การเปรียบเทียบผลลัพธ์แรงกระทำจากการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว ด้วยวิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมดที่กำหนดไว้ในมาตรฐานรุ่นต่างๆ

Comparison of Seismic Demands from Earthquake by Response Spectrum Analysis Procedure in Different Versions of Design Codes

แพร เสือปาน[1] สมชาย ปฐมศิริ[2,*]

[1,2]

Corresponding author; E mail address egspt@yahoo.com

บทคัดย่อ

รายละเอียดการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างเพื่อต้านทานแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวในประเทศไทยโดยวิธีพลศาสตร์ถูกเผยแพร่เป็นครั้งแรกเมื่อ ปี พ.ศ. 2552 โดยกรมโยธาธิการและผังเมือง ใน มยผ.1302-52 และฉบับล่าสุด คือ มยผ.1301/1302-61 ในระดับสากลมีการอ้างถึง 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) บทความนี้เป็นผลการศึกษาเปรียบเทียบผลลัพธ์แรงกระทำที่คำนวณด้วยวิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมดตามที่กำหนดหรือแนะนำไว้โดยมาตรฐานรุ่นต่างๆ เหล่านี้ ตัวอย่างสำหรับการศึกษาใช้อาคารรูปทรงสม่ำเสมอขนาดความกว้าง 14.4 เมตร ยาว 28.8 เมตร สูง 5 ชั้น มีระบบต้านทานแรงด้านข้างแบบโครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวพิเศษ โดยสมมุติให้อาคารนี้ตั้งอยู่ในจังหวัดเชียงรายและกรุงเทพมหานคร ผลการวิเคราะห์พบว่า กฎกระทรวงฯ ฉบับล่าสุด ปี พ.ศ. 2564 มยผ.1301/1302-61 ให้ค่าแรงเฉือนทั้งหมดในแนวราบที่ระดับพื้นดินเพื่อใช้ออกแบบโครงสร้างแนวดิ่งเป็นรายชิ้นส่วน มากกว่า มยผ.1302-52 3.22 และ 3.90 เท่า สำหรับอาคารตั้งอยู่ที่จังหวัดเชียงรายและกรุงเทพมหานคร ตามลำดับ ในขณะที่ ASCE7-16 ให้ค่าแรงเฉือนที่ทั้งหมดในแนวราบที่ระดับพื้นดินเพิ่มขึ้นจาก ASCE7-02 1.43 และ 1.50 เท่า สำหรับอาคารตั้งอยู่ที่จังหวัดเชียงรายและกรุงเทพมหานคร ตามลำดับ ในส่วนของค่าการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้นพบว่ายังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมให้ จากค่าแรงเฉือนที่เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดจากการใช้ มยผ.1301/1302-61 แสดงว่าชิ้นส่วนโครงสร้างแนวดิ่ง เช่น เสา กำแพง อาจจำเป็นต้องพิจารณาออกแบบเพิ่มค่าความต้านทานแรงเฉือน ด้วยการเพิ่มขนาดหรือปริมาณเหล็กเสริมของชิ้นส่วนโครงสร้างดังกล่าว

คำสำคัญ: แผ่นดินไหว, วิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด, มยผ.1302, ASCE7

Abstract

Details for analyzing and designing of structures to resist earthquakes in Thailand by the dynamic approach was first published in 2009 (2552 B.E.) by the Department of Public Works and Town & Country Planning in DPT1302-52 standard. The recent version is the DPT1301/1302-61. Abroad, 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 Response Spectrum Analysis 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. The results shows that DPT1301/1302-61 standard or the Ministerial Regulation 2021 gave 3.22 and 3.90 times higher base shear than DPT1302-52 for designing the vertical structural member of building in Chiang Rai province and Bangkok, respectively. Meanwhile, the ASCE7-16 gave 1.50 and 1.48 times higher base shear than ASCE7-02 for Chiang Rai province and Bangkok cases, respectively. For all cases, the story drifts are still within the allowable limit. The significant increase of the base shear by using DPT1301/1302-61 standard indicates that the columns and walls may need to be re-designed or retrofit in order to increase the shear capacity. This implies changing the size of or the amount of reinforcement in the structural members.

Keywords: Earthquake, Response spectrum analysis procedure, Thai design codes, ASCE7

1. บทนำ

กฎกระทรวงกำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทนของอาคารและพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว พ.ศ. 2550 [1] กำหนดให้การคำนวณออกแบบอาคารโดยใช้วิธีพลศาสตร์ต้องเป็นไปตามมาตรฐานที่สภาวิศวกรให้การรับรอง หรือจัดทำโดยส่วนราชการหรือนิติบุคคลที่มีคุณสมบัติตามที่กฎกระทรวงกำหนดกรมโยธาธิการและผังเมืองซึ่งเป็นหน่วยงานที่มีภารกิจในการกำหนดมาตรฐานการก่อสร้างจึงได้ทำการศึกษาและออกมาตรฐาน มยผ. 1302-52 การออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว เมื่อ ปี พ.ศ. 2552 [2] โดยใช้แม่แบบมาจากมาตรฐานที่ออกโดย American Society of Civil Engineer (ASCE) ของประเทศสหรัฐอเมริกา [3] เมื่อ ปี ค.ศ. 2006 ต่อมากรมโยธาธิการและผังเมืองได้ทำการศึกษา วิจัยและนำข้อมูลความเข้าใจใหม่ ๆ ในวงการวิศวกรรมแผ่นดินไหวในประเทศไทยมาปรับปรุงมาตรฐาน มยผ.1302-52 และเผยแพร่มาตรฐานใหม่ มยผ. 1301/1302-61 เมื่อปี พ.ศ. 2561 [4] ซึ่งมีการปรับปรุงในส่วนของวิธี

สเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด เนื่องจากหลายงานวิจัยพบว่า วิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด ตาม ASCE7 นั้นให้ค่าแรงเฉือนน้อยกว่าความเป็นจริงมาก [5] Khy และคณะ [6] ได้ทำการศึกษาและเสนอวิธีปรับปรุงสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด (Modified Response Spectrum Analysis, MRSA) เพื่อคำนวณแรงเฉือนในอาคาร ซึ่งวิธีดังกล่าวได้ถูกนำมาใช้ใน มยผ.1301/1302-61 เพื่อคำนวณออกแบบแรงเฉือนสำหรับชิ้นส่วนโครงสร้างแนวดิ่ง เช่น เสา หรือ กำแพง เป็นรายชิ้นส่วน ในขณะที่มาตรฐาน ASCE7 ของสหรัฐอเมริกา ซึ่งมีการปรับปรุงทุกๆ 4 - 6 ปี ในรุ่น ASCE7-16 [7] ได้มีการปรับปรุงการขยายค่าของแรงที่ใช้ในการออกแบบชิ้นส่วนและการเคลื่อนตัวของโครงสร้างในวิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมดจาก 85% ของวิธีแรงสถิตเทียบเท่าเป็น 100%

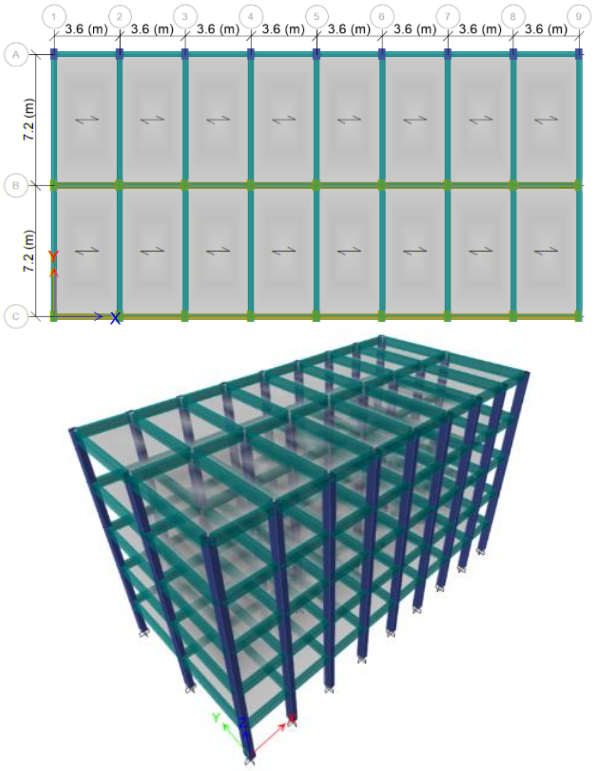
การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์อาคารตัวอย่างคอนกรีตเสริมเหล็ก 5 ชั้น ระบบต้านทานแรงด้านข้างแบบโครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวพิเศษที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย และกรุงเทพมหานครโดยใช้วิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมดตามมาตรฐานที่มีการปรับปรุงแต่ละรุ่นในประเทศไทยและ ASCE7 ของประเทศสหรัฐอเมริกา

2. กรณีศึกษา

ในการศึกษานี้เลือกใช้อาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก 5 ชั้น โดยสมมุติให้ตั้งอยู่ในพื้นที่ อ.พาน จ.เชียงราย และพื้นที่โซน 5 ในกรุงเทพมหานครตามมาตรฐานของกรมโยธาธิการและผังเมือง โดยอาคารรูปทรงสม่ำเสมอและมีระบบต้านทานแรงด้านข้างแบบโครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวพิเศษ (Special Reinforce Concrete Moment Frames, SRCMF) รายละเอียดลักษณะของโครงสร้างอาคารแสดงในตารางที่ 2.1 และ รูปที่ 2.1 แสดงแปลนโครงสร้างพื้นของอาคารและแบบจำลอง 3 มิติ

ตารางที่ 2.1 รายละเอียดและลักษณะโครงสร้างของอาคารตัวอย่าง

จำนวนชั้น	5
ความสูงระหว่างชั้น (ม.)	3.6
ความสูงอาคาร (ม.)	18
ระบบพื้น	พื้นคอนกรีตอัดแรงความหนา 10 ซม. รวมคอนกรีตทับหน้า
ขนาดหน้าตัดเสา (ม.^{2})	0.40 x 0.60
ขนาดหน้าตัดคาน (ม.^{2})	0.30 x 0.70
กำลังอัดประลัยของก้อนคอนกรีตรูปทรงกระบอกที่อายุ 28 วัน (กก./ตร.ซม.)	240
น้ำหนักบรรทุกกระทำบนคาน (กก./ม.)	540
น้ำหนักบรรทุกกระทำบนพื้นเพิ่มเติม (กก./ตร.ม.)	120
น้ำหนักบรรทุกจร (กก./ตร.ม.)	300



รูปที่ 2.1 แปลนโครงสร้างพื้นและแบบจำลอง 3 มิติของอาคาร

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1

การศึกษานี้จะทำการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์อาคารตัวอย่างตามที่ได้กล่าวในหัวข้อที่ 2 โดยใช้วิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมดตามมาตรฐานที่มีการปรับปรับในแต่ละรุ่น โดยในประเทศไทยจะประกอบด้วย มยผ.1302-52 [2] และมยผ.1301/1302-61 [4] ในส่วนของมาตรฐาน ASCE7 จะประกอบด้วย ASCE7-02 [8], ASCE7-05 [3], ASCE7-10 [9] และ ASCE7-16 [7] ผลการวิเคราะห์จะนำมาเปรียบเทียบในส่วนของค่าแรงเฉือนที่ฐาน (Base shear), แรงเฉือนในแต่ละชั้น (Storey shear forces), โมเมนต์พลิกคว่ำในแต่ละชั้น (Storey overturning moments), การเคลื่อนตัวในแต่ละชั้น (Storey displacements) และอัตราส่วนการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้น (Storey drift ratios).

3.2

สเปกตรัมผลตอบสนองสำหรับการออกแบบจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งของอาคารและสภาพชั้นดินที่ตั้งของอาคารในแต่ละพื้นที่ สำหรับมาตรฐาน ASCE7 จะเลือกใช้ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่คาบสั้น (□□) และที่คาบ 1 วินาที (□) ที่ใช้สร้างสเปกตรัมผลตอบสนองสำหรับการออกแบบในแต่ละรุ่นที่สอดคล้องกับช่วงเวลาการเผยแพร่มาตรฐานรุ่นต่าง ๆ ในประเทศไทย โดยมาตรฐาน มยผ.1302-52 จะใช้ค่าตาม ASCE7-02 และ ASCE7-05 ส่วน มยผ.1301/1302-61 จะใช้ตาม ASCE7-10 และ ASCE7-16 ซึ่งสเปกตรัมผลตอบสนองสำหรับการออกแบบของอาคารตัวอย่างที่ตั้งอยู่ในอำเภอพาน จังหวัดเชียงราย (เป็นชั้นดินแข็งหรือประเภท D) สำหรับมาตรฐานแต่ละรุ่นแสดงไว้ในรูปที่ 3.1 ซึ่งจะเห็นว่าสเปกตรัมผลตอบสนองสำหรับการออกแบบของ ASCE7-16 นั้นแตกต่างจาก มยผ.

1301/1302-61 สาเหตุหนึ่งเพราะ ASCE7-16 ได้มีการปรับปรุงค่าสัมประสิทธิ์สำหรับชั้นดิน ณ ที่ตั้งอาคารที่ใช้ในการปรับแก้ค่าความเร่ง

□□ □□□□ (3.2)

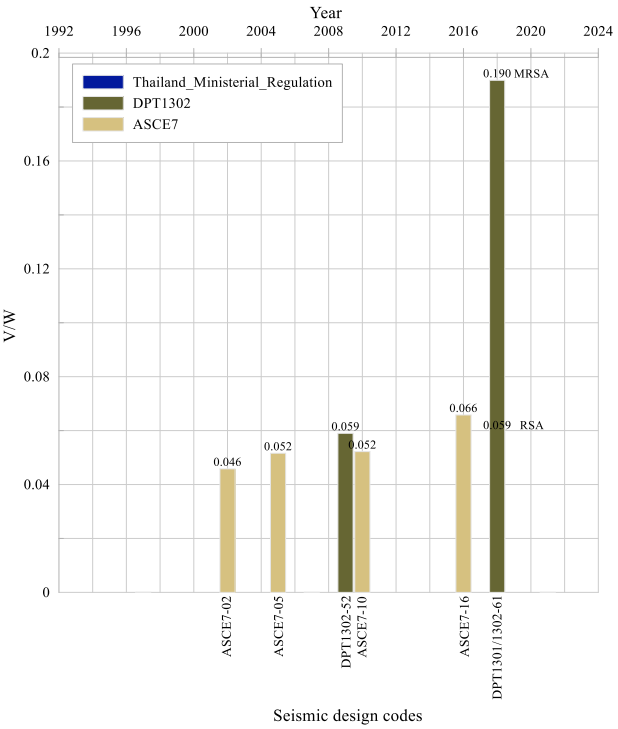
โดยที่ □□, □□ และ x คือสัมประสิทธิ์ประกอบค่าคาบการสั่นพื้นฐานโดยประมาณตามมาตรฐาน ASCE7 ในแต่ละรุ่นและ H คือความสูงของอาคารวัดจากพื้นดิน

4. ผลการศึกษา

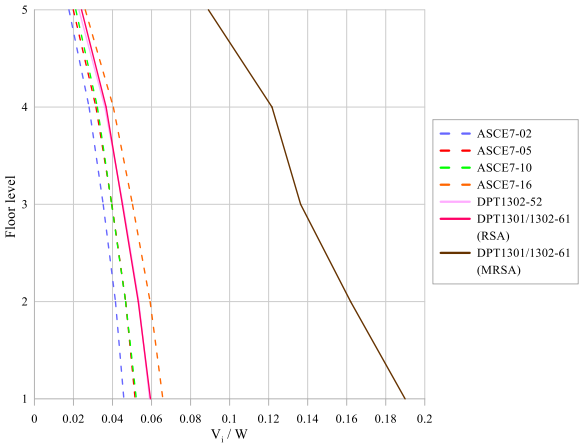
ในที่นี้ค่าผลการวิเคราะห์ตาม มยผ.1302-52 และ มยผ. 1301/1302-61 จะใช้สัญลักษณ์ DPT1302-52 และ DPT1301/1302-61 ตามลำดับ ในส่วนของค่าแรงเฉือนที่ฐานจะแสดงอยู่ในรูปของสัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐาน (Base shear coefficient) คำนวณโดยผลของค่าแรงเฉือนที่ฐานต่อน้ำหนักโครงสร้างประสิทธิผลทั้งหมด (□□ □) ซึ่งจะนำไปกระจายเป็นแรงเฉือนกระทำต่ออาคารในแต่ชั้น (□□) และแสดงในรูปของ □□ □ เพื่อใช้ในการออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้างอาคาร ทั้งนี้สำหรับค่าแรงเฉือนที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างเสาตาม มยผ.1301/1302-61 จะได้จากการใช้วิธีปรับปรุงสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด ในส่วนของค่าโมเมนต์พลิกคว่ำในแต่ละชั้น (□□) จะแสดงในรูปของ □□ □□ การเคลื่อนตัวในแต่ละชั้น (□□) จะแสดงในรูปของ □□ □ และการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้น (□) จะแสดงในรูปของอัตราส่วนการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้น (Storey drift ratios, □ □) ค่าผลการวิเคราะห์ในหัวข้อนี้จะแสดงเฉพาะผลจากแรงแผ่นดินไหวที่กระทำในทิศทาง Y เท่านั้น

4.1

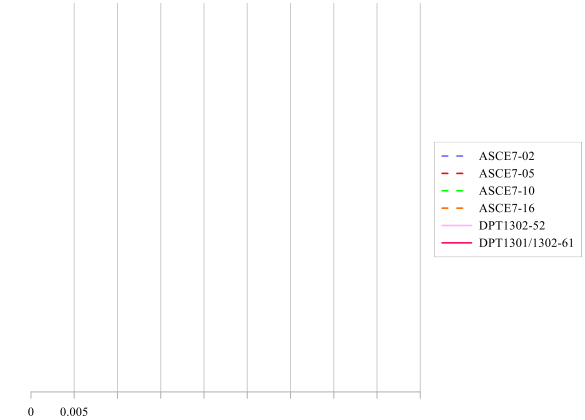
จากรูปที่ 4.1ก สังเกตได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐานของมาตรฐานในแต่ละรุ่นนั้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีการปรับปรุงสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมดตาม มยผ.1301/1302-61 ให้ค่ามากกว่าวิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมดเดิม 3.22 เท่า และ ASCE7-16 ให้ค่ามากกว่า ASCE7-02 1.43 เท่า เมื่อพิจารณาค่าแรงเฉือนและโมเมนต์พลิกคว่ำในแต่ละชั้นของอาคารตามกราฟในรูปที่ 4.1ข และ 4.1ค จะเห็นได้ว่ามาตรฐาน ASCE7-16 ให้ค่ามากที่สุด เนื่องจากมีการปรับปรุงการขยายค่าแรงที่ใช้ในการออกแบบจาก 85% เป็น 100% ของวิธีแรงสถิตเทียบเท่ารวมทั้งการปรับปรุงในส่วนของค่าตัวประกอบชั้นดินที่มีผลต่อสเปกตรัมผลตอบสนองสำหรับออกแบบ นอกจากนี้ค่าการเคลื่อนตัวและการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้นในแต่ละชั้นของอาคารที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม ETABS สำหรับมาตรฐานรุ่นที่ให้สเปกผลตอบสนองสำหรับการออกแบบเท่ากันจะให้ค่าการเคลื่อนตัวและการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้นในแต่ละชั้นของอาคารเท่ากัน ดังแสดงในรูปที่ 4.1ง และ 4.1จ ตามลำดับ



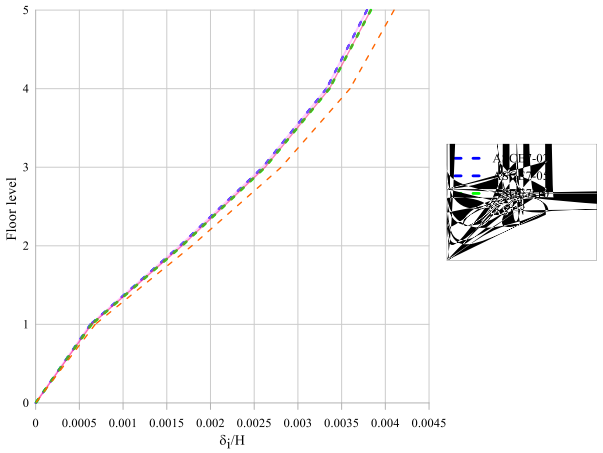
(ก) สัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐานของอาคาร



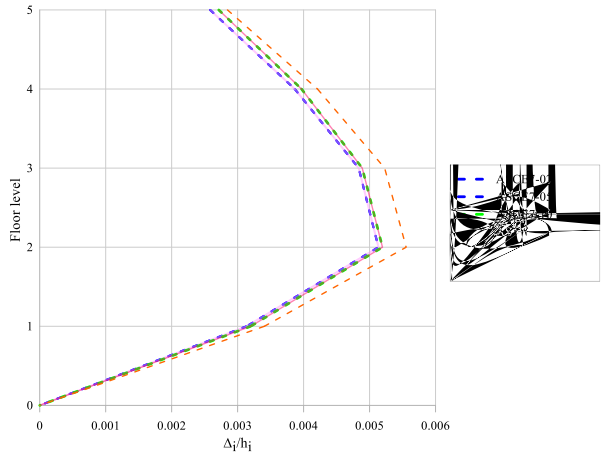
(ข) แรงเฉือนในแต่ละชั้นของอาคาร



(ค) โมเมนต์พลิกคว่ำในแต่ละชั้นของอาคาร



(ง) การเคลื่อนตัวในแต่ละชั้นของอาคาร

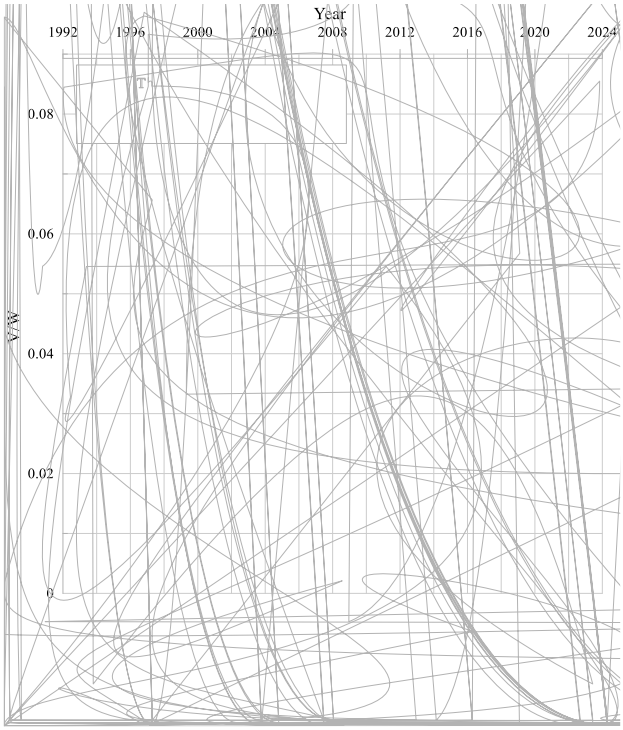


(จ) อัตราส่วนการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้น

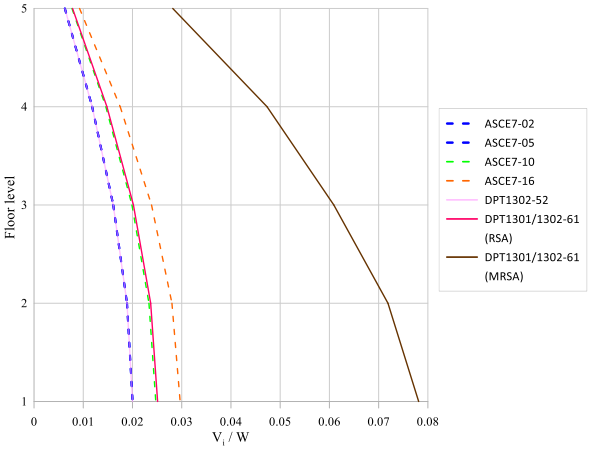
รูปที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างของอาคารที่ตั้งอยู่ในพื้นที่อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย

4.2

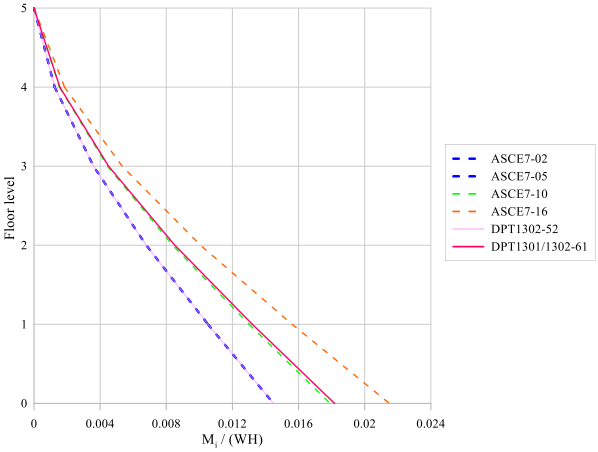
จากรูปที่ 4.2ก จะเห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐานตามวิธีปรับปรุงสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมดของอาคารตัวอย่างซึ่งตั้งอยู่ในพื้นที่โซน 5 กรุงเทพมหานครมากกว่าวิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมดเดิม 3.12 เท่า และมากกว่า มยผ.1302-52 3.90 เท่า ในส่วนของ ASCE7-16 นั้นจะให้ค่ามากกว่า ASCE7-02 1.50 เท่า จากค่าแรงเฉือน, โมเมนต์พลิกคว่ำ, การเคลื่อนตัวและอัตราส่วนการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้นในแต่ละชั้นของอาคารที่แสดงตามรูปที่ 4.2ข, 4.2ค, 4.2ง และ 4.2จ ตามลำดับนั้นจะสังเกตุได้ว่ามาตรฐานรุ่นที่ใช้สเปกตรัมการตอบสนองเดียวกันจะให้ค่าไม่แตกต่างกันมากนัก ยกเว้นค่าโมเมนต์พลิกคว่ำในแต่ละชั้นตามมาตรฐาน ASCE7-16 นั้น จะมีค่ามากที่สุดเนื่องจากมีการปรับปรุงการขยายค่าของแรงที่ใช้ในการออกแบบตามที่กล่าวมาแล้วข้างต้น



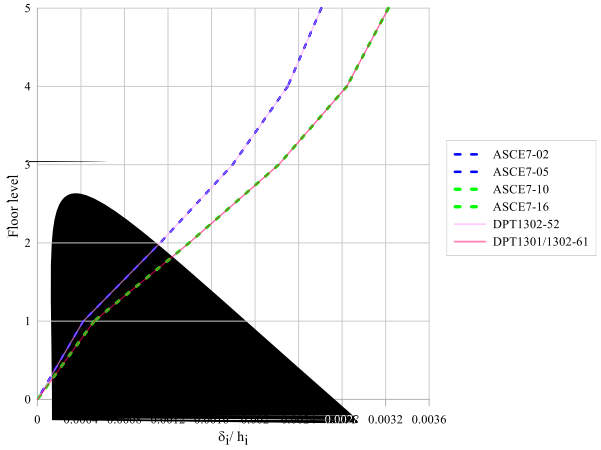
(ก) สัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐานของอาคาร



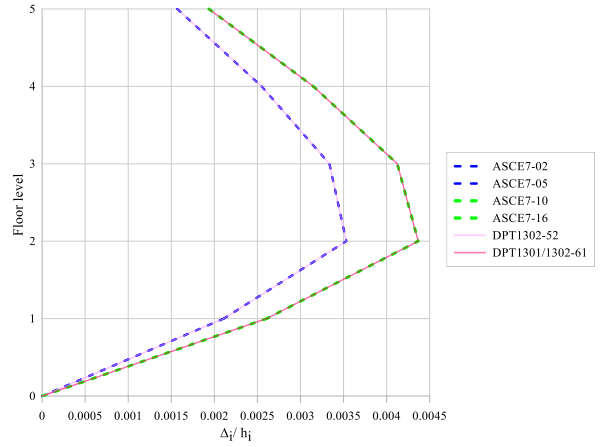
(ข) แรงเฉือนในแต่ละชั้นของอาคาร



(ค) โมเมนต์พลิกคว่ำในแต่ละชั้นของอาคาร



(ง) การเคลื่อนตัวในแต่ละชั้นของอาคาร



(จ) อัตราส่วนการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้น

รูปที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างของอาคารที่ตั้งอยู่ในพื้นที่โซน 5 กรุงเทพมหานคร

5. บทสรุป

จากผลการศึกษาพบว่า ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีปรับปรุงสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมดตาม มยผ.1301/1302-61 สำหรับอาคารตัวอย่างในการศึกษานี้ ให้ค่าแรงเฉือนที่ฐานมากกว่าวิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมดเดิมใน มยผ.1301/1302-61 และ มยผ.1302-52 สูงกว่า 3 เท่า ในขณะที่มาตรฐาน ASCE7-16 ซึ่งได้ขยายค่าของแรงที่ใช้ออกแบบเป็น 100% ของวิธีสถิตเทียบเท่าให้ค่ามากกว่า ASCE7-02 1.43 และ 1.50 เท่า สำหรับอาคารที่ตั้งอยู่ในอำเภอพาน จังหวัดเชียงราย และโซน 5 กรุงเทพมหานคร ตามลำดับ จะเห็นว่าทั้งมาตรฐานของประเทศไทยและ ASCE7 ของประเทศสหรัฐอเมริกา มีแนวโน้มให้ค่าแรงดังกล่าวเพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่ง วิธีปรับปรุงสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมดตาม มยผ.1301/1302-61 นั้น อาจทำให้การออกแบบอาคารโดยใช้มาตรฐานดังกล่าว ต้องพิจารณาเพิ่มขนาดของโครงสร้าง และมีผลกระทบต่อราคาค่าก่อสร้างอาคารด้วย

เอกสารอ้างอิง

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

[2] กรมโยธาธิการและผังเมือง (2552). .บ.ดิจิดอล ออฟเซท เอเชีย แปซิฟิค จำกัด.

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

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

[5] Khy, K. and Chintanapakdee, C. 2017. Evaluation of seismic shear demands of RC core walls in Thailand determined by RSA Procedure. *Engineering Journal*, 2017, 151-72.

[6] Khy, K. , Chintanapakdee, C. , Warnitchai, P. and Wijeyewickrema, A.C. 2018. Modified response spectrum analysis to compute shear force in tall RC shear wall buildings. *Engineering Structures,* 2019 (180), 295-309.

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

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

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