ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
247224

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

ทุนสนับสนุนโครงการวิจัยนวัตกรรมเพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชนฐานราก ประจำปี 2550

สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา

# หัวข้อโครงงานวิจัย

# การศึกษาความพร้อมองค์อาคารข้อต่อคาน-เสาเหล็กในประเทศไทยเพื่อรับแรงแผ่นดินไหว

# A Study of Steel Beam-to-Column Connections in Thailand for Earthquake Load

โดย

ผศ, ดร. อานนท์ วงษ์แก้ว

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

b00251645

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
247224

**รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์**

**ทุนสนับสนุนโครงการวิจัยนวัตกรรมเพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชนฐานราก ประจำปี 2550**

**สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา**

**หัวข้อโครงงานวิจัย**

# การศึกษาความพร้อมองค์อาคารข้อต่อคาน-เสาเหล็กในประเทศไทยเพื่อรับแรงแผ่นดินไหว

# A Study of Steel Beam-to-Column Connections in Thailand for Earthquake Load

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

**โดย**

**ผศ, ดร. อานนท์ วงษ์แก้ว**

**ภาควิชาวิศวกรรมโยธา**

**คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา**

# บทคัดย่อ

247224

ก่อนการเกิดแผ่นดินไหว Northridge ในปี 1994 วิศวกรโครงสร้างในประเทศสหรัฐอเมริกาเชื่อว่า โครงข้อแข็งเหล็กจะแสดงพฤติกรรมที่โดดเด่นในเรื่องความเหนียวและจะสามารถต้านทานการสั่นไหวที่รุนแรงได้ โดยไม่สูญเสียความแข็งแรงขององค์อาคารโดยรวม หรือสูญเสียน้อยมาก อย่างไรก็ตาม หลังการเกิดแผ่นดินไหว Northridge พบว่าโครงข้อแข็งจำนวนมากเกิดรอยแตกร้าวบริเวณรอยต่อระหว่างคาน-เสา และต่อมาพบอีกว่ารอยแตกร้าวเหล่านี้เป็นรอยแตกแบบเปราะ ทำให้วิศวกรส่วนใหญ่มีความกังวลถึงองค์ความรู้และมาตราฐานในการออกแบบโครงข้อแข็งเหล็กที่ใช้อยู่ขณะนั้น (ก่อนปี 1994) อาจมีข้อบกพร่องจำเป็นต้องทำการศึกษาเพิ่มเติม การศึกษานี้มีจุดมุ่งหมาย เพื่อศึกษาพฤติกรรมข้อต่อคาน-เสาเหล็ก ที่มีรายละเอียดตามการก่อสร้างในประเทศไทย เมื่อรับแรงแผ่นดินไหวด้วยวิธีไฟไนอิลิเมนต์ โดยเริ่มจากการสร้างแบบจำลองไฟไนอิลิเมนต์ของข้อต่อคาน-เสาชนิด Welded Unreinforced Flanges-Bolted Web (ExBSh1C) ทำการวิเคราะห์แบบจำลอง ExBSh1C นำผลที่ได้จากการวิเคราะห์ เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดสอบชิ้นงานจริง จากนั้นจะทำการปรับรายละเอียดแบบจำลอง ExBSh1C ให้มีรายละเอียดของแบบจำลอง ตามรายละเอียดการก่อสร้างในประเทศไทยแบบเชื่อมรอบหน้าตัดคาน (ExTSh1C) ผลการวิเคราะห์แบบจำลอง ExBSh1C แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองไฟไนอิลิเมนต์ที่พัฒนาขึ้นมามีความแม่นยำ ถูกต้องสูง แรงตอบสนองสูงสุดของแบบจำลองมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดสอบชิ้นงาน และแบบจำลองสามารถแสดงตำแหน่งการครากของข้อต่อได้ตรงกับผลที่ได้จากการทดสอบ เมื่อพิจารณาจากผลการวิเคราะห์แบบจำลอง ExTSh1C จะพบว่าแบบจำลองนี้มีพฤติกรรมด้านการรับแรงและการกระจายความเค้นได้ดีกว่า ดังนั้นจึงอาจนำสรุปได้ว่าข้อต่อประเภทเชื่อมรอบหน้าตัดคาน อาจมีพฤติกรรมและศักยภาพในการรับแรงแผ่นดินไหวได้ดีกว่าข้อต่อประเภท Welded Unreinforced Flanges-Bolted Web

คำสำคัญ: ข้อต่อคาน-เสา, แบบจำลองไฟไนอิลิเมนต์ , การวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนอิลิเมนต์, ข้อต่อชนิด Welded Unreinforced Flanges-Bolted Web, ข้อต่อชนิดเชื่อมรอบหน้าตัดคาน

**Abstract**

247224

Prior to the 1994 Northridge earthquake, structural engineers believed that welded steel moment-resisting frame building would provide outstanding performance in earthquakes, exhibiting ductile behavior and resisting very strong ground motions without substantial degradation of their structural capacity. However, the discovery of brittle fracture damage in many steel moment frame buildings after the earthquake revealed substantial misunderstanding the ways engineers previously designed and constructed such steel structures. The research presented herein focused on investigating behavior of the beam-column connection constructed by Thai practice using finite element analysis. First, the finite element (FE) model of welded unreinforced flanges-bolted web beam-column connection (ExBSp1C) was developed and analyzed. The inelastic analysis results of ExBSp1C model included material nonlinearity and cyclic loading scheme were verified with an available full-scale connection tested at the University of Michigan. Guided by ExBSp1C model, a new FE model representing a connection constructed by Thai practice with fully welded beam to column (ExTSp1C) was developed. The FE analysis of this connection was aimed to investigate behavior and potential of such a type of the beam-column connection subjected to an earthquake.

The analytical results of ExBSp1C model showed excellent agreement with the experiment, globally and locally. The high von-Mises stress regions exceptionally matched yielding areas of the tested specimen. Based on the analytical results, ExTSp1C model indicated better behavior than the other model in terms of strength and behavior. Therefore, it can lead to conclude that the connection with fully welded beam to column may perform better than the US typical detailed connection during earthquake.

Keywords: Beam-Column Connection, Finite Element Model, Finite Element Analysis, Welded Unreinforced Flanges-Bolted Web Connection, Fully Welded Connection

# กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัย เรื่องการศึกษาความพร้อมองค์อาคารข้อต่อคาน-เสาเหล็กในประเทศไทยเพื่อรับแรงแผ่นดินไหว ได้รับทุนสนับสนุนโครงการวิจัยนวัตกรรมเพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชนฐานราก ประจำปีงบประมาณ 2550 สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา ผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ. ที่นี้

# สารบัญ


| | หน้า |
|---|---|
| บทคัดย่อภาษาไทย | ก |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | ข |
| กิตติกรรมประกาศ | ค |
| สารบัญ | ง |
| สารบัญตาราง | ช |
| สารบัญรูป | ฌ |
| **บทที่ 1 บทนำ** | |
| 1.1 ความเป็นมาและแรงจูงใจในการทำงานวิจัย | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย | 3 |
| 1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย | 3 |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ | 4 |
| **บทที่ 2 ข้อต่อคาน-เสาเหล็กและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง** | |
| 2.1 บทนำ | 5 |
| 2.2 ข้อต่อคาน-เสาเหล็กแบบถ่ายโมเมนต์ชนิด Welded Unreinforced Flanges-Bolted Web | 5 |
| 2.3 ข้อต่อคาน-เสาเหล็กที่ก่อสร้างในประเทศไทย | 8 |
| 2.4 รูปแบบความเสียหายของข้อต่อคาน-เสาเหล็กชนิด Welded Unreinforced Flanges-Bolted Web | 9 |

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับข้อต่อคาน-เสาเหล็ก 12

**บทที่ 3 การพัฒนาแบบจำลองไฟไนอิลิเมนต์ของข้อต่อคาน-เสาเหล็ก**

3.1 บทนำ 18

3.2 ไดอะแกรมโมเมนต์ดัดของโครงข้อแข็งเหล็กเมื่อรับแรงกระทำด้านข้าง 18

3.3 ชิ้นส่วนย่อยแบบแผ่นบาง (Shell Element) 20

3.4 ความสัมพันธ์ของความเค้น (Stress) กับความเครียด (Strain) 21
ของเหล็กที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง

3.5 การจำลองแรงกระทำแบบสลับทิศ (แรงวัฏจักร) 21

3.6 คุณสมบัติการยึดรั้งที่ปลายเสาด้านบนและล่าง 23

3.7 ค่าต่างๆ ที่ใช้ในการประเมินผลการวิเคราะห์แบบจำลองไฟไนอิลิเมนต์ 23

3.8 การประเมินพฤติกรรมของแบบจำลองข้อต่อคาน-เสาเหล็ก 23

3.9 การสร้างแบบจำลองไฟไนอิลิเมนต์ 25

**บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ไฟไนอิลิเมนต์ข้อต่อชนิด Welded Unreinforced Flanges-Bolted Web (ExBSh1C)**

4.1 บทนำ 28

4.2 ข้อต่อคาน-เสาชนิด Welded Unreinforced Flanges-Bolted Web ทดสอบ 28
ที่มหาวิทยาลัยแห่งรัฐมิชิแกน และแบบจำลองไฟไนอิลิเมนต์ ExBSh1C

4.3 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์แบบจำลองไฟไนอิลิเมนต์กับ 31
ผลการทดสอบชิ้นงาน

4.4 การวิเคราะห์พฤติกรรมองค์รวมของแบบจำลอง ExBSh1C 35

4.5 การวิเคราะห์พฤติกรรมองค์ประกอบย่อยของแบบจำลอง ExBSh1C 38

**บทที่ 5 ผลการวิเคราะห์ไฟไนอิลิเมนต์ข้อต่อชนิดก่อสร้างในประเทศไทย (ExTSh1C)**

5.1 บทนำ 48

5.2 แบบจำลองไฟไนอิลิเมนต์ข้อต่อคาน-เสา ชนิดที่มีรายละเอียด 48
ตามการก่อสร้างในประเทศไทย (ExTSh1C)

5.3 การวิเคราะห์พฤติกรรมองค์รวมของแบบจำลอง ExTSh1C 50

5.4 การวิเคราะห์พฤติกรรมองค์ประกอบย่อยของแบบจำลอง ExTSh1C 53

**บทที่ 6 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ** 61

**เอกสารอ้างอิง** 63

# สารบัญตาราง


| | | หน้า |
|---|---|---|
| ตารางที่ 3.1 | ขนาดคาน-เสาและลักษณะสำคัญของแบบจำลองไฟไนอิลิเมนต์ | 27 |
| ตารางที่ 4.1 | แสดงขนาดหน้าตัดคานและเสาที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง ExBSh1C | 30 |
| ตารางที่ 4.2 | ค่าความเค้น von-Mises สูงสุดและตำแหน่งที่เกิด สภาวะ 1-6 ของแบบจำลอง ExBSh1C | 38 |
| ตารางที่ 4.3 | ค่าความเค้น von-Mises สูงสุด บริเวณ Access Hole ของแบบจำลอง ExBSh1C | 39 |
| ตารางที่ 4.4 | ค่าความเค้น von-Mises สูงสุด บนแผ่น Shear Tab ของแบบจำลอง ExBSh1C | 42 |
| ตารางที่ 4.5 | ค่าความเค้น von-Mises สูงสุด บนแผ่น Continuity Plate และปีกคานบนของแบบจำลอง ExBSh1C | 44 |
| ตารางที่ 4.6 | ค่าความเค้น von-Mises สูงสุด ในแผ่น Panel Zone ของแบบจำลอง ExBSh1C | 46 |
| ตาราง 5.1 | สรุปค่าความเค้น von-Mises และตำแหน่งที่เกิดตามสภาวะ 1-6 ของแบบจำลอง ExTSh1C | 50 |
| ตารางที่ 5.2 | ค่าความเค้น von-Mises สูงสุด ใต้ปีกคานบน ของแบบจำลอง ExTSh1C | 53 |
| ตารางที่ 5.3 | ค่าความเค้น von-Mises สูงสุด บนแผ่นเอวคานติดกับหน้าเสาของแบบจำลอง ExTSh1C | 55 |
| ตารางที่ 5.4 | ค่าความเค้น von-Mises สูงสุด ในแผ่น Continuity Plate | 57 |

และปีกคานบนของแบบจำลอง ExTSh1C

ตารางที่ 5.5 ค่าความเค้น von-Mises สูงสุด ในแผ่น Panel Zone 59

ของแบบจำลอง ExTSh1C

# สารบัญรูป


| | | หน้า |
|---|---|---|
| รูปที่ 2.1 | รูปข้อต่อแบบถ่ายโมเมนต์ของเสาต้นใน (Interior Column) | 6 |
| รูปที่ 2.2 | รูปข้อต่อแบบถ่ายโมเมนต์ของเสาต้นริม (Exterior column) | 8 |
| รูปที่ 2.3 | แสดงจุดต่อระหว่างคาน-เสา ที่นิยมใช้ในประเทศไทย | 9 |
| รูปที่ 2.4 | รูปแบบความเสียหายที่เกิดขึ้นในบริเวณข้อต่อของโครงสร้างเหล็กแบบถ่ายโมเมนต์ [7] | 10 |
| รูปที่ 2.5 | รูปแบบรอยแตกที่เกิดขึ้นกับข้อต่อคาน-เสาในโครงข้อแข็งเหล็ก [6] | 12 |
| รูปที่ 2.6 | การไหลของความเค้นสูงสุดบริเวณข้อต่อคาน-เสาจากการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนอิลิเมนต์ [14] | 13 |
| รูปที่ 2.7 | การกระจายตัวของความเค้นเฉือนในแผ่น Shear Tab วิเคราะห์ด้วยวีธีไฟไนอิลิเมนต์ [14] | 14 |
| รูปที่ 2.8 | ปริมาณแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในปีกคานและแผ่น Shear Tab บริเวณข้อต่อ จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนอิลิเมนต์ [14] | 14 |
| รูปที่ 2.9 | พฤติกรรมการรับแรงสลับทิศของข้อต่อคาน-เสาชนิด Pre-Northridge [10] | 15 |
| รูปที่ 3.1 | โครงข้อแข็งเหล็กเมื่อมีการรับแรงแผ่นดินไหว | 19 |
| รูปที่ 3.2 | ชิ้นส่วนย่อยแบบแผ่นบาง (Shell Element) | 20 |
| รูปที่ 3.3 | ความสัมพันธ์ของความเค้น (Stress) กับความเครียด (Strain) ของวัสดุที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง | 21 |
| รูปที่ 3.4 | ลักษณะการใส่แรงวัฏจักรจำลองกับแบบจำลองไฟไนอิลิเมนต์ของเสาต้นริม | 22 |

รูปที่ 3.5 แรงวัฏจักรจำลองสำหรับการทดสอบชิ้นงานขนาดใหญ่ เมื่อรับแรงแผ่นดินไหว (SAC 1997) 22

รูปที่ 3.6 แสดงบริเวณจุดเชื่อมต่อระหว่างคาน-เสา ที่ใช้แสดงพฤติกรรมองค์รอบของแบบจำลอง 24

รูปที่ 3.7 แสดงองค์ประกอบย่อยของข้อต่อคาน-เสาที่ใช้แสดงพฤติกรรม องค์ประกอบย่อยของแบบจำลอง 24

รูปที่ 3.8 ลักษณะแบบจำลองไฟไนอิลิเมนต์แบบเท่าขนาดจริง (Full Model) 25

รูปที่ 3.9 รายละเอียดที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองไฟไนอิลิเมนต์ชนิด Welded Unreinforced Flanges-Bolted Web ของเสาต้นริม 26

รูปที่ 3.10 รายละเอียดที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองชนิดก่อสร้างในประเทศ 26

รูปที่ 3.11 แสดงชื่อแบบจำลองไฟไนอิลิเมนต์ที่ใช้ในการศึกษา 27

รูปที่ 4.1 แสดงขนาดและการติดตั้งชิ้นงานที่ทดสอบที่มหาวิทยาลัยแห่งรัฐมิชิแกน 30

รูปที่ 4.2 แบบจำลองไฟไนอิลิเมนต์ ExBSh1C 31

รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงตอบสนองที่ตำแหน่งปลายคาน กับระยะเคลื่อนที่ของปลายคาน 32

รูปที่ 4.4 แสดงค่าความเค้น von-Mises ของแบบจำลองExBSh1C และรูปถ่ายจากการทดสอบที่ระยะปลายคานเคลื่อนที่เท่ากับ 4.27 นิ้ว 34

รูปที่ 4.5 แรงตอบสนองที่ปลายคานกับระยะเคลื่อนที่ของปลายคาน ที่สภาวะ 1-6 ของแบบจำลอง ExBSh1C 36

รูปที่ 4.6 แสดงค่าความเค้น von-Mises ที่สภาวะ 1-6 ของแบบจำลอง ExBSh1C 37

รูปที่ 4.7 แสดงค่าความเค้น von-Mises ที่บริเวณ Access Hole ที่สภาวะ 1-6 ของแบบจำลอง ExBSh1C 40

รูปที่ 4.8 แสดงลักษณะการแตกของปีกคานด้านผิวบน ที่บริเวณ Access Hole ของชิ้นงานทดสอบ 41

รูปที่ 4.9 แสดงค่าความเค้น von-Mises บนแผ่น Shear Tab ที่สภาวะ 1-6 ของแบบจำลอง ExBSh1C 43

รูปที่ 4.10 แสดงค่าความเค้น von-Mises ในแผ่น Continuity Plate และปีกคานบนติดกับหน้าเสา ที่สภาวะ 1-6 ของแบบจำลอง ExBSh1C 45

รูปที่ 4.11 แสดงค่าความเค้น von-Mises ในแผ่น Panel Zone ที่สภาวะ 1-6 ของแบบจำลอง ExBSh1C 47

รูปที่ 5.1 แบบจำลองไฟไนอิลิเมนต์ ExTSh1C 49

รูปที่ 5.2 แรงตอบสนองที่ปลายคานกับระยะเคลื่อนที่ของปลายคาน ที่สภาวะ 1-6 ของแบบจำลอง ExTSh1C 51

รูปที่ 5.3 แสดงค่าความเค้น von-Mises ที่สภาวะ 1-6 ของแบบจำลอง ExTSh1C 52

รูปที่ 5.4 แสดงค่าความเค้น von-Mises ใต้ปีกคานบนที่สภาวะ 1-6 ของแบบจำลอง ExTSh1C 54

รูปที่ 5.5 แสดงค่าความเค้น von-Mises บนแผ่นเอวคานติดกับหน้าเสา ที่สภาวะ 1-6ของแบบจำลอง ExTSh1C 56

รูปที่ 5.6 แสดงค่าความเค้น von-Mises ในแผ่น Continuity Plate และปีกคานบน ของแบบจำลอง ExTSh1C ติดกับหน้าเสาที่สภาวะ 1-6 58

รูปที่ 5.7 แสดงค่าความเค้น von-Mises ในแผ่น Panel Zone ที่สภาวะ 1-6 ของแบบจำลอง ExTSh1C 60