

การศึกษาการออกแบบโครงสร้างเหล็กขึ้นรูปเย็นเพื่อต้านทานแรงแผ่นดินไหว

A Study of Designing of Cold-Formed Steel Structure for Resisting Seismic Force

พรภัทร ลำกุล¹ สุธีภรณ์ วันน่าน² และ รศ. ดร. ฉัตรพันธ์ จินตนาภักดี³

^{1,2,3} ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จ.กรุงเทพฯ

บทคัดย่อ

การใช้เหล็กขึ้นรูปเย็นสำหรับการทำโครงสร้างนั้นปัจจุบันได้รับความนิยมแพร่หลายเนื่องจากปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมและสภาพต้นทุนของเหล็กขึ้นรูปเย็นซึ่งสามารถนำรีไซเคิลใหม่ได้และมีต้นทุนที่ต่ำกว่าเหล็กธรรมดาทำให้มีความต้องการของตลาดเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก เหล็กขึ้นรูปเย็นจะมีลักษณะเป็นแผ่นบาง (thin wall member) ซึ่งทำให้น้ำหนักมีคุณสมบัติที่แตกต่างจากเหล็กขึ้นรูปร้อน โดยในต่างประเทศได้เริ่มมีการออกแบบโครงสร้างรับแรงเฉือนต้านทานแผ่นดินไหวโดยใช้เหล็กขึ้นรูปเย็น ซึ่งในการพิจารณาใช้เหล็กขึ้นรูปเย็นจะต้องมีการคำนึงถึงผลของแรงจากแผ่นดินไหวและต้องออกแบบขึ้นส่วนให้มีความสอดคล้องกับแรงดังกล่าวเพื่อให้มีกำลังเพียงพอต่อการต้านทานแรงจากแผ่นดินไหว โดยทั่วไปแล้วโครงสร้างต้านทานแผ่นดินไหวจากเหล็กขึ้นรูปเย็นจะมีตัวแปรปรับแก้สำหรับแผ่นดินไหวที่เฉพาะรวมถึงข้อกำหนดบางอย่างที่แตกต่างจากเหล็กปกติ ปรินซิปีฉบับนี้จึงถูกดำเนินการขึ้นเพื่อทำการศึกษารูปแบบโครงสร้างต้านทานแรงแผ่นดินไหวจากเหล็กขึ้นรูปเย็นโดยมีการเปรียบเทียบมาตรฐานต่างๆที่ใช้ในการอ้างอิงของแต่ละประเทศหรือภูมิภาคเพื่อหาความสอดคล้องหรือแตกต่างกันของแต่ละมาตรฐานเพื่อนำลักษณะการออกแบบที่เหมาะสมมากที่สุดมาปรับใช้กับมาตรฐานของประเทศไทย

คำสำคัญ: เหล็กขึ้นรูปเย็น, โครงสร้างเหล็กขึ้นรูปเย็น, Seismic-resisting structural systems

Abstract

The use of cold-formed steel for structural construction is nowadays widespread due to environmental factors and cost conditions of cold-rolled steel, which can be recycled and has a lower cost than conventional steel, resulting in increased market demand. Cold-formed steel is a thin wall member, which

makes cross-sectional properties different from hot-formed steel. In foreign countries, shear structures which are designed to withstand seismic force using cold-formed steel. In considering the use of cold forming steel, the effect of seismic forces must be considered, and the parts must be designed in accordance with such forces in order to have sufficient strength to withstand earthquakes. In general, cold-formed steel seismic resistance structures have specific seismic correction parameters as well as some requirements that differ from other types of steel. This thesis is therefore conducted to study the design of cold-formed steel seismic resistance structures by comparing various reference standards of each country or region to find the consistency or difference of each standard in order to adopting the most appropriate design features to Thailand's standards.

Keywords: Cold-formed steel; Cold-Formed Steel Structure; Seismic-resisting structural systems

1. บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันความสนใจในการนำโครงสร้างเหล็กขึ้นรูปเย็นมาใช้สำหรับการรับแรงจากโครงสร้างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากกระบวนการผลิตที่มีการใช้พลังงานต่ำ ขึ้นรูปจากเหล็กแผ่นในอุณหภูมิปกติ มีน้ำหนักเบา จึงตอบสนองความต้องการของ high performance housing ซึ่งคือการสร้างสิ่งปลูกสร้างที่มีการคำนึงผลต่อสิ่งแวดล้อมในระยะยาว จึงเป็นแนวโน้มที่ดีสำหรับอนาคตของอุตสาหกรรมก่อสร้างเพื่อความยั่งยืน โดยวัสดุที่เรียกว่า light gauge cold-rolled steel profile ทั้งนี้ในการนำเหล็กขึ้นรูปเย็นมาใช้ก่อสร้าง หนึ่งในสิ่งที่ต้องพิจารณาคือผลของแรง

ด้านข้างไม่ว่าจะเป็นแรงลมและแรงแผ่นดินไหว ซึ่งจะมีผลต่อการตอบสนองของโครงสร้าง ในประเทศที่มีการใช้งานโครงสร้างเหล็กขึ้นรูปเย็นสำหรับอาคารขนาดต่างๆ ตัวอย่างเช่น ประเทศสหรัฐอเมริกา, ออสเตรเลีย, ญี่ปุ่น เป็นต้น ได้ให้ความสนใจในการศึกษาพฤติกรรมของโครงสร้างขึ้นรูปเย็นภายใต้แรงกระทำด้านข้าง ซึ่งจากการศึกษาพบว่าจะมีส่วนที่ต้องคำนึงออกแบบในเชิงกำลังอยู่หลายส่วน ไม่ว่าจะเป็นแผ่นปิดของกำแพงรับแรงเฉือน (shear wall sheathing sheet) ซึ่งแต่ละวัสดุที่ใช้ปิดนั้นก็จะมี stiffness ที่แตกต่างกัน อันเป็นผลทำให้ผลการตอบสนองของกำแพงรับแรงเฉือนต่อผลของแรงกระทำด้านข้างหรือแรงแผ่นดินไหวนั้นมีค่าที่แตกต่างกันเป็นต้น ซึ่งในแต่ละประเทศก็มีมาตรฐานในการออกแบบที่แตกต่างกัน ทั้งนี้จึงนำมาซึ่ง การศึกษาการออกแบบโครงสร้างเหล็กขึ้นรูปเย็นเพื่อต้านทานแรงแผ่นดินไหว จากมาตรฐานแต่ละประเทศ เพื่อให้เกิดความรู้ความเข้าใจ ตลอดจนสามารถนำไปประยุกต์ใช้ออกแบบโครงสร้างเหล็กขึ้นรูปเย็นเพื่อต้านทานแผ่นดินไหวต่อไปได้

1.2 วัตถุประสงค์การศึกษา

เพื่อการศึกษาและเปรียบเทียบมาตรฐานการออกแบบโครงสร้างเหล็กขึ้นรูปเย็นเพื่อต้านทานแรงแผ่นดินไหวของประเทศสหรัฐอเมริกา ประเทศออสเตรเลียและสหภาพยุโรป เพื่อนำมาปรับใช้กับมาตรฐานของประเทศไทย

1.3 ขอบเขตและวิธีการศึกษา

ปริญญาโทเป็นการศึกษามาตรฐานการออกแบบโครงสร้างเหล็กขึ้นรูปเย็นเพื่อต้านทานแรงแผ่นดินไหวของประเทศสหรัฐอเมริกา (AISI – American Iron and Steel Institute), ประเทศออสเตรเลีย (AS – Australia Standard), สหภาพยุโรป (EN – Eurocode), มาตรฐานกรมโยธาธิการ ตลอดจนงานวิจัยที่มีความเกี่ยวข้อง

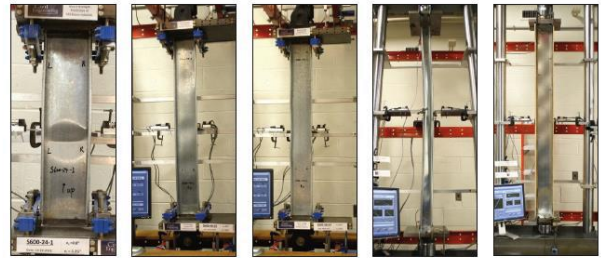
2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบโครงสร้างเหล็กขึ้นรูปเย็น

สำหรับการเริ่มต้นการใช้งานเหล็กขึ้นรูปเย็น (Cold-formed steel: CFS) สำหรับงานก่อสร้าง เริ่มต้นขึ้นในช่วงปลายศตวรรษที่ 19 ถึงช่วงต้นของศตวรรษที่ 20 ปัจจุบันได้มีการนำมาวิจัยโดย American Iron and Steel Institute (AISI) ความต้องการใช้งานเหล็กขึ้นรูปเย็นโดยจะต้องบางให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ซึ่งนำมาซึ่งผลของการเกิดความเสียหายเมื่อได้รับโหลดกระทำ ไม่ว่าจะเป็นการโก่งตัว (Deformation) และการเกิด locally buckle ในส่วนของ local buckling phenomenon และ post-buckling capacity นำมาซึ่งการค้นคว้าและพัฒนามาตรฐานสำหรับอ้างอิงในการออกแบบ โดยพัฒนาวิธีแบบ semi-empirical เพื่อใช้ในการคาดการณ์กำลังของแต่ละชิ้นส่วนเหล็กขึ้นรูปเย็น ทั้งนี้การออกแบบสำหรับชิ้นส่วนโครงสร้างเหล็กขึ้นรูปเย็นจะมีความแตกต่างกับการออกแบบเหล็กขึ้นรูปร้อนอย่างมีนัยสำคัญ

ในการออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้างเหล็กขึ้นรูปเย็น จะต้องพิจารณาถึง Buckling phenomenon ไม่ว่าจะเป็น local buckling, distortional buckling และ global buckling ซึ่งจากการทดสอบจะพบได้ว่า การเกิด

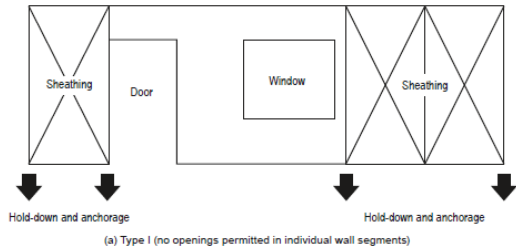
local buckling จะเป็น mode of failure มากสุดของ compression member ของชิ้นส่วนโครงสร้างเหล็กขึ้นรูปเย็น และ global buckling จะพบได้น้อยที่สุด



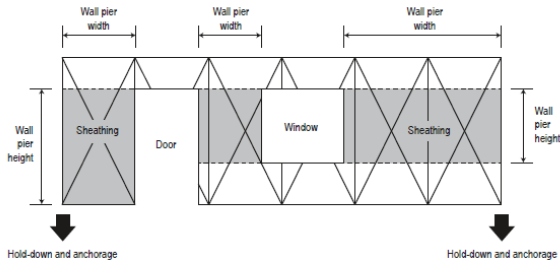
รูปที่ 1 buckling failure mode ของ CFS

2.2 โครงเหล็กขึ้นรูปเย็นในระบบต้านทานแรงแผ่นดินไหว

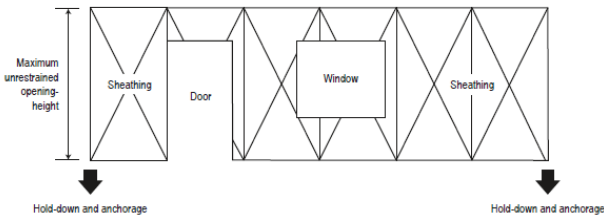
ในการออกแบบระบบโครงสร้างเหล็กขึ้นรูปเย็นเพื่อต้านทานแรงแผ่นดินไหว จะมีลักษณะขั้นตอนการออกแบบที่คล้ายคลึงกับการออกแบบโครงสร้างอื่น ๆ โดยทั่วไปแล้วจะมี Typical design procedure สำหรับ Cold formed steel lateral force resisting system ดังต่อไปนี้ ระบุค่าแรงเฉือน, สร้าง Preliminary layout, ค่าเนิงผลของ overstrength หรือ expected strength, ตรวจสอบ story drift, ออกแบบ Diaphragm, Diaphragm chords และ collectors สำหรับ CFS framing ส่วนมากนั้นจะถูกด้วยสกรูหรือพิน ทั้งนี้กำลังรับแรงเฉือนของสกรู และพินนั้น เป็นส่วนหนึ่งของปัจจัยที่ส่งผลกำลังรับแรงเฉือนของกำแพงด้วย รวมถึงมีผลต่อกลไกการเกิด energy dissipating เนื่องจาก energy dissipating mechanism นั้นจะเกิดจากแผ่น panel ไปยัง framing connection โดยจะแตกต่างกันไปตามชนิดของวัสดุที่ใช้ปิดผิว รวมถึง fastener (สกรูและพิน) ในแต่ละหน้าของกำแพงซึ่งมีผลต่อกำลังรับแรงเฉือนและ energy dissipating capacity ตามที่กล่าวมา ทั้งนี้แผ่นวัสดุปิดและระยะห่างของ fastener ที่อยู่ในแต่ละด้านของกำแพง ไม่จำเป็นที่จะต้องได้รับ load-deformation characteristic ที่เหมือนกันกำแพงรับแรงเฉือนของเหล็กขึ้นรูปเย็นที่ปิดด้วยแผ่นไม้ต้องมีรายละเอียดอ้างอิงตามมาตรฐาน AISI S400-15 ระบุข้อกำหนดสำหรับกำแพงรับแรงเฉือนประเภท I และประเภท II โดยนิยามว่า กำแพงรับแรงเฉือนประเภท I จะถูกปิดแบบ fully sheathing โดยมี hold-down ที่แต่ละปลายของกำแพง โดยอนุญาตสำหรับช่องเปิดที่มีรายละเอียดแสดงการส่งผ่านแรงไปยังชิ้นส่วนโครงสร้างอื่น ๆ รอบช่องเปิด และสำหรับกำแพงรับแรงเฉือนประเภท II อนุญาตให้สามารถมีช่องเปิดได้โดยที่ไม่มีการระบุรายละเอียดการส่งผ่านแรงรอบช่องเปิด และใช้ค่า shear resistance adjustment factor, C_a ตามความสูงของช่องเปิดและอัตราส่วนของวัสดุที่ปิดแบบ full-height นอกจากนี้ที่ตำแหน่งที่มีการปิดแบบ full-height จะต้องมี hold-end ที่แต่ละปลายของกำแพง และ anchorage สำหรับการป้องกัน uplift



รูปที่ 2 กำแพงรับแรงเฉือนประเภท I (กรณีไม่มีช่องเปิด)



รูปที่ 3 กำแพงรับแรงเฉือนประเภท I กรณีมีช่องเปิด



รูปที่ 4 กำแพงรับแรงเฉือนประเภท II กรณีมีช่องเปิด

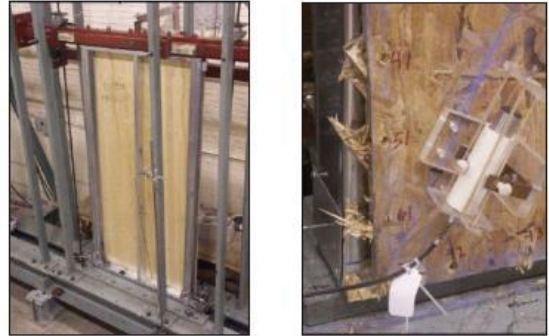
สำหรับกำแพงรับแรงเฉือนประเภท II จะมีการออกแบบที่ซับซ้อนมากในการพิจารณาทำให้ในการพิจารณากำแพงรับแรงเฉือนจะเน้นไปที่การพิจารณากำแพงรับแรงเฉือนประเภท I มากกว่า

2.3 พฤติกรรมของแรงเฉือนภายใต้แรงกระทำซ้ำ

แม้ว่าพฤติกรรมของ CFS seismic force-resisting systems ไม่ว่าจะ เป็น WSP shear wall, steel sheet shear wall และ strap-braced walls นั้นจะมีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด แต่การตอบสนองต่อการเปลี่ยนรูปจากแรงเฉือนมีความคล้ายคลึงกัน

กรณีความเสียหายที่เกิดขึ้นในการทดสอบกำแพงรับแรงเฉือนแต่ละชนิดนั้นจะมีความแตกต่างกัน สำหรับ shear wall sheathing with structural wood panel : WSP จะเกิดความเสียหายแบบ bearing ที่ fastener กับแผ่นซึ่ง และเมื่อทำการ load reversal แล้วส่วนของ fastener จะเลื่อนไปมาในร่องความเสียหายที่เกิดจาก bearing รวมถึงแผ่นไม้ นั้นจะเกิดความเสียหายแบบถาวร สำหรับกรณี Shear wall sheathing with steel sheathing เมื่อทำการ loaded ในทิศทางหนึ่ง จะทำให้เกิดแรงดึงในแผ่นเหล็ก ซึ่งกำแพงนั้นจะเกิดการเสียรูปในทิศทางตรงกันข้าม อันเป็นผลให้เกิด compression buckle ที่ตำแหน่งเดียวกัน นอกจากนี้การเกิด failure ที่ fastener สามารถเกิดขึ้นได้เช่นเดียวกับที่

เกิดใน WSP สำหรับกรณีของ Steel sheathing shear wall สุดท้ายสำหรับ Strap-braced wall นั้นจะมีความเหมือนกับ steel sheathing แต่จะเกิดรูปแบบที่แยกกันระหว่าง tension field และ compression buckle นอกจากนี้ขึ้นอยู่กับรูปแบบของจุดต่อของ strap-braced ซึ่งการเกิด bearing failure ที่ fastener สามารถเกิดขึ้นได้เช่นเดียวกันกับรูปแบบกำแพงรับแรงเฉือนที่กล่าวมาก่อนหน้า



รูปที่ 4 WSP ติดตั้งบน rig สำหรับการทดสอบ cyclic performance (ซ้าย) และการเกิด pull-through และ edge tear ที่ตำแหน่ง fastener ซึ่งเป็นผลให้ WSP เกิดความเสียหายถาวร (ขวา)



รูปที่ 5 one-sided steel sheet wall ติดตั้งบน rig สำหรับการทดสอบ cyclic performance (ซ้าย) และความเสียหายแบบ Shear buckling ในระหว่างการทดสอบ (ขวา)



รูปที่ 6 typical strap-braced wall specimen ติดตั้งบน rig สำหรับการทดสอบ cyclic performance (ซ้าย) และการเกิด yielding ใน strap-braced หลังจากการทดสอบ (ขวา)

สำหรับกำแพงรับแรงเฉือนปิดด้วยแผ่นเหล็ก (steel sheet sheathing) ส่วนใหญ่จะเกิดความเสียหายแบบ shear buckling ที่เกิดขึ้นในแผ่นเหล็กที่ใช้ปิดตั้งรูปที่ 5 และสำหรับกำแพงรับแรงเฉือนแบบโครงแกนงั้น นั้นจะเกิดความเสียหายขึ้นที่ชิ้นส่วนโครงแกนงั้นหรือชิ้นส่วนค้ำยัน รวมทั้งการเกิดความเสียหายแบบเบร็งที่ตัวยึดเช่นเดียวกับรูปที่ 5

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการออกแบบโครงสร้างเหล็กขึ้นรูปเย็นเพื่อต้านทานแรงแผ่นดินไหวจากมาตรฐานการออกแบบของแต่ละประเทศ และเปรียบเทียบมาตรฐานการออกแบบโครงสร้างเหล็กขึ้นรูปเย็นเพื่อต้านทานแรงแผ่นดินไหวระหว่างประเทศที่ศึกษา โดยแบ่งขั้นตอนในการศึกษาออกเป็น 3 ขั้นตอนหลัก ๆ ได้แก่ ขั้นตอนการศึกษาข้อมูลการออกแบบโครงสร้างเหล็กขึ้นรูปเย็นเพื่อต้านทานแรงแผ่นดินไหวจากมาตรฐานการออกแบบของแต่ละประเทศ ขั้นตอนการนำข้อมูลที่ศึกษามาวิเคราะห์และเชื่อมโยงตามหมวดหมู่หัวข้อของแต่ละมาตรฐานการออกแบบ และขั้นตอนการเปรียบเทียบข้อมูลที่ศึกษาระหว่างประเทศที่ศึกษา

3.1 การศึกษามาตรฐานการออกแบบที่ใช้อ้างอิงในประเทศสหรัฐอเมริกา

อันดับแรกได้ทำการศึกษาเอกสาร Seismic Design of Cold-Formed Steel Lateral Load-Resisting Systems A Guide for Practicing Engineers และ คลี ปี วี ดี โอ NEHRP Seismic Design Technical Brief No. 12 ซึ่งเป็นการบรรยายทางเทคนิคภาพรวมของการใช้โครงสร้างเหล็กขึ้นรูปเย็นเพื่อต้านทานแรงแผ่นดินไหว และนำไปสู่การศึกษาเอกสารอ้างอิงที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ มาตรฐานการออกแบบโครงสร้างเหล็กขึ้นรูปเย็นเพื่อต้านทานแรงแผ่นดินไหว AISI S400-20 ของ American Iron and Steel Institute และ ASCE 7-10 Minimum design load for building and other structures

3.2 การศึกษามาตรฐานการออกแบบที่ใช้อ้างอิงในประเทศออสเตรเลีย

การศึกษามาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบโครงสร้างเหล็กขึ้นรูปเย็นเพื่อต้านทานแรงแผ่นดินไหวของออสเตรเลียได้แก่ มาตรฐานการออกแบบโครงสร้างเหล็กขึ้นรูปเย็น AS 4600 ของ Standards Australia และ มาตรฐานออกแบบโครงสร้างต้านทานแรงแผ่นดินไหว AS 1170.4 Structural design actions Part 4 : Earthquake actions in Australia ของ Standards Australia

3.3 การศึกษามาตรฐานการออกแบบที่ใช้อ้างอิงในสหภาพยุโรป

การศึกษามาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบโครงสร้างเหล็กขึ้นรูปเย็นเพื่อต้านทานแรงแผ่นดินไหวของสหภาพยุโรป ได้แก่ มาตรฐานการออกแบบโครงสร้างเหล็กขึ้นรูปเย็น Eurocode 3 (EN1993-1-3) ของ European standard และมาตรฐานออกแบบโครงสร้างรับแรงแผ่นดินไหว Eurocode 8 (EN1998)

4. ผลการดำเนินงานวิจัย

4.1 ระบบกำแพงรับแรงเฉือนเพื่อต้านทานแรงแผ่นดินไหว (Seismic force resisting structural shear wall systems)

4.1.1 กำลังรับแรงเฉือน (Nominal Shear Strength)

สำหรับกำแพงรับแรงเฉือนประเภท I

$$\text{เมื่อ } h/w \leq 2;$$

$$V_n = v_n w$$

$$\text{เมื่อ } 2 < h/w \leq 4;$$

$$V_n = v_n w (2w/h)$$

สำหรับกำแพงรับแรงเฉือนประเภท II

$$V_n = C_a v_n \sum L_i$$

โดยที่

h = ความสูงของกำแพงรับแรงเฉือน

w = ความยาวของกำแพงรับแรงเฉือน

v_n = ค่ากำลังรับแรงเฉือนเชิงทฤษฎีต่อหนึ่งหน่วยความยาว

C_a = ตัวแปรปรับค่าต้านทานแรงเฉือน

$\sum L_i$ = ความยาวของไดอะแฟรม

ซึ่งค่า V_n สามารถหาจากการทดสอบในห้องปฏิบัติการโดยที่ตามมาตรฐาน AISI ระบุไว้ดังต่อไปนี้

**Table E1.3-1
Nominal Shear Strength (Resistance) (V_n) per Unit Length for Seismic and Other In-Plane Loads^{1,4}
For Shear Walls Sheathed With Wood Structural Panels on One Side of Wall**

United States and Mexico (lb/ft)							
Assembly Description	Max. Aspect Ratio (h/w)	Fastener Spacing at Panel Edges ² (in.)				Designation Thickness ³ of Stud and Track (mil)	Minimum Sheathing Screw Size
		6	4	3	2		
15/32" Structural 1 Sheathing (4-ply)	2:1 ³	780	990	-	-	33 or 43	8
	2:1	890	1330	1775	2190	43 or 54	8
7/16" OSB	2:1 ³	700	915	-	-	68	10
		825	1235	1545	2060	43 or 54	8
	2:1	940	1410	1780	2350	54	8
		1230	1850	2310	3080	68	10

Canada (kN/m)						
Assembly Description	Max. Aspect Ratio (h/w)	Fastener Spacing at Panel Edges ² (mm)			Designation Thickness ³ of Stud and Track (mil)	Required Sheathing Screw Size
		150	100	75		
9.5 mm CSP Sheathing	2:1 ³	8.5	11.8	14.2	43 (min.)	8
12.5 mm CSP Sheathing	2:1 ³	9.5	13.0	19.4	43 (min.)	8
12.5 mm DFP Sheathing	2:1 ³	11.6	17.2	22.1	43 (min.)	8
9 mm OSB 2R24/W24	2:1 ³	9.6	14.3	18.2	43 (min.)	8
11 mm OSB 1R24/2F16/W24	2:1 ³	9.9	14.6	18.5	43 (min.)	8

รูปที่ 7 ตารางแสดงกำลังรับแรงเฉือนเชิงทฤษฎี ต่อ หนึ่งหน่วยความยาว ของกำแพงรับแรงเฉือนโครงเฟรมเบาเหล็กยึดเย็นปิดด้วยแผ่นไม้

**Table E1.3.1.2-1
Shear Resistance Adjustment Factor- C_a**

Percent Full-Height Sheathing ²	Maximum Opening Height Ratio ¹				
	1/3	1/2	2/3	5/6	1
10%	1.00	0.69	0.53	0.43	0.36
20%	1.00	0.71	0.56	0.45	0.38
30%	1.00	0.74	0.59	0.49	0.42
40%	1.00	0.77	0.63	0.53	0.45
50%	1.00	0.80	0.67	0.57	0.50
60%	1.00	0.83	0.71	0.63	0.56
70%	1.00	0.87	0.77	0.69	0.63
80%	1.00	0.91	0.83	0.77	0.71
90%	1.00	0.95	0.91	0.87	0.83
100%	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

รูปที่ 8 ตัวแปรปรับค่าต้านทานแรงเฉือน (C_a) ของกำแพงรับแรงเฉือนโครงเฟรมเบาเหล็กขึ้นรูปเย็นปิดด้วยแผ่นไม้

Table E2.3-1
Nominal Shear Strength [Resistance] (V_n) per Unit Length for Seismic and Other In-Plane Loads ^{1,4}
for Shear Walls With Steel Sheet Sheathing on One Side of Wall

United States and Mexico (lb/ft)								
Assembly Description	Max. Aspect Ratio (h:w)	Fastener Spacing at Panel Edges ² (in.)				Stud Blocking Required	Designation Thickness ³ of Stud, Track and Stud Blocking (mils)	Minimum Sheathing Screw Size
		6	4	3	2			
0.018" steel sheet	2:1	390	-	-	-	No	33 (min.)	8
	2:1 ³	-	1000	1085	1170	No	43 (min.)	8
0.027" steel sheet	2:1 ³	647	710	778	845	No	33 (min.)	8
	2:1 ³	910	1015	1040	1070	No	43 (min.)	8
0.030" steel sheet	2:1 ³	-	-	-	1355	Yes	43 (min.)	10
	2:1 ³	1055	1170	1235	1305	No	43 (min.)	8
0.033" steel sheet	2:1 ³	-	-	-	1505	Yes	43 (min.)	10
	2:1 ³	-	-	-	1670	No	54 (min.)	8
	2:1 ³	-	-	-	2085	Yes	54 (min.)	10
	2:1 ³	-	-	-	-	-	-	-

Canada (kN/m)								
Assembly Description	Max. Aspect Ratio (h:w)	Fastener Spacing at Panel Edges ² (mm)				Stud Blocking Required	Designation Thickness ³ of Stud, Track and Stud Blocking (mils)	Required Sheathing Screw Size
		150	100	75	50			
0.46 mm steel sheet	2:1	4.1	--	--	--	No	33 (min)	8
0.46 mm steel sheet	2:1	4.5	6.0	6.8	7.5	No	43 (min)	8
0.68 mm steel sheet	2:1	6.5	7.2	7.9	8.7	No	33 (min)	8
0.76 mm steel sheet	4:1	8.9	10.6	11.6	12.5	No	43 (min)	8
0.84 mm steel sheet	4:1	10.7	12.0	13.0	14.0	No	43 (min)	8
0.46 mm steel sheet	2:1	7.4	9.7	11.6	13.5	Yes	43 (min)	8
0.76 mm steel sheet	2:1	11.7	14.3	--	--	Yes	43 (min)	8
0.76 mm steel sheet	2:1	--	--	19.9	23.3	Yes	54 (min)	8

รูปที่ 8 ตารางแสดงกำลังรับแรงเฉือนเชิงทฤษฎี ต่อหนึ่งหน่วยความยาว ของ กำแพงรับแรงเฉือนโครงเฟรมเหล็กชั้นรูปยื่นปิดด้วยแผ่นเหล็ก

Table E2.3.1.2-1
Shear Resistance Adjustment Factor- C_a

Percent Full-Height Sheathing ²	Maximum Opening Height Ratio ¹				
	1/3	1/2	2/3	5/6	1
10%	1.00	0.69	0.53	0.43	0.36
20%	1.00	0.71	0.56	0.45	0.38
30%	1.00	0.74	0.59	0.49	0.42
40%	1.00	0.77	0.63	0.53	0.45
50%	1.00	0.80	0.67	0.57	0.50
60%	1.00	0.83	0.71	0.63	0.56
70%	1.00	0.87	0.77	0.69	0.63
80%	1.00	0.91	0.83	0.77	0.71
90%	1.00	0.95	0.91	0.87	0.83
100%	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

รูปที่ 9 ตารางตัวแปรปรับค่าด้านทานแรงเฉือน (C_a) ของกำแพงรับแรงเฉือนโครงเหล็กชั้นรูปยื่นปิดด้วยแผ่นเหล็ก

Table E5.3-1
Canada
Nominal Shear Resistance (V_n) per Unit Length for Seismic Loads for Shear Walls Sheathed With Gypsum Board on One Side of Wall^{1,2,3} (kN/m)

Assembly Description	Maximum Aspect Ratio (h:w)	Fastener Spacing at Panel Edges/Field (mm)			Designation Thickness of Stud and Track (mils)	Required Sheathing Screw Size
		100/300	150/300	200/300		
12.5 mm gypsum board; studs max. 600 mm o.c.	2:1	3.4	3.1	2.7	33 (min.)	6

รูปที่ 10 ตารางแสดงกำลังรับแรงเฉือนเชิงทฤษฎีต่อหนึ่งหน่วยความยาว กำแพงรับแรงเฉือนโครงเฟรมเหล็กชั้นรูปยื่นปิดด้วยแผ่นไม้และยิปซัมบอร์ด

Table E6.3-1
United States and Mexico
Nominal Shear Strength (V_n) per Unit Length for Seismic Loads for Shear Walls Sheathed With Gypsum Board Panels or Fiberboard Panels on One Side of Wall^{1,2,3} (lb/ft)

Assembly Description	Maximum Aspect Ratio (h:w)	Fastener Spacing at Panel Edges/Field (in.)						Designation Thickness of Stud and Track (mils)	Required Sheathing Screw Size
		7/7	4/4	4/12	8/12	4/6	3/6		
5/8" gypsum board; studs max. 24" o.c.	2:1	290	425	295	230	-	-	33	6
5/8" fiberboard; studs max. 24" o.c.	1:1	-	-	-	425	615	670	33	8

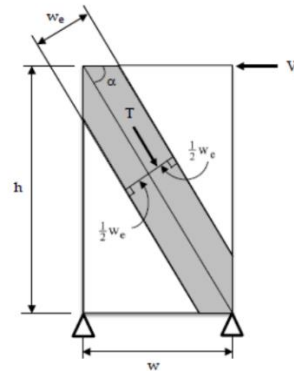
รูปที่ 11 ตารางแสดงกำลังรับแรงเฉือนเชิงทฤษฎีต่อหนึ่งหน่วยความยาว กำแพงรับแรงเฉือนโครงเฟรมเหล็กชั้นรูปยื่นปิดด้วยแผ่นยิปซัมบอร์ดหรือแผ่นไฟเบอร์บอร์ด

4.1.2 Effective Strip Method

สำหรับกำแพงรับแรงเฉือนโครงเฟรมเบาเหล็กกริด ยื่นปิดด้วยแผ่นเหล็ก นั้นจะมีวิธีการสำหรับการหาค่า nominal shear strength ซึ่งเป็นสูตร semi-empirical ดังต่อไปนี้

$$V_n = \text{Minimum} (1.33P_n \cos \alpha / w, 1.33w_e t F_y \cos \alpha / w)$$

สำหรับวิธี effective strip method นั้นอยู่บนสมมุติฐานว่าแถบของแผ่นปิด (Sheathing strip) นั้นเป็นส่วนที่รับแรง lateral ซึ่งเกิดจาก tension field ในแผ่นเหล็กที่ปิดกำแพง รับแรงเฉือน โดยจะทำให้กำลังแรงเฉือนของระบบนั้นจะถูกควบคุมด้วยกำลังรับแรงเฉือนที่รับภายใต้ Sheathing strip นั้น ทั้งนี้จะมีค่า resistance factor เท่ากับ 0.60 (LRFD)



รูปที่ 12 Effective Strip Model สำหรับ Steel Sheet Sheathing

4.2. การออกแบบการโก่งตัวของกำแพงรับแรงเฉือน (Design Deflection)

การประมาณค่าการโก่งตัวของโครงสร้าง เฟรมกำแพงรับแรงเฉือนโครงสร้างเหล็กชั้นรูปยื่น ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน North American Standard for Seismic Design of Cold-formed steel Structural Systems (AISI S400) โดยข้อกำหนดการใช้งานของสมการคือ ไม่สามารถใช้ กับค่าที่เกินค่า Nominal shear strength การศึกษาซึ่งนำมาซึ่งสมการดังกล่าว เป็นการศึกษามอดেলอย่างง่ายของพฤติกรรมของกำแพงรับแรงเฉือนประเภท I (Type I Shear wall) รวมถึงค่าตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อการพิจารณา พฤติกรรมไม่ยืดหยุ่นของโครงสร้างเหล็กชั้นรูปยื่น และผลของวัสดุปิดกำแพงรับแรงเฉือนด้วย สำหรับ องค์ประกอบในสมการที่ได้ศึกษาว่ามีผลต่อการประมาณค่าการโก่งตัวของโครงสร้างเฟรมกำแพงรับ แรงเฉือนซึ่งได้แก่ การบิดตัวของคานยื่นในสภาพยืดหยุ่น

การเลือกรูปจากผลของแรงทางข้างของตัวยึดโครงสร้าง (hold-down และ anchorage) นั้นขึ้นอยู่กับ aspect ratio ของกำแพงรับแรงเฉือน ซึ่งจะพิจารณาผลของค่าตัวแปรที่ จากการทดสอบ (empirical factor) โดยจะอ้างอิงจากการทดสอบ cyclic testing การทดสอบดังกล่าวเป็นการทดสอบในแรงกระทำด้านข้างซ้ำในวงรอบสำหรับกำแพงรับแรงเฉือน ตัวแปรดังกล่าวจะเป็นการค่าที่ได้จากการทดสอบและสังเกตการตอบสนองของโครงเฟรมเหล็กกริดยื่นที่รูปแบบ

ตัวโครงเฟรมที่เหมือนแต่จะแตกต่างกันที่วัสดุปิด (Sheathing materials) ในแต่ละวัสดุจะ มีความแข็งแรงที่แตกต่างกันส่งผลให้การทนสภาพการเสียวจากแรงแผ่นดินไหวนั้นแตกต่างกัน

สำหรับการโค้งตัวของกำแพงรับแรงเฉือนประเภท I ที่มีช่องเปิดและกำแพงรับแรงเฉือนประเภท I ที่มีช่องเปิดจะพิจารณาด้วยความระมัดระวัง เนื่องจากการที่มีช่องเปิดอาจจะเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดการเสียวรูปที่แตกต่างกันออกไป

สำหรับการออกแบบการโค้งตัวกำแพงรับแรงเฉือนประเภท II นั้นไม่ได้อยู่ในขอบเขต การศึกษา นี้ เนื่องจากกลไกการเกิดการโค้งตัวที่ขึ้นส่วนต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบของโครงสร้างนั้นยาก ต่อการพิจารณา

4.3 เกณฑ์การออกแบบสำหรับโครงสร้างแบบกระจายแรงสำหรับ Eurocode

โครงสร้างที่นำมาใช้ต้องมีความเหนียวที่เพียงพอของชิ้นส่วนซึ่งใช้สำหรับการเปลี่ยนพลังงานจนในการบีบอัดหรือการตัดโดยต้องได้รับการตรวจสอบโดยการจำกัดอัตราส่วนความกว้างต่อความหนาตามประเภทภาคตัดขวางและมีค่าปรับแก้สำหรับโครงสร้างแต่ละประเภทดังรูปข้างต้น

Ductility class	Reference value of behaviour factor q	Required cross-sectional class
DCM	$1.5 < q \leq 2$	class 1, 2 or 3
	$2 < q \leq 4$	class 1 or 2
DCH	$q > 4$	class 1

รูปที่ 13 ข้อกำหนดเกี่ยวกับระดับภาคตัดขวางขององค์ประกอบกระจายแรง

ปัจจุบันไม่ได้อธิบายถึงโครงสร้างประเภทที่ 4 อย่างไรก็ตาม การศึกษาล่าสุดหลายแสดงให้เห็นว่าโครงสร้างเหล็กขนาดเบาที่ทำจากส่วนประกอบประเภทที่ 4 ซึ่งถูกสร้างโดยการขึ้นรูปเย็นหรือการเชื่อมแผ่นเหล็กบางสามารถใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพในโครงสร้างต้านทานแผ่นดินไหว โครงสร้างประเภทนี้เป็นที่รู้จักกันทั่วไปว่าเป็นโครงสร้างเหล็กขึ้นรูปเย็น (CFS) และกำลังเป็นที่นิยมอย่างมากทั่วโลก เนื่องจากเป็นวิธีการแก้ไขที่เหมาะสมต่อความต้องการบ้านประสิทธิภาพสูงที่มีต้นทุนตามงานวิจัยมีโครงสร้างกว่า 147 แห่งสามารถออกแบบในพื้นที่แผ่นดินไหวเป็นโครงสร้างที่ไม่กระจายตัวโดยใช้ $q = 1$ ตามข้อกำหนด EN 1993 โดยมีเงื่อนไขว่าข้อกำหนดทั่วไปที่เกี่ยวข้องกับค่าโครงของโครงสร้างซึ่งถูกพิจารณาเพื่อให้สามารถจำลองพฤติกรรมและมีรายละเอียดเพียงพอ

ข้อกำหนดทั่วไปสำหรับจุดเชื่อมต่อที่ไม่กระจายตัวทุกประเภทในบริเวณที่มีการกระจายแรงของโครงสร้างเพื่อให้แน่ใจว่ามีความแข็งแรงเกินเพียงพอและเพื่อหลีกเลี่ยงพฤติกรรมแบบพลาสติก สามารถอ้างอิงได้โดยเกณฑ์ต่อไปนี้เพื่อให้แน่ใจว่าต้องใช้การเชื่อมต่อเกินกำลัง

4.4 ข้อเปรียบเทียบระหว่างมาตรฐานการออกแบบสำหรับแรงแผ่นดินไหวของ ASCE 7-10, AS1170-4 และ EUROCODE 8

เนื่องด้วยมาตรฐานการออกแบบสำหรับแรงแผ่นดินไหว ทั้ง ASCE 7-10 ซึ่งเป็นที่ใช้อ้างอิงในประเทศสหรัฐอเมริกา, AS1170.4 ซึ่งเป็น

มาตรฐานที่ใช้อ้างอิงในประเทศออสเตรเลีย และ EUROCODE 8 ซึ่งใช้ใน ประเทศยุโรป จะมีความแตกต่างกันในบางประเด็น โดยสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

- การคำนวณ Natural time period โดยการใช้มาตรฐานของประเทศออสเตรเลียนั้นทำให้ได้ค่าที่มีค่าสูงกว่ามาตรฐานของประเทศสหรัฐอเมริกาและยุโรป

- Imposed dead load และ dead load factor ใน Load combination ของมาตรฐานที่ใช้อ้างอิงในประเทศสหรัฐอเมริกา มีค่าสูงกว่าของมาตรฐานประเทศออสเตรเลีย ซึ่งรวมถึงผลของ P-delta effect ที่จะน้อยลงเนื่องด้วยจาก load combination ดังกล่าวด้วย ในขณะที่ Load combination ของมาตรฐานที่ใช้ในประเทศยุโรปนั้นสามารถพิจารณาได้ดังนี้

- Eurocodes จะมีการบัญญัติศัพท์เกี่ยวกับ load combination ที่ต่างจากอเมริกา ดังนี้
- dead loads เทียบได้กับ permanent actions
- imposed loads, snow loads and wind loads จะเรียกรวมกันว่า variable actions
- load combinations เรียกว่า combinations of actions

โดยการคำนวณของ Eurocode จะมีความใกล้เคียงกับวิธีคิดแบบ AISC-LRFD โดยจะมีการคิด 2 วิธีดังนี้

วิธีที่ 1

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_p P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i \geq 2} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Where;

G stands for permanent actions

P stands for prestressing (Which is of no interest to this report as it's steel being studied)

Q_1 stands for the variable variable action

Q stands for all the rest of the variable actions summed up

γ_p stands for the partial factor multiplied to the Prestressing Actions

$\gamma_{Q,i}$ stands for the partial factor multiplied to the variable actions

γ_G stands for the partial factor multiplied to the Permanent Action

ψ_0 stands for Combination Factor

ξ stands for Reduction factor (see below)

วิธีที่ 2 คำนวณผ่านสมการ

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_p P + \gamma_{Q,1} \psi_0 Q_{k,1} + \sum_{i \geq 2} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

$$\sum_{j \geq 1} \xi \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_p P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i \geq 2} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

A1. Combination factors for Imposed and Snow Loads on a Structure

Action	ψ_0	ψ_1	ψ_2
<i>Imposed Loads in buildings</i>			
Category A :Domestic and Residential	0.7	0.5	0.3
Category B: Office Areas	0.7	0.5	0.3
Category C: Congregation Areas	0.7	0.7	0.6
Category D: Shopping Areas	0.7	0.7	0.6
Category E: Storage areas	1	0.9	0.8
Category F: Traffic Area, Vehicle Weight<30KN	0.7	0.7	0.6
Category G: Traffic Area, 30<Vehicle Weight>160	0.7	0.5	0.3
Category H: Roofs	0.7	0	0
<i>Snow Loads on Buildings</i>			
Altitude H<1000m above sea level	0.5	0.2	0
Altitude H>1000m above sea level	0.7	0.5	0.2
<i>Wind Loads on Buildings</i>			
	0.6	0.2	0

Source; Table NA A1.1 of UK National Annex to EC0

A2: Partial Safety Factors

Limit State	Partial Safety factor for Permant Actions γ_G	Partial Safety Factors for variable Actions γ_Q
ULS	$\gamma_G = 1.35$	$\gamma_Q = 1.50$
SLS	$\gamma_G = 1.00$	$\gamma_Q = 1.00$

Source: EC1

รูปที่ 14 ตารางแสดงค่า factor ที่ใช้พิจารณา Load combination

- ทั้งนี้ Eurocode จะมีวิธีการคิดแบบ ULS และ SLS แต่โดยส่วนมาก จะใช้การคิดแบบ ULS (Ultimate Limit Stress) เป็นหลัก

- มาตรฐานที่ใช้อ้างอิงในประเทศออสเตรเลียใช้ค่า $\pm 0.1b$ สำหรับ eccentric center of mass โดยสำหรับมาตรฐานที่ใช้อ้างอิงในประเทศสหรัฐอเมริกาและยุโรป ใช้ค่า $\pm 0.05b$ สำหรับผลของ torsional effects

- Drift limit ของโครงสร้างตามมาตรฐานที่ใช้อ้างอิงในประเทศออสเตรเลียให้มีค่าน้อยกว่า เป็นผลเนื่องจากผลของ load combination ที่น้อยกว่า ซึ่งไม่สามารถเปรียบเทียบได้กับมาตรฐานยุโรป

4.4 ข้อเปรียบเทียบระหว่างมาตรฐานสำหรับแรงแผ่นดินไหวออกแบบ ระหว่าง ASCE 7, AS1170.4 และ EN 1998

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบมาตรฐานสำหรับแรงแผ่นดินไหวออกแบบระหว่าง

ASCE 7, AS1170.4 และ EN 1998

ASCE 7	AS1170.4	EN 1998	มยผ.1301/1302-61
ระดับความสำคัญของอาคารแบ่งได้เป็น 4 ระดับ โดยมีค่าดังต่อไปนี้ ระดับ I = 1.0 ระดับ II = 1.0 ระดับ III = 1.25 ระดับ IV = 1.50	ระดับความสำคัญของอาคารแบ่งได้เป็น 4 ระดับ โดยมีค่าดังต่อไปนี้ ระดับ I = 0 ระดับ II = 1.0 ระดับ III = 1.3 ระดับ IV = 1.50	ระดับความสำคัญของอาคารแบ่งได้เป็น 4 ระดับ โดยมีค่าดังต่อไปนี้ ระดับ I = 0.8 ระดับ II = 1.0 ระดับ III = 1.2 ระดับ IV = 1.4	ระดับความสำคัญของอาคารแบ่งได้เป็น 4 ระดับ โดยมีค่าดังต่อไปนี้ ระดับ I = 1.0 ระดับ II = 1.0 ระดับ III = 1.25 ระดับ IV = 1.5
ชั้นดินในพื้นที่แบบต่างๆ จะมีตัวแปร f_v และ f_d สำหรับการปรับแก้ค่าความเร่งเชิงสเปคตรัมที่ใช้ในการออกแบบ	ใช้ hazard factor และ Sub-soil สำหรับการพิจารณาเลือก (EDC : Earthquake design category)	ใช้ค่าสัมประสิทธิ์การปรับแก้ของ T_B, T_C, T_D และ S ซึ่งเป็นค่าที่ต่างไปตามประเภทของดินในพื้นที่	ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ปรับแก้ F_a และ F_v พิจารณารวมกับประเภทชั้นดิน ทั้งนี้ สำหรับการออกแบบต้องมีการปรับแก้ด้วยค่าครั้งที่ 2/3 อีกครั้ง
ค่า R (Response modification coefficient) สำหรับปรับแรงแผ่นดินไหวที่ใช้ออกแบบตามชนิดโครงสร้างของอาคาร	ค่าตัวแปรความเหนียว Ductility factor (μ) และ ค่าตัวแปรประสิทธิภาพ: Performance factor (S_p) ตามที่มาตรฐาน AS4600 ระบุสำหรับการออกแบบโครงสร้างเหล็กรีดเย็น	ใช้ค่า q ในการออกแบบ โดยค่า q จะขึ้นอยู่กับ ductility class และ cross sectional class	ใช้ค่า Response Modification Factor, R , System Overstrength Factor, Deflection Amplification Factor, C_d ในการคำนวณ Base Shear แรในองค์อาคารเพื่อการออกแบบ Element Design Force และ Story Drift)

ทั้งนี้การเปรียบเทียบระหว่างมาตรฐานการออกแบบสำหรับแรงแผ่นดินไหวของแต่ละประเทศนั้นมีประเด็นข้อแตกต่างเนื่องจากผลของสภาพพื้นที่ที่มีการตอบสนองของแรงแผ่นดินไหวที่แตกต่างกันออกไป โดยในการใช้งานการออกแบบสำหรับแรงแผ่นดินไหว ในการออกแบบโครงสร้างเหล็กเพื่อด้านทานแรงแผ่นดินไหว (AISI S400) นั้นอ้างอิงตามมาตรฐาน ASCE 7-10 minimum design load for building and other structure สำหรับการเปรียบเทียบจะทำให้เห็นถึงความแตกต่างและระดับความระมัดระวังในการประยุกต์ใช้งานการวิเคราะห์แรงแผ่นดินไหวตามมาตรฐานที่อ้างอิงในประเทศต่าง ๆ

4.4 ข้อเปรียบเทียบระหว่างมาตรฐานการออกแบบโครงสร้างเหล็กชั้นรูปเย็นเพื่อด้านทานแรงแผ่นดินไหวของประเทศสหรัฐอเมริกา และประเทศออสเตรเลีย

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบมาตรฐานสำหรับแรงแผ่นดินไหวออกแบบระหว่างประเทศสหรัฐอเมริกา ออสเตรเลีย และประเทศไทย

ประเทศสหรัฐอเมริกา	ประเทศออสเตรเลีย	ประเทศไทย
AISI S400: North American Standard for Seismic Design of Cold-Formed Steel Structural System เป็นมาตรฐานที่ใช้อ้างอิงในการออกแบบโครงสร้างเหล็กชั้นรูปเย็นของประเทศไทยและนิวซีแลนด์ ในการออกแบบชิ้นส่วนด้านทานแรงด้านข้าง และ AISI S240: North American Standard for Cold-Formed Steel Structural Framing มาตรฐานที่ใช้อ้างอิงในการออกแบบโครงสร้างชิ้นส่วนโครงสร้างด้านทานแรงตามแนวลม	AS4600: Australia/New Zealand Standard Cold-Formed Steel Structure เป็นมาตรฐานที่ใช้อ้างอิงในการออกแบบโครงสร้างเหล็กชั้นรูปเย็นของประเทศไทยและนิวซีแลนด์ ในการออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้างเหล็กรีดเย็น	ไม่มีระบุไว้สำหรับส่วนของมาตรฐานที่ใช้อ้างอิงในการออกแบบโครงสร้างเหล็กชั้นรูปเย็นในพื้นที่แผ่นดินไหว
ในมาตรฐาน AISI S400 : North American Standard for Seismic Design of Cold-Formed Steel Structural System ระบุไว้ว่า สำหรับการออกแบบโครงสร้างเหล็กรีดเย็นในพื้นที่แผ่นดินไหว ให้ใช้แรงแผ่นดินไหวตามมาตรฐาน ASCE 7	ในมาตรฐาน AS4600 ของ Australia ระบุไว้สำหรับการออกแบบโครงสร้างเหล็กรีดเย็นในพื้นที่แผ่นดินไหว โดยให้ใช้แรงแผ่นดินไหวตามมาตรฐาน AS1170.4	ในมาตรฐาน มยผ.1301/1302-61 ระบุมาตรฐานการออกแบบอาคารด้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว
ระบบโครงสร้างเหล็กชั้นรูปเย็นเพื่อด้านทานแผ่นดินไหว ประกอบด้วย 2 ส่วนหลักคือ กำแพงรับแรงเฉือน และ โค้ดเฟรม โดยค่ากำลังรับแรงเฉือนของกำแพงรับแรงเฉือน จะเป็นค่าที่ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการตามรายละเอียดประกอบที่ระบุ	ไม่มีระบุไว้สำหรับส่วนของกำแพงรับแรงเฉือน หรือโครงสร้างอื่นที่ขึ้นด้านทานแรงด้านข้าง และโครงสร้างโค้ดเฟรม	ไม่มีระบุไว้สำหรับส่วนของกำแพงรับแรงเฉือน หรือโครงสร้างอื่นที่ขึ้นด้านทานแรงด้านข้าง

การใช้งานเหล็กชั้นรูปเย็นในประเทศไทยนั้นยังไม่นิยมนำมาใช้สำหรับโครงสร้างชิ้นส่วนของอาคารหลัก เนื่องจากนิยมใช้เหล็กรูปพรรณมากกว่าเพราะให้กำลังที่มากกว่าแต่จากการศึกษามาตรฐานที่ใช้สำหรับการออกแบบโครงสร้างเหล็กชั้นรูปเย็นเพื่อด้านทานแรงแผ่นดินไหว ทำให้ทราบพฤติกรรมของเหล็กชั้นรูปเย็นในการใช้งานสำหรับโครงสร้างการรับแรงในโครงสร้างหลัก โดยมาตรฐาน AISI S400 (North America Standard for Seismic Design of Cold-Formed Structural System) มีการกล่าวถึงระบบโครงสร้างที่ใช้ด้านทานแรงทางข้างไม่ว่าจะเป็นกำแพง

รับแรงเฉือนหรือโตอะแฟรม ทั้งนี้มาตรฐานได้ระบุและให้คำแนะนำเกี่ยวกับการก่อสร้างโครงสร้างกำแพงรับแรงเฉือนและโตอะแฟรมสำหรับการต้านทานแรงแผ่นดินไหว ซึ่งสามารถนำมาปรับใช้ในประเทศไทยได้ โดยอาจมีการทดสอบ และเก็บข้อมูลในการทดสอบกำลังรับแรงเฉือน เนื่องจากความแตกต่างของวัสดุปัดในแต่ละพื้นที่

5. ผลการดำเนินงานวิจัย

โครงการนี้เป็นการศึกษาการออกแบบโครงสร้างเหล็กขึ้นรูปเย็นเพื่อต้านทานแรงแผ่นดินไหว โดยการศึกษาการออกแบบที่อ้างอิงตามมาตรฐานการออกแบบไม่ว่าจะเป็น AISI S400-20 (North American Standard for Seismic Design of Cold-formed Steel Structural Systems), AISI S240 (North American Standard for Cold-Formed Steel), ASCE7-10 (Minimum Design Load for Building and Other Structure), AS4600 (Australian Standard : Cold-formed structure), AS1170.4 (Australia Standard : Structure Design Action Part 4 Earthquake action in Australia), Eurocode3 (EUROPEAN STANDARD EN1993-1-3), Eurocode8 (EUROPEAN STANDARD EN1998-1) รวมถึงงานวิจัยอื่นๆที่มีความเกี่ยวข้องกับการกับออกแบบโครงสร้างเหล็กขึ้นรูปเย็นสำหรับต้านทานแรงแผ่นดินไหวซึ่งผลจากการศึกษาพบว่าในการออกแบบโครงสร้างรับแรงแผ่นดินไหวสามารถใช้วิธีสถิตย์เทียบเท่า (Equivalent static) ซึ่งได้ระบุไว้ในรายงานแนววิธีการอื่นๆได้เนื่องจากในการออกแบบโครงสร้างเชื่อมต่อ (connection) หรือตัว member ของเหล็กเองมีความยุ่งยากซับซ้อนที่มากขึ้นไปทั้งนี้จากการศึกษามาตรฐานที่มีความเหมาะสมมากที่สุดในการนำมาปรับใช้คือมาตรฐาน AISI S400 ซึ่งได้มีการกล่าวถึงการรับแรงเฉือนในรูปแบบต่างๆของโครงสร้างเหล็กขึ้นรูปเย็นในการรับแรงแผ่นดินไหวเอาไว้ครอบคลุมมากที่สุดแต่ในส่วนของAS4600 (มาตรฐานการออกแบบเหล็กขึ้นรูปเย็นของประเทศออสเตรเลีย) นั้นระบุเพียงมาตรฐานการออกแบบเหล็กขึ้นรูปเย็นโดยที่ไม่ได้กล่าวถึงการออกแบบกำแพงรับแรงเฉือนไว้ในมาตรฐานทำให้ต้องนำAS1170.4 (มาตรฐานการออกแบบโครงสร้างรับแรงแผ่นดินไหวของประเทศออสเตรเลีย) มาใช้ในการวิเคราะห์เพิ่มเติมด้วย แต่ทั้งนี้การออกแบบของมาตรฐานยังมีความไม่ครอบคลุมในบางจุดในการออกแบบเหล็กขึ้นรูปเย็นทำให้ยังคงมีการศึกษาถึงความเหมาะสมและเพื่อให้มีประสิทธิภาพและความแม่นยำยิ่งขึ้น และในส่วนของมาตรฐาน Eurocode8 (มาตรฐานการออกแบบโครงสร้างต้านทานแรงแผ่นดินไหวของสหภาพยุโรป) ไม่ได้มีการระบุถึงการออกแบบโครงสร้างต้านทานแผ่นดินไหวโดยใช้เหล็กขึ้นรูปเย็น และ Eurocode3 (มาตรฐานการออกแบบเหล็กขึ้นรูปเย็นของสหภาพยุโรป) ไม่ได้ระบุถึงการออกแบบรับแรงแผ่นดินไหว จึงได้มีการศึกษาเพิ่มเติมจากงานวิจัยอื่นๆทำให้สามารถระบุได้ว่าปัจจุบัน Eurocode ยังไม่สามารถนำมาใช้ออกแบบโครงสร้างเหล็กขึ้นรูปเย็นต้านทานแรงแผ่นดินไหวได้

จากการศึกษาเปรียบเทียบมาตรฐานของแต่ละประเทศทำให้สามารถระบุได้ว่าในการออกแบบโครงสร้างต้านทานแผ่นดินไหว จะต้องทราบถึงสภาพของแต่ละภูมิภาคเนื่องจากในแต่ละที่มีปัจจัยที่แตกต่างกันออกไปทำ

ให้วิธีการหรือค่าปรับแก้ต่างๆในการออกแบบโครงสร้างมีความแตกต่างกันออกไป

สำหรับการประยุกต์ใช้งานเหล็กขึ้นรูปเย็นในการต้านทานแรงแผ่นดินไหว จำเป็นต้องทำการศึกษาพฤติกรรมการรับแรงของโครงสร้างรับแรงเฉือนโดยสามารถอ้างอิงมาตรฐาน AISI S400 ซึ่งเป็นมาตรฐานที่มีความสอดคล้องกับ ASCE7 และ AISI S240 และ มยผ.1301-1302/61 ที่ใช้อ้างอิงในการออกแบบอาคารที่ได้รับแรงจากแผ่นดินไหว โดยวัสดุที่ใช้ในการออกแบบกำแพงรับแรงเฉือนตามมาตรฐานข้างต้นเป็นวัสดุที่มีอยู่แล้วในตลาดของประเทศไทย และมยผ. ของไทยนั้นถูกอ้างอิงมาจาก ASCE7 จึงมีความเหมาะสมที่จะทำการศึกษามาตรฐาน AISI S400 เป็นแนวทางหลัก ทั้งนี้ในการนำมาใช้จริงยังคงต้องมีการปรับแก้ในบางส่วนเพื่อให้มีความเหมาะสมต่อสภาพแวดล้อมในประเทศไทยเสียก่อนที่จะนำมาใช้งาน

เอกสารอ้างอิง

- [1] American Iron and Steel Institute. North American Standard for Seismic Design of Cold-Formed Steel Structural Systems (AISI S400), 2020.
- [2] American Society of Civil Engineer. Minimum Design Loads for Building and Other Structure (ASCE 7-10), 2010.
- [3] Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings (EN 1998-1), 2004
- [4] Eurocode 3: Design of steel structures—Part 1–3: General rules — Supplementary rules for cold formed members and sheeting (EN 1993-1-3), 2006
- [5] Standards Australia. Structural design actions Part 4 : Earthquake actions in Australia (AS1170.4), 2007.
- [6] Standards Australia. Cold-formed steel structures (AS4600), 2018
- [7] กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย, “มาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว มยผ.1301-1302/61”.
- [8] Robert L., Thomas A., and Benjamin W. Seismic Design of Cold-Formed Steel Lateral Load-Resisting A Guide for Practicing Engineers, 2016.
- [9] Ali Al-Obaidi. Comparison between the American code ASCE7-16 and the Australian code AS1170.4 against the seismic design effects. Dubai: The British University of Dubai, 2018.