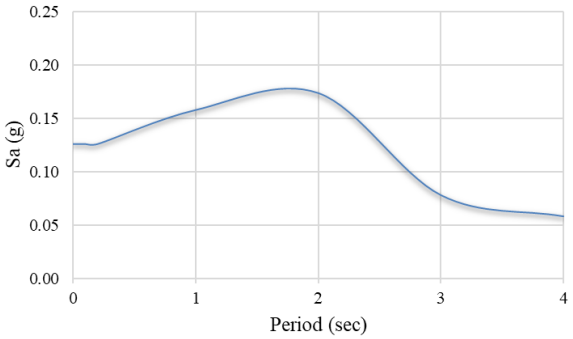
ตารางที่ 2.1 รายละเอียดและลักษณะโครงสร้างของอาคารตัวอย่าง

จำนวนชั้น	5
ความสูงระหว่างชั้น (ม.)	

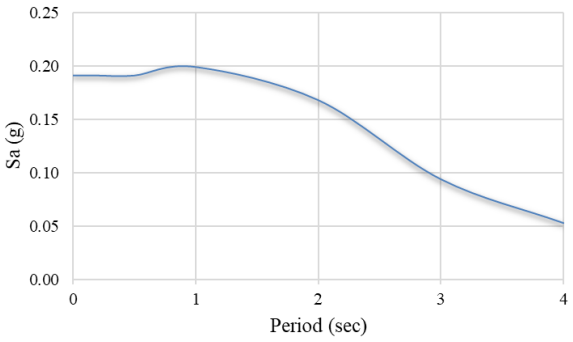
แต่ละรุ่นแสดงไว้ในรูปที่ 3.1 ในส่วนของสเปกตรัมการตอบสนองสำหรับการออกแบบของอาคารที่ตั้งอยู่ในโซน 5 กรุงทพมหานครที่ใช้ในมาตรฐานในแต่ละรุ่นแสดงไว้ในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.1 สเปกตรัมผลตอบสนองสำหรับการออกแบบของอาคารตัวอย่างที่ตั้งอยู่ในอำเภอพาน จังหวัดเชียงราย



(ก) มยผ.1302-52, ASCE7-02 และ ASCE7-05



(ข) มยผ.1301/1302-61, ASCE7-10 และ ASCE7-16

รูปที่ 3.2 สเปกตรัมผลตอบสนองสำหรับการออกแบบของอาคารตัวอย่างที่ตั้งอยู่ในพื้นที่โซน 5 กรุงเทพมหานคร

3.3 การจำลองและวิเคราะห์โครงสร้าง

โครงสร้างอาคารจะถูกจำลองโดยใช้โปรแกรม ETABS เสาและคานจะจำลองโดยใช้ชิ้นส่วนโครงข้อแข็ง (Frame elements) และในแต่ละชั้นจะกำหนดให้เป็นไดอะแฟรมแบบแข็ง (Rigid diaphragm) ฐานรากแต่ละจุดจะกำหนดให้เป็นแบบยึดแน่น (Fixed support) น้ำหนักโครงสร้างประสิทธิผลจะประกอบด้วยน้ำหนักบรรทุกตายตัวแนวดิ่งของอาคารทั้งหมดและไม่คิดผลจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างโครงอาคารและผนังอิฐก่อ รายละเอียดค่าตัวแปรสำหรับการวิเคราะห์โครงอาคารตัวอย่างสรุปไว้ในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ค่าตัวแปรสำหรับการวิเคราะห์โครงสร้างอาคารตัวอย่าง

ตัวประกอบความสำคัญ (Importance factor), □	1.25
ตัวประกอบปรับผลตอบสนอง (Response modification factor), □ ตัวประกอบโครงสร้างอาคารที่รับแรงในแนวราบ (Horizontal lateral force factor), □	8 0.67
ตัวประกอบกำลังส่วนเกิน (System overstrength factor), □0	3
ตัวประกอบขยายค่าการโก่งตัว (Deflection amplification factor), □□	5.5
น้ำหนักโครงสร้างประสิทธิผล (Effective weight), □ (ตัน)	2,076
ประเภทการออกแบบแผ่นดินไหว (Seismic design category)	ง, D
โมเมนต์ความเฉื่อยประสิทธิผล (Effective stiffness), □□□□ คาน : เสา :	 0.35 0.70

3.4 คาบการสั่นพื้นฐานของอาคาร

คาบการสั่นพื้นฐานของอาคาร (□) ที่ใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างจะใช้ตามสูตรการคำนวณหาคาบการสั่นพื้นฐานโดยประมาณของมาตรฐานแต่ละรุ่น สำหรับกฎกระทรวงฉบับ พ.ศ.2540 และ พ.ศ.2550 จะใช้ตามสมการที่ 3.1

$$□ = 0.10□ \quad (3.1)$$

โดยที่ N คือจำนวนชั้นของอาคารทั้งหมดที่อยู่เหนือระดับพื้นดิน

สำหรับมยผ.1302-52 และมยผ.1301/1302-61 จะใช้ตามสมการที่ 3.2

$$□ = 0.02□ \quad (3.2)$$

โดยที่ H คือความสูงของอาคารวัดจากพื้นดิน

สำหรับมาตรฐาน ASCE7 จะใช้ตามสมการที่ 3.3

$$□ = □□^{□} \quad (3.3)$$

โดยที่ □□ และ x คือสัมประสิทธิ์ประกอบค่าคาบการสั่นพื้นฐานโดยประมาณตามมาตรฐาน ASCE7 ในแต่ละรุนและ H คือความสูงของอาคารวัดจากพื้นดิน

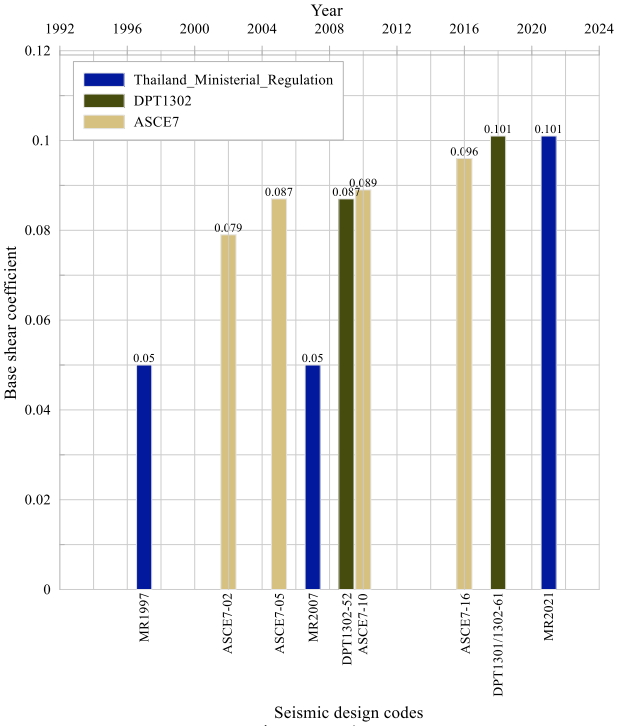
4. ผลการศึกษา

ในที่นี้ค่าผลการวิเคราะห์ตามกฎกระทรวงฉบับ พ.ศ. 2540, พ.ศ. 2550 และ พ.ศ. 2564 จะใช้สัญลักษณ์ MR1997, MR2007 และ MR2021 ตามลำดับ และค่าผลการวิเคราะห์ตาม มยผ.1302-52 และ มยผ.1301/1302-61 จะใช้สัญลักษณ์ DPT1302-52 และ DPT1301/1302-61 ตามลำดับ ในส่วนของค่าแรงเฉือนที่ฐานจะแสดงอยู่ในรูปของสัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐาน (Base shear coefficient) ซึ่งคำนวณโดยผลของค่าแรงเฉือนที่ฐานต่อน้ำหนักโครงสร้างประสิทธิผลทั้งหมด (□□/□) ค่าแรงเฉือนในแต่ละชั้น (□□) จะแสดงในรูปของ □□/□ ค่าโมเมนต์พลิกคว่ำในแต่ละชั้น (□□) จะแสดงในรูปของ □□/□□ การเคลื่อนตัวในแต่ละชั้น (□□) จะแสดงในรูปของ □□/□ และการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้น (Δ□) จะแสดงในรูปของอัตราส่วนการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้น (Storey drift ratios, Δ□/□) ค่าผลการวิเคราะห์ในหัวข้อนี้จะแสดงเฉพาะผลจากแรงแผ่นดินไหวที่กระทำในทิศทาง Y เท่านั้น

4.1 ผลการวิเคราะห์อาคารตัวอย่างที่ตั้งอยู่ใน อ.พาน จ.เชียงราย

จากรูปที่ 4.1ก สังเกตได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐานของมาตรฐานในแต่ละรุ่นนั้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในกฎกระทรวงฉบับ พ.ศ. 2564 นั้นพบว่าให้ค่ามากกว่าในอดีต 2.02 เท่า มยผ.1301/1302-61 ให้ค่ามากกว่า มยผ.1302-52 1.16 เท่า และ ASCE7-16 ให้ค่ามากกว่า ASCE7-02 1.21 เท่า จากค่าแรงเฉือนที่ฐานดังกล่าวสามารถนำไปกระจายและคำนวณค่าแรงเฉือน, โมเมนต์พลิกคว่ำ, การเคลื่อนตัวและอัตราส่วน

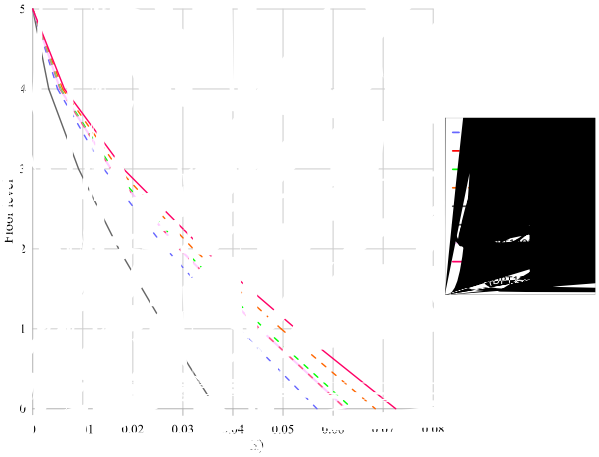
การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้นในแต่ละชั้นของอาคารได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.1ข, 4.1ค, 4.1ง และ 4.1จ ตามลำดับ



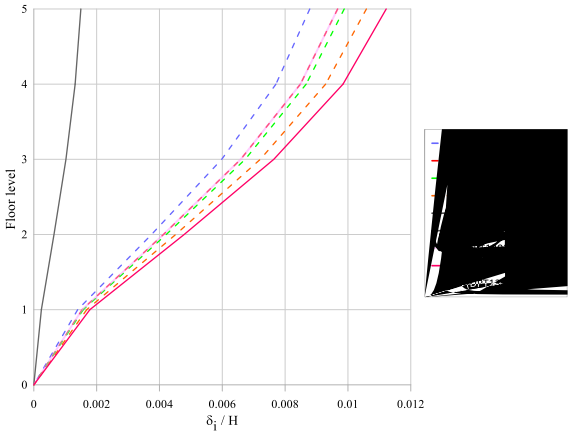
(ก) สัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐานของอาคาร



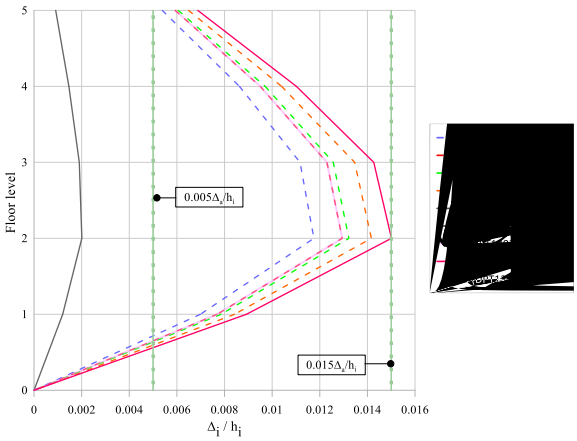
(ข) แรงเฉือนในแต่ละชั้นของอาคาร



(ค) โมเมนต์พลิกคว่ำในแต่ละชั้นของอาคาร



(ง) การเคลื่อนตัวในแต่ละชั้นของอาคาร



(จ) อัตราส่วนการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้น

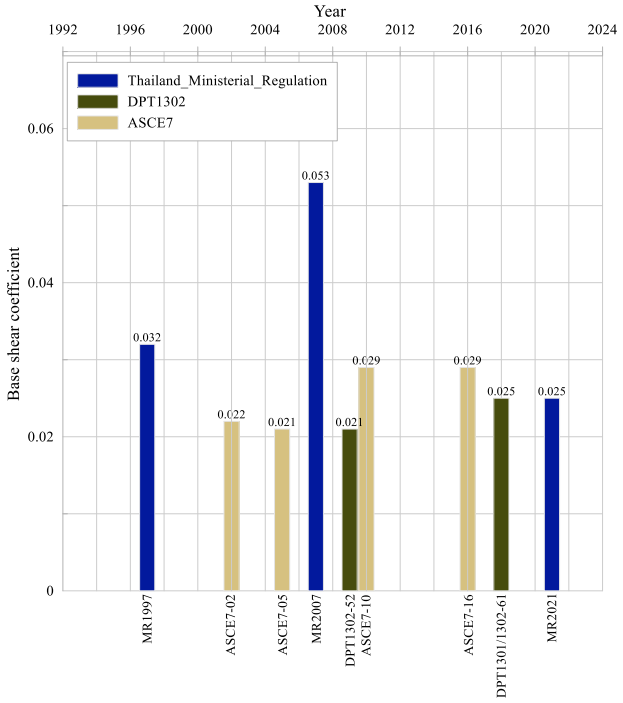
รูปที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างของอาคารที่ตั้งอยู่ในพื้นที่อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย

นอกจากนี้ จากรูปที่ 4.1จ จะเห็นว่าค่าของอัตราส่วนการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่ชั้น 2 ของการวิเคราะห์ตามกฎกระทรวง พ.ศ. 2564 หรือ มยผ.1301/1302-61 นั้นเกือบจะเกินค่าที่ยอมให้ ทั้งนี้ความแตกต่างนั้นมาจากหลายสาเหตุ ประกอบด้วยการปรับปรุงมาตรฐานในแต่ละรุ่นที่มีผลต่อสเปกตรัมผลตอบสนองสำหรับการออกแบบ การใช้คาบการสั่นพื้นฐานของอาคารที่แตกต่างกัน รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงสูตรการคำนวณ

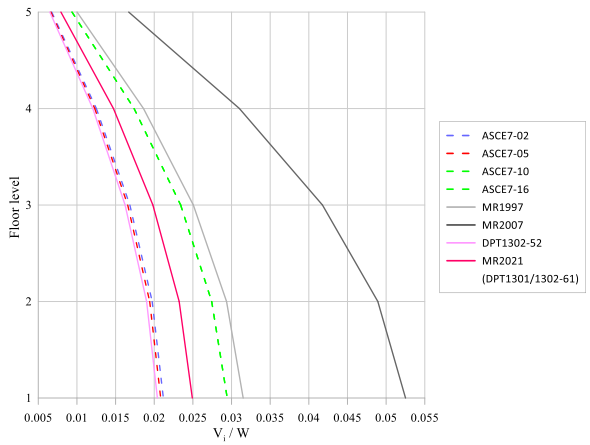
แรงเฉือนที่ฐานตามกฎกระทรวงในอดีตที่อิงตามมาตรฐาน UBC1985 โดยปัจจุบันจะใช้อิงตาม มยผ.1301/1302-61 ที่พัฒนามาจาก ASCE7 ของประเทศสหรัฐอเมริกา

4.2 ผลการวิเคราะห์อาคารตัวอย่างที่ตั้งอยู่ในโซน 5 กรุงเทพมหานคร

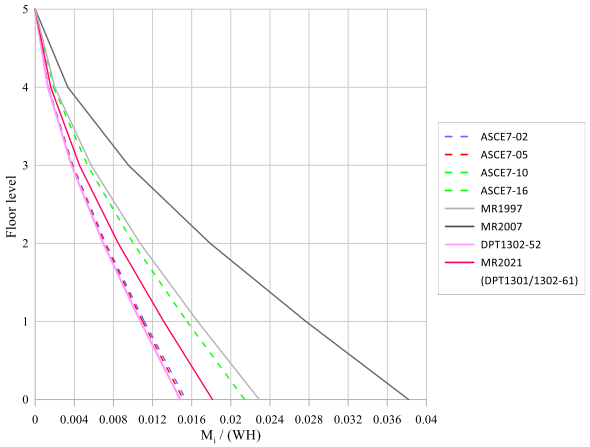
จากรูปที่ 4.2ก จะสังเกตได้ว่าแนวโน้มค่าสัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐานของอาคารตัวอย่างนี้ที่ตั้งอยู่ในพื้นที่โซน 5 กรุงเทพมหานครต่างจากอำเภอพาน จังหวัดเชียงราย โดยเฉพาะในกฎกระทรวง พ.ศ.2564 ให้ค่าน้อยกว่ากฎกระทรวงฉบับ พ.ศ.2550 2.12 เท่า โดยสาเหตุหลักมาจากการเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์ของการประสานความถี่ธรรมชาติระหว่างอาคารและชั้นดินอ่อนมากสำหรับอาคารในพื้นที่กรุงเทพมหานครตามกฎกระทรวง พ.ศ. 2550 อย่างไรก็ตาม มยผ.1301/1302-61 ให้ค่ามากกว่า มยผ.1302-52 1.19 เท่า และ ASCE7-16 ให้ค่ามากกว่า ASCE7-02 1.32 เท่า ในส่วนของค่าแรงเฉือน, โมเมนต์พลิกคว่ำ, การเคลื่อนตัวและอัตราส่วนการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้นในแต่ละชั้นของอาคาร แสดงไว้ตามรูปที่ 4.2ข, 4.2ค, 4.2ง และ 4.2จ ตามลำดับ



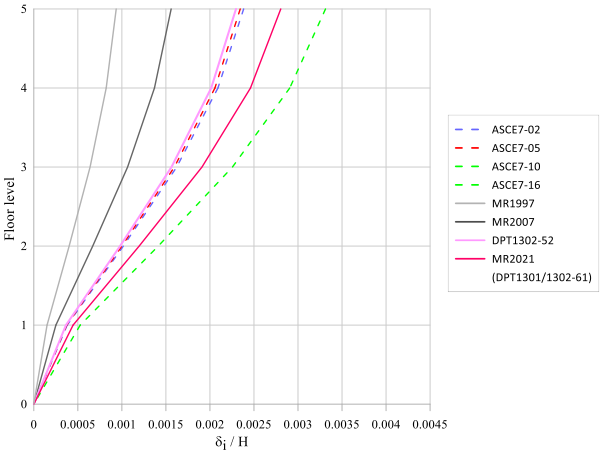
(ก) สัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐานของอาคาร



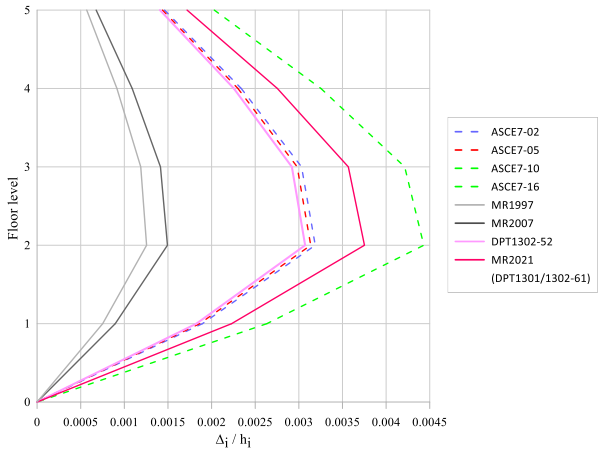
(ข) แรงเฉือนในแต่ละชั้นของอาคาร



(ค) โมเมนต์พลิกคว่ำในแต่ละชั้นของอาคาร



(ง) การเคลื่อนตัวในแต่ละชั้นของอาคาร



(จ) อัตราส่วนการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้น

รูปที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างของอาคารที่ตั้งอยู่ในพื้นที่โซน 5 กรุงเทพมหานคร

5. บทสรุป

จากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่าผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่าของอาคารตัวอย่างที่ตั้งอยู่ในอำเภอพาน จังหวัดเชียงราย ตามมาตรฐานใน

แต่ละรุ่นนั้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในกฎกระทรวงฉบับปัจจุบัน พ.ศ. 2564 นั้นให้ค่าแรงเฉือนที่ฐานมากกว่าในอดีตถึง 2.02 เท่า หากมาตรฐานปัจจุบันมีความถูกต้องแม่นยำ อาคารประเภทนี้ที่ตั้งอยู่ในอำเภอพานจังหวัดเชียงราย อาจจะต้องมีการประเมินเพื่อเสริมความแข็งแรงของโครงสร้างให้สามารถต้านแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวที่อาจเกิดขึ้นได้ในอนาคต อย่างไรก็ตาม ค่าแรงเฉือนที่ฐานของอาคารตัวอย่างตามกฎกระทรวง พ.ศ.2564 กลับให้ค่าน้อยกว่ากฎกระทรวง พ.ศ. 2550 2.12 เท่า หากว่าอาคารตั้งอยู่ในพื้นที่โซน 5 กรุงเทพมหานคร จะเห็นได้ชัดเจนจากการศึกษาวิจัยครั้งนี้ว่าการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในมาตรฐานแต่ละรุ่นนั้นส่งผลกระทบต่อค่าของแรงที่วิเคราะห์ได้ มีผลต่อการออกแบบความแข็งแรงของโครงสร้างองค์อาคาร รวมทั้งยังอาจส่งผลถึงราคาก่อสร้างอาคารด้วย ซึ่งเป็นประเด็นที่น่าสนใจศึกษาวิจัยต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1] ไพบูลย์ ปัญญาคะโป (2562). การออกแบบอาคารต้านทานแรงลมและแผ่นดินไหว การเสริมกำลังอาคารต้านแผ่นดินไหว. Tumcivil.com เข้าถึงเมื่อ 6 มิถุนายน 2565.

[2] กองเฝ้าระวังแผ่นดินไหว กรมอุตุนิยมวิทยา (2565). *สถิติข้อมูลแผ่นดินไหวที่มีผลกระทบต่อประเทศไทย* https://earthquake.tmd.go.th/earthquakestat.html เข้าถึงเมื่อ 6 มิถุนายน 2565.

[3] กฎกระทรวงฉบับที่ 49 (พ.ศ. 2540) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522. *ราชกิจจานุเบกษา.* เล่มที่ 114 ตอนที่ 67 ก. 11 พฤศจิกายน, 2540.

[4] กฎกระทรวงกำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทนของอาคารและพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว พ.ศ.2550. *ราชกิจจานุเบกษา.* เล่มที่ 124 ตอนที่ 86 ก. 30 พฤศจิกายน, 2550.

[5] กรมโยธาธิการและผังเมือง (2552). *มยผ.1302 มาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว*. บ.ดิจิดอลออฟเซท เอเชีย แปซิฟิค จำกัด.

[6] American Society of Civil Engineers (2006). *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures (ASCE/SEI7-05).* Reston, Verginia.

[7] กรมโยธาธิการและผังเมือง (2561). *มยผ.1301/1302-61 มาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว*.บ.เอส.พี.เอ็ม. การพิมพ์ จำกัด.

[8] กฎกระทรวงกำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทนของอาคารและพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว พ.ศ.2564. *ราชกิจจานุเบกษา.* เล่มที่ 138 ตอนที่ 16 ก. 4 มีนาคม, 2564.

[9] American Society of Civil Engineers (2002). *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures (ASCE/SEI7-02).* Reston, Verginia.

[10] American Society of Civil Engineers (2010). *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures (ASCE/SEI7-10).* Reston, Verginia.

[11] American Society of Civil Engineers (2017). *Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures (ASCE/SEI7-16).* Reston, Verginia.