

## บทที่ 2

### ข้อต่อคาน-เสาเหล็กและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 บทนำ

สำหรับโครงสร้างทุกประเภทที่ออกแบบให้รับแรงที่เกิดจากแผ่นดินไหว ข้อกำหนดที่สำคัญคือการยึดต่อองค์ประกอบทุกส่วนให้ทำหน้าที่เป็นหนึ่งเดียวและที่สำคัญที่สุดก็คือรอยต่อและข้อต่อระหว่างองค์ประกอบหลักของโครงสร้าง เช่น คาน เสา เป็นต้น จึงเป็นสิ่งจำเป็นที่ข้อต่อจะต้องมีประสิทธิภาพมากกว่าความสามารถในการรับแรงขององค์ประกอบหลักของโครงสร้างเพื่อให้การถ่ายเทแรงไปสู่โครงสร้างหลักได้อย่างมีประสิทธิภาพ การป้องกันการพังทลายของโครงสร้างขณะเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ จะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติขององค์ประกอบหลักและส่วนของข้อต่อ ซึ่งข้อต่อจะต้องแข็งแรงเพียงพอที่จะรับแรงที่เกิดขึ้น โดยแรงที่ใช้ในการออกแบบข้อต่อมีดังนี้ แรงเฉือน แนวนอน แรงตามแนวแกน แรงคดและบิด ส่วนการถ่ายแรงเฉือนสู่องค์ประกอบของโครงสร้างและส่วนข้อต่อจะต้องกระทำให้อยู่ที่ถูกต้อง และให้สอดคล้องกับสมมติฐานของการกระจายแรง

#### 2.2 ข้อต่อคาน-เสาเหล็กแบบถ่ายโมเมนต์ชนิด Welded Unreinforced Flanges-Bolted Web

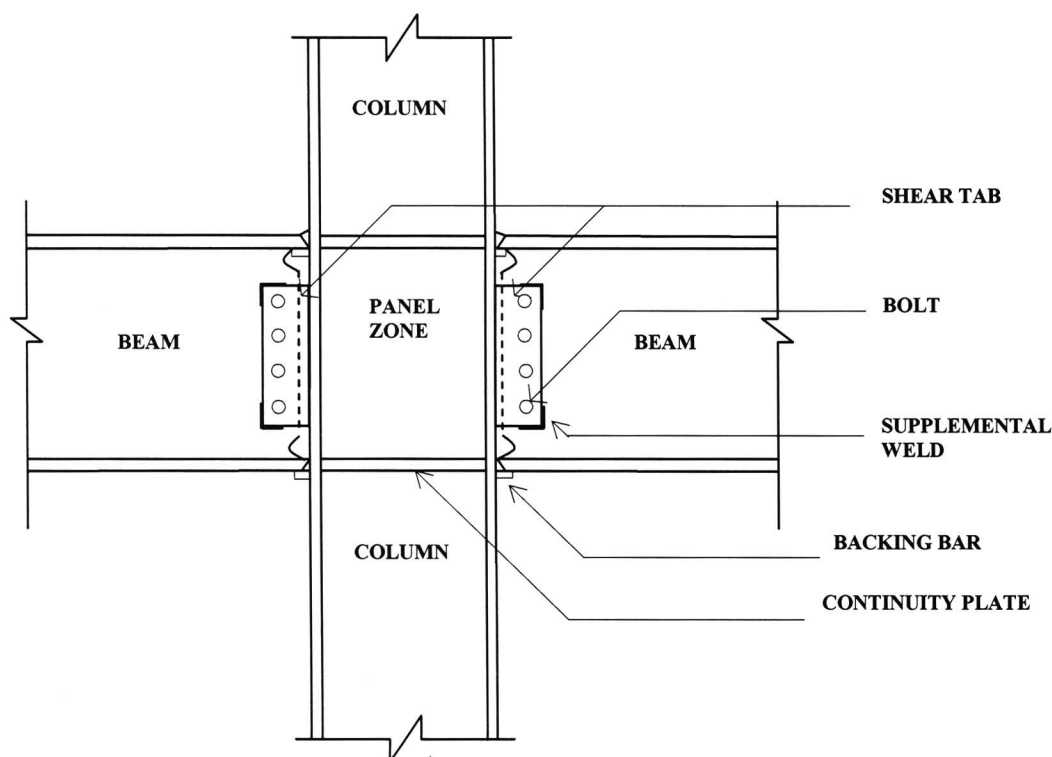
มาตรฐานการออกแบบ AISC ปี 2005 สำหรับโครงข้อแข็งรับแรงแผ่นดินไหว (AISC Seismic Provision 2005) ได้กำหนดให้โครงข้อแข็งแบบพิเศษ (SMF) ต้องมีความสามารถรองรับการหมุนได้อย่างน้อย 0.04 radians ส่วนโครงข้อแข็งแบบกลาง (IMF) จะต้องหมุนได้อย่างน้อย 0.02 radians และ 0.01 radians สำหรับโครงข้อแข็งแบบธรรมดา (OMF) ทั้งนี้สำหรับโครงข้อแข็งแบบธรรมดานี้ AISC ได้กำหนดให้พฤติกรรมขององค์อาคารอยู่ในช่วงอีลาสติกเท่านั้นหรือมีช่วงอินอีลาสติกน้อยมาก จึงได้กำหนดการหมุนของข้อต่อไว้เพียง 0.01 radians เท่านั้น ข้อกำหนดเหล่านี้เป็นไปตามผลการศึกษาของ SAC ซึ่งตีพิมพ์ในเอกสาร FEMA 350 ผู้อ่านสามารถหาข้อมูลเพิ่มเติมได้จากหนังสืออ้างอิง [5, 8] นอกจากนี้ ทั้ง FEMA 350 และมาตรฐานการออกแบบ AISC 2005 ได้กำหนดชนิดข้อต่อที่สามารถนำมาใช้ในโครงข้อแข็งชนิดต่างๆ ไว้ด้วย ในรายงานของ FEMA 350 ได้กำหนดชนิดข้อต่อที่เหมาะสม (Prequalified Connections) โดยมีรายละเอียดดังนี้

- 1) ชนิด Welded Unreinforced Flanges-Bolted Web ใช้ได้กับโครงข้อแข็งแบบกลาง
- 2) ชนิด Welded Unreinforced Flanges-Welded Web ใช้ได้กับโครงข้อแข็งแบบกลางและพิเศษ

- 3) ชนิด Free Flange ใช้ได้กับ โครงข้อแข็งแบบกลาง และพิเศษ
- 4) ชนิด Reduced Beam Section ใช้ได้กับ โครงข้อแข็งแบบกลาง และพิเศษ
- 5) ชนิด Welded Flange Plate ใช้ได้กับ โครงข้อแข็งแบบกลาง และพิเศษ

อย่างไรก็ตาม มาตรฐานการออกแบบ AISC ได้กำหนดเฉพาะข้อต่อชนิด Reduced Beam Section ไว้ใน มาตรฐานปี 2005 เท่านั้น มิได้รับเอาข้อเสนอแนะทั้งหมดจาก FEMA 350 มาไว้ในมาตรฐานสำหรับ โครงข้อแข็งเหล็กชนิด Welded Fully Restrained Connection Types

สำหรับการศึกษาในส่วนการพัฒนาแบบจำลองไฟไนติเมนต์ ผู้วิจัยจะทำการศึกษาข้อต่อชนิด Welded Unreinforced Flanges-Bolted Web ซึ่งถูกระบุโดย AISC ให้ใช้ได้กับ โครงข้อแข็งแบบกลาง สาเหตุที่มุ่งการศึกษาไปที่ข้อต่อชนิดนี้เพราะ ผู้วิจัยมีผลการทดสอบชิ้นงานขนาดใหญ่ข้อต่อประเภทนี้ จึงทำให้สามารถเปรียบเทียบผลความถูกต้องของแบบจำลองไฟไนติเมนต์ ได้ดีกว่าข้อต่อประเภท อื่นๆ จากนั้นเมื่อได้แบบจำลองที่ถูกต้องแล้ว ก็จะสามารถปรับแบบจำลองนี้ให้มีรายละเอียดบริเวณข้อ ต่อคาน-เสาให้ใกล้เคียงกับรายละเอียดการก่อสร้างในประเทศไทย และทำการวิเคราะห์แบบจำลองใหม่ ต่อไป รายละเอียดของข้อต่อชนิด Welded Unreinforced Flanges-Bolted Web มีดังนี้



รูปที่ 2.1 รูปข้อต่อแบบถ่ายโมเมนต์ของเสาด้านใน (Interior Column)

รูปที่ 2.1 แสดงข้อต่อแบบถ่ายโมเมนต์ชนิด Welded Unreinforced Flanges-Bolted Web ของเสาต้นใน (Interior column) ของโครงสร้างเหล็กตามมาตรฐานการออกแบบ AISC 2005 ซึ่งเป็นข้อต่อที่ต่อระหว่างเสาและคาน 2 ชั้น ในลักษณะสมมาตรด้านซ้ายและขวา จากรูปแสดงส่วนประกอบของข้อต่อซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

Column คือ เสาเหล็กซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของโครงสร้าง โดยทั่วไปจะเป็นแบบ W Shapes สำหรับประเทศสหรัฐอเมริกา

Beam คือ คานเหล็ก เป็นองค์ประกอบหลักของโครงสร้างเช่นเดียวกับ Column

Shear Tab คือ แผ่นประกบรับแรงเฉือน ซึ่งเป็นแผ่นเหล็กที่เชื่อมติดกับส่วนปีกของเสา ใช้ยึดส่วนของโครงสร้างโดยเป็นส่วนสำคัญในการรับแรงเฉือนในแนวตั้งของข้อต่อ

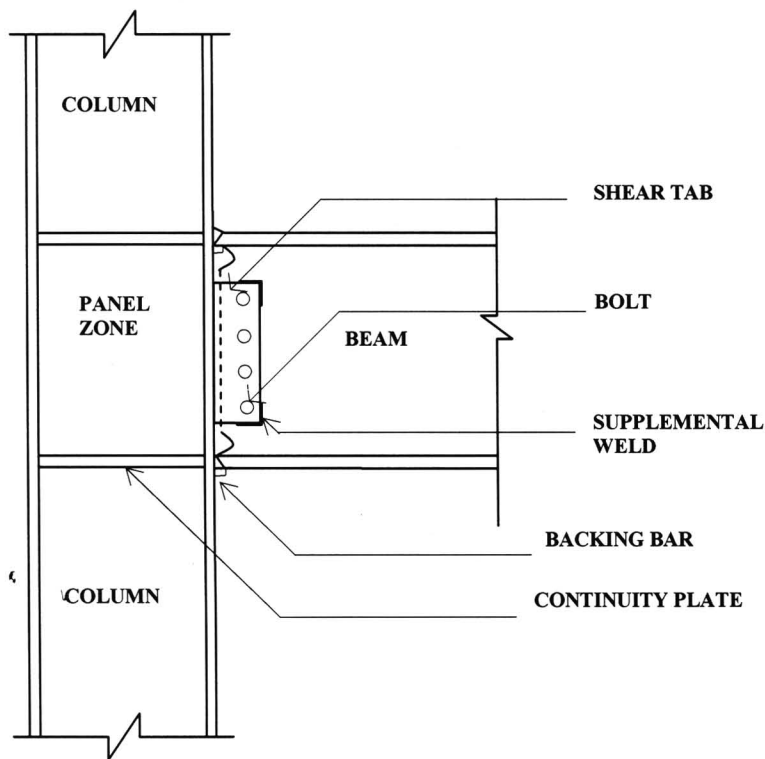
Bolt เป็นสลักเกลียวเหล็กที่ใช้ยึด Shear Tab เข้ากับคาน ขนาดของ Bolt จะขึ้นอยู่กับมาตรฐานของการออกแบบ

Continuity Plate คือแผ่นเหล็กที่อยู่ระหว่างปีกของเสา ซึ่งทำหน้าที่ถ่ายแรงจากคานเข้าสู่ส่วนแผ่นตั้งของเสา (Web)

Backing Bar คือแผ่นเหล็กที่ใช้ปิดเข้ากับรอยเชื่อมระหว่างส่วนปีกของคานและส่วนปีกของเสา

Access Hole คือ บริเวณที่ปลายแผ่นเอวของคานด้านบนและล่างที่ถูกคว้านออกเป็นรู เพื่อให้สะดวกต่อการเชื่อม

Supplemental Weld คือรอยเชื่อมเพื่อเสริมความแข็งแรงของจุดต่อระหว่าง Shear Tab และแผ่นตั้งของคาน

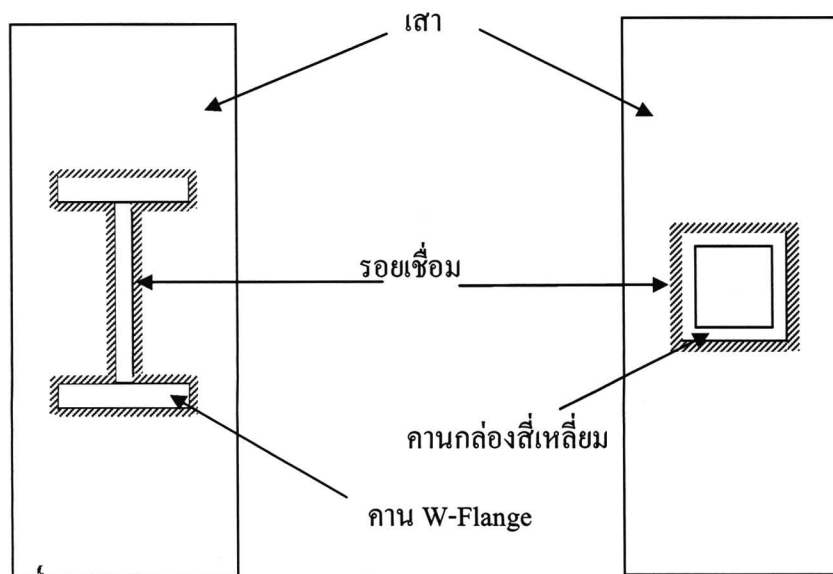


รูปที่ 2.2 รูปข้อต่อแบบถ่ายโมเมนต์ของเสาต้นริม (Exterior column)

รูปที่ 2.2 แสดงข้อต่อแบบถ่ายโมเมนต์ชนิด Welded Unreinforced Flanges-Bolted Web ของเสาต้นริม (Exterior column) ซึ่งมีองค์ประกอบของข้อต่อเหมือนกับข้อต่อของเสาต้นใน (Interior column) ดังกล่าวข้างต้น แต่มีส่วนที่แตกต่างคือองค์ประกอบของโครงสร้างหลัก กล่าวคือจะมีคานเพียงด้านเดียวที่ต่อเข้ากับเสา ดังนั้นจึงเป็นข้อต่อที่ไม่สมมาตรด้วยองค์ประกอบหลัก ซึ่งข้อต่อในลักษณะนี้ จะถูกนำมาสร้างเป็นแบบจำลองสำหรับการศึกษาโครงงานนี้

## 2.3 ข้อต่อคาน-เสาเหล็กที่ก่อสร้างในประเทศไทย

จากการรวบรวมข้อมูลการก่อสร้างโครงเหล็กในประเทศไทย เบื้องต้นพบข้อมูลว่า บริเวณจุดต่อระหว่างคาน-เสานี้ วิศวกรโยธามักนิยมออกแบบโดยใช้การเชื่อมต่อด้วยวัสดุเชื่อมเป็นหลัก โดยนิยมใช้รอยเชื่อมรอบบริเวณเส้นรอบรูปคานดังแสดงในรูปที่ 2.3

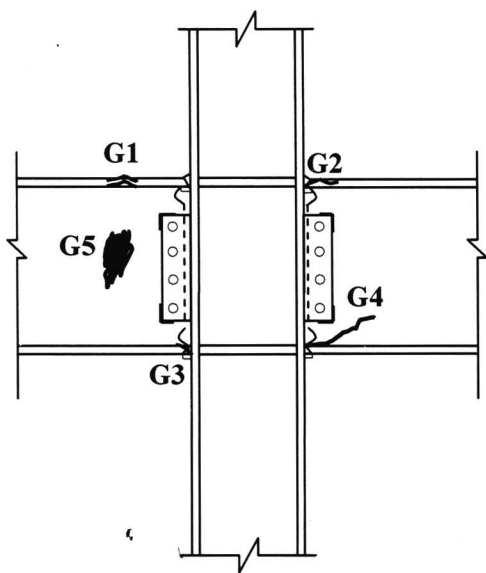


รูปที่ 2.3 แสดงจุดต่อระหว่างคาน-เสา ที่นิยมใช้ในประเทศไทย

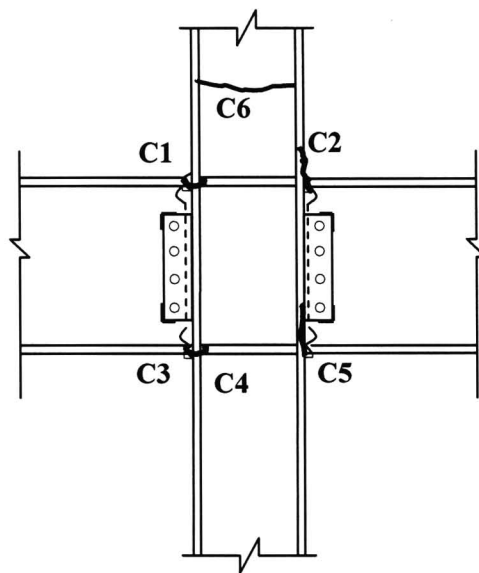
ดังนั้นจะเห็นได้ว่า คานสามารถส่งผ่าน โมเมนต์ไปสู่เสาได้ ดังนั้นจึงถือว่าข้อต่อคาน-เสาเหล็กที่ก่อสร้างในประเทศไทย เป็นข้อต่อแบบถ่ายโมเมนต์ประเภทหนึ่ง เบื้องต้นจะเห็นว่า ข้อต่อคาน-เสาเหล็กในประเทศไทยนั้น มีลักษณะใกล้เคียงกับข้อต่อคาน-เสาเหล็กชนิด Welded Unreinforced Flanges-Bolted Web มาก จะแตกต่างกันตรงบริเวณแผ่นเอวของคาน ที่ข้อต่อในประเทศไทยจะไม่มี การใช้แผ่นปะกับรับแรงเฉือน (Shear Tab) และการใส่น็อต แต่จะเป็นการเชื่อมแผ่นเอวของคานเข้ากับหน้าเสาโดยตรง

## 2.4 รูปแบบความเสียหายของข้อต่อคาน-เสาเหล็กชนิด Welded Unreinforced Flanges-Bolted Web

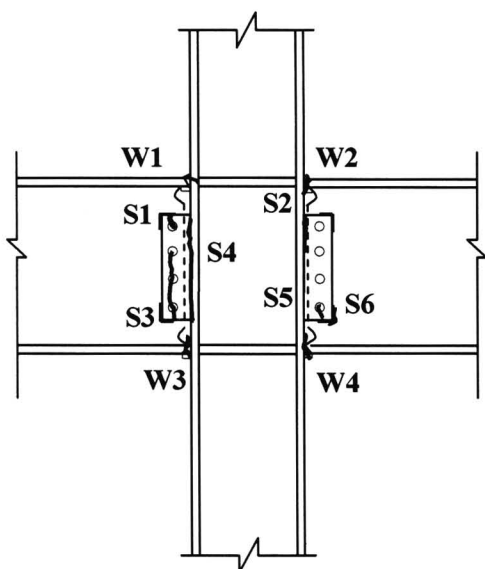
จากการศึกษา รูปแบบความเสียหายของข้อต่อหลังจากเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวครั้งใหญ่ เมื่อปี ค.ศ. 1994 ที่เมือง Northridge ประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่ารูปแบบความเสียหายของข้อต่อเหล็กแบบถ่ายโมเมนต์สามารถจำแนกโดยละเอียดได้ดังรูปที่ 2.4



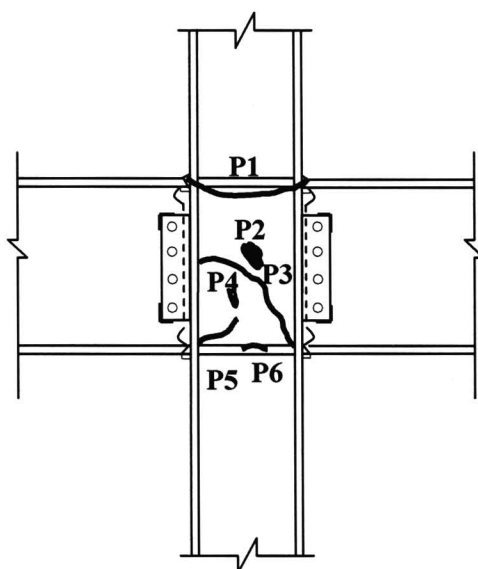
(ก) Girder Damage



(ข) Column Flange Damage



(ค) Weld and Shear Tab Damage



(ง) Panel Zone Damage

รูปที่ 2.4 รูปแบบความเสียหายที่เกิดขึ้นในบริเวณข้อต่อของโครงสร้างเหล็กแบบถ่ายโมเมนต์ [7]

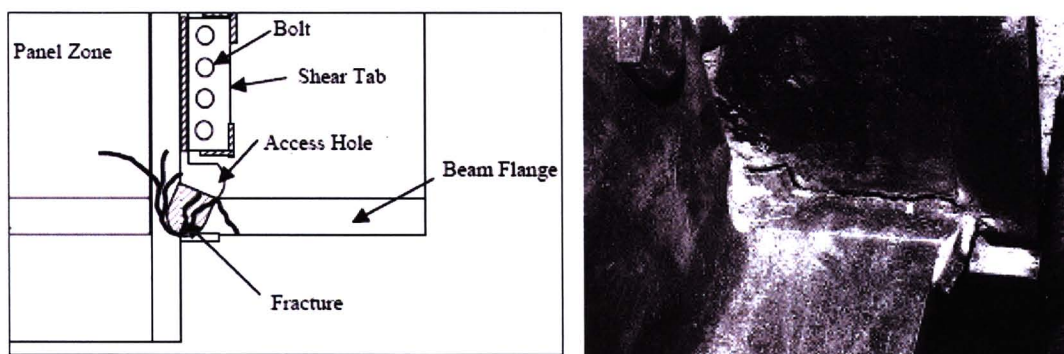
รูปที่ 2.4 สามารถอธิบายลักษณะรูปแบบความเสียหายได้ดังนี้

- 1) Girder Damage เป็นรูปแบบความเสียหายที่เกิดขึ้นกับส่วนของคาน โดยมีรายละเอียดดังนี้ จุด G1 เกิดการคดงอในส่วนปีกของคาน จุด G2 การฉีกแตกในส่วนปีกบนของคานใกล้ๆกับรอยเชื่อม จุด G3 การฉีกแตกในส่วนปีกล่างของคานใกล้ๆกับรอยเชื่อม จุด G4 การฉีกแตกในแผ่นตั้งของคาน จุด G5 การบิดงอในส่วนแผ่นตั้งของคาน
- 2) Column Flange Damage เป็นรูปแบบความเสียหายที่เกิดขึ้นกับส่วนปีกของเสา โดยมีรายละเอียดดังนี้ จุด C1 การฉีกขาดในส่วนปีกของเสาใกล้ๆรอยเชื่อมกับปีกบนของคาน จุด C2 การฉีกแตกในส่วนปีกของเสาใกล้ๆรอยเชื่อมกับปีกบนของคาน จุด C3 การฉีกแตกในส่วนปีกของเสาใกล้ๆรอยเชื่อมกับปีกล่างของคาน จุด C4 การฉีกขาดในส่วนปีกของเสาใกล้ๆรอยเชื่อมกับปีกล่างของคาน จุด C5 การฉีกขาดในส่วนปีกของเสาใกล้ๆรอยเชื่อมกับปีกล่างของคาน จุด C6 การฉีกแตกเป็นแนวยาวของส่วนปีกถึงอีกปีกของเสา
- 3) Weld and Shear Tab Damage เป็นรูปแบบความเสียหายที่เกิดกับส่วนรอยเชื่อมและส่วนแผ่นประทับรับแรงเฉือน โดยมีรายละเอียดดังนี้ จุด W1, W2, W3 และ W4 เป็นการฉีกแตกของรอยเชื่อมระหว่างส่วนปีกของเสาและส่วนปีกของคาน จุด S1 การฉีกแตกที่ขอบบนของแผ่นประทับที่ติดกับแผ่นตั้งของคาน จุด S2 และ S4 การฉีกแตกเป็นแนวยาวของแผ่นประทับในส่วนที่ติดกับปีกของเสา จุด S3 การฉีกแตกจากส่วนล่างของแผ่นประทับเข้าหารูของสลักเกลียวและจารูของสลักเกลียวถึงอีกรูที่อยู่ติดกัน จุด S5 การฉีกขาดของสลักเกลียว และจุด S6 การฉีกแตกในส่วนรอยเชื่อมเสริมของแผ่นประทับรับแรงเฉือน
- 4) Panel Zone Damage เป็นรูปแบบความเสียหายที่เกิดกับส่วน Panel Zone โดยมีรายละเอียดดังนี้ จุด P1 การฉีกขาดเป็นแนวยาวจากส่วนปีกของเสาผ่านแผ่นตั้งและเข้าหาอีกปีกหนึ่งของเสา จุด P2 การหักงอในส่วนแผ่นตั้งของเสา จุด P3 การฉีกขาดเป็นแนวยาวในส่วนแผ่นตั้งของเสา จุด P4 การฉีกขาดเป็นบางส่วนของแผ่นตั้งของเสา จุด P5 การฉีกแตกเป็นแนวยาวจากรอยเชื่อมที่มุมของแผ่นตั้งในส่วนของเสา และจุด P6 การโก่งงอเพียงบางส่วนของแผ่นคอนทิวนิตี

(Continuity Plates)

โดยสรุปรอยแตกที่เกิดขึ้นเป็นรอยแตกแบบเปราะ โดยส่วนใหญ่จะเกิดที่บริเวณจุดเชื่อมต่อระหว่างคานและเสา โดยรอยแตกจะมีลักษณะที่คล้ายกันคือ มีจุดเริ่มต้นของการแตกที่ฐานของรอยเชื่อมกับ Backing Bar จากนั้นรูปแบบรอยแตกจะกระจายตัวออกผ่านปีกเสาเข้าสู่แผ่นเอวของเสา หรือบางรูปแบบจากจุดเริ่มต้นของรอยแตกอาจจะกระจายตัวตลอดฐานของรอยเชื่อมดังแสดงในรูปที่ 2 อาจกล่าวโดยสรุปได้ว่ารอยแตกนี้มีรูปแบบไม่แน่นอน อย่างไรก็ตามที่สรุปได้คือ รอยแตกจะมีจุดเริ่มจาก

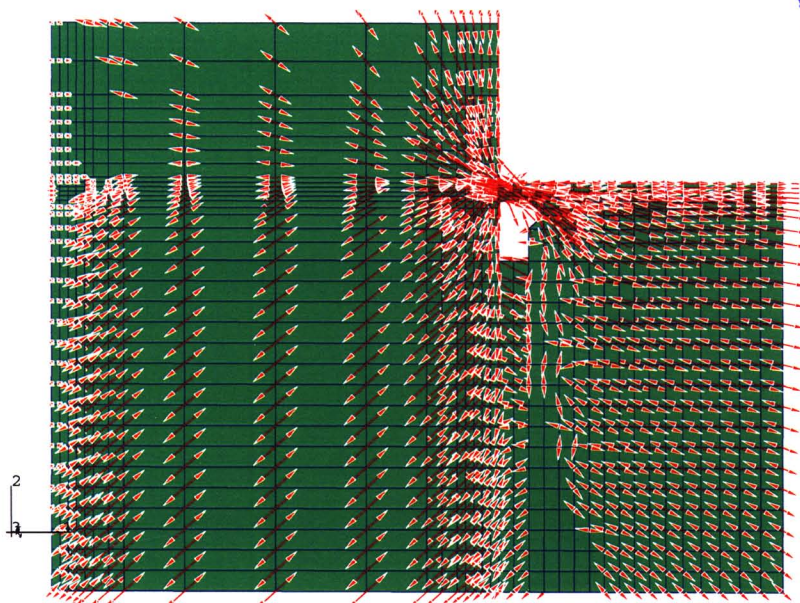
ฐานของรอยเชื่อมและ Backing Bar และรอยแตกที่พบมากอีกหนึ่งรูปแบบคือ รอยแตกของปีกคาน ซึ่ง มีจุดเริ่มต้นจากปลายของ Access Hole เข้าสู่ฐานรอยเชื่อม หรือผ่านความหนาของปีกคาน



รูปที่ 2.5 รูปแบบรอยแตกที่เกิดขึ้นกับข้อต่อคาน-เสาในโครงข้อแข็งเหล็ก [6]

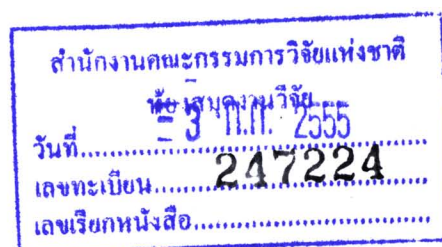
## 2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับข้อต่อคาน-เสาเหล็ก

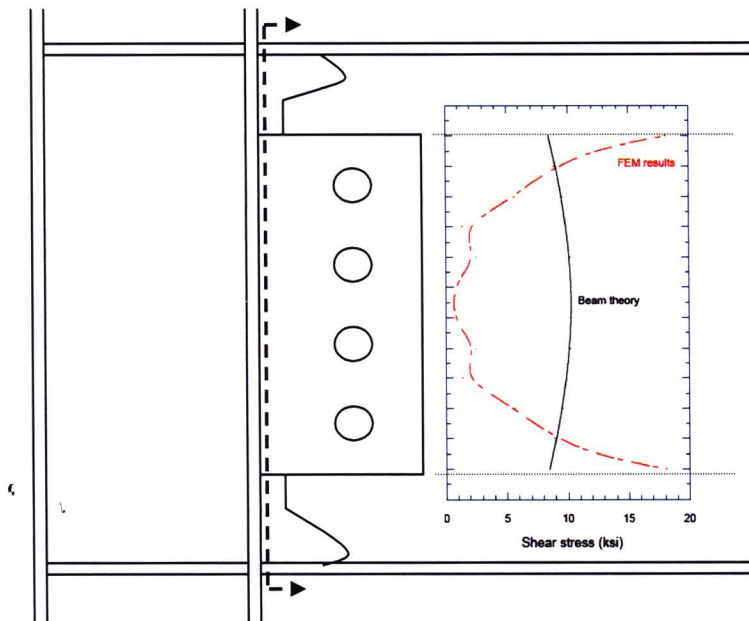
จากการศึกษาของโครงการ SAC Joint Venture ช่วงที่ 1 และ 2 สรุปว่า รอยแตกที่เกิดขึ้นนั้น เป็นแบบเปราะ และเกิดได้จากหลายสาเหตุเช่น คุณภาพของการเชื่อม คุณภาพของวัสดุเชื่อม Backing Bar และอื่นๆ ที่บริเวณฐานของรอยเชื่อมระหว่าง Backing Bar และปีกเสาจะเกิดช่องว่างเล็กๆ ขึ้น เมื่อ ช่างเชื่อมขาดความระมัดระวังจะทำให้เกิดการตกค้างของ Slag ซึ่งรอยแตกมักจะเริ่มต้นจากจุดนี้ จากการศึกษาด้วยวิธีไฟ-ไนโอลิเมนต์พบว่า จะมีความเค้นสูงสุดไหลผ่านจากคานสู่เสาโดยผ่านที่ตำแหน่งนี้ มากที่สุดแสดงในรูปที่ 2.6 จากรูปแสดงอย่างชัดเจนว่า มีความเค้นสูงสุดไหลผ่านเข้าสู่เสาที่บริเวณปีกคานสูงมากเมื่อเทียบกับบริเวณแผ่น Shear Tab ดังนั้นถ้าจะเกิดรอยแตกจะต้องเกิดขึ้นที่บริเวณนี้ก่อน นอกจากนี้ยังพบว่าตามสมมุติฐานที่วิศวกรใช้ในการออกแบบ คือ แผ่น Shear Tab จะทำหน้าที่รับแรงเฉือนส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้น และจะมีแรงเฉือนเพียงส่วนน้อยที่เกิดขึ้นในปีกคานตรงบริเวณรอยต่อนี้ โดยเป็นไปตามทฤษฎีของคาน (Beam Theory) อย่างไรก็ตาม ผลจากการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนโอลิเมนต์ แสดงให้เห็นว่ามีแรงเฉือนจำนวนมากเกิดขึ้นในปีกคาน ซึ่งอาจมีค่าสูงได้ถึงมากกว่า 60% ของแรงเฉือนทั้งหมดที่เกิดขึ้นที่หน้าตัดตรงบริเวณนี้ นั่นหมายความว่าแผ่น Shear Tab จะรับแรงเฉือนเพียง 40% แสดงให้เห็นว่าปีกคานที่บริเวณนี้ต้องแบกรับแรงเฉือนที่วิศวกรมิได้คำนวณไว้ก่อน ซึ่งแรงเฉือนจำนวนนี้อาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดความเค้นสูงสุดที่บริเวณปีกคานมากที่สุด และนำไปสู่การเกิดรอยแตกขึ้นได้



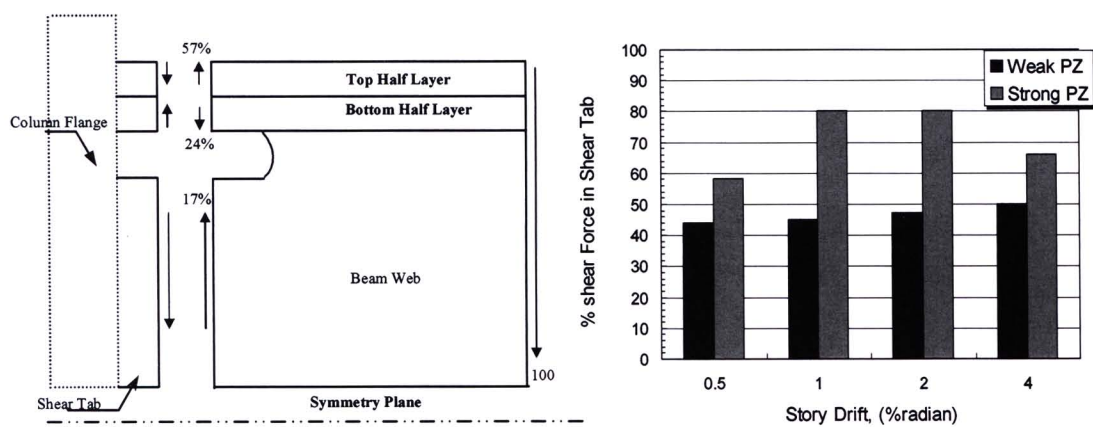
รูปที่ 2.6 การไหลของความเค้นสูงสุดบริเวณข้อต่อคาน-เสาจากการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ [14]

รูปที่ 2.6 แสดงการกระจายตัวของความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นบนหน้าตัดที่ระยะ 0.25 นิ้วจากหน้าเสา จากรูปแสดงให้เห็นว่า ความเค้นเฉือนสูงสุดได้เกิดขึ้นที่แนวแกนสะเทิน (Neutral Axis) เหมือนกับที่แสดงด้วยการคำนวณจากทฤษฎีของคาน โดยค่าความเค้นเฉือนสูงสุดเกิดขึ้นที่บริเวณปลายบนและล่างของแผ่น Shear Tab เมื่อทำการวิเคราะห์เพิ่มเติมโดยคิดเป็นจำนวนเปอร์เซ็นต์ของแรงเฉือนทั้งหมดที่เกิดขึ้นที่หน้าตัดนี้ จะพบว่าปีกคานด้านบนและล่างของคานบริเวณนี้จะต้องแบกรับแรงเฉือนเท่ากับ 66% ในขณะที่แผ่น Shear Tab จะรับแรงเฉือนที่เกิดขึ้นเพียง 34% ดังแสดงในรูปที่ 6 โดยพฤติกรรมการกระจายตัวของแรงเฉือนนี้จะเกิดขึ้นทั้งในช่วงการวิเคราะห์อีลาสติกและอินอีลาสติก (Elastic and Inelastic) รูปที่ 6 ยังแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณแรงเฉือนในแผ่น Shear Tab ระหว่างเสาที่มีความแข็งแรงของแผ่น Panel Zone มากและน้อย จะพบว่าเมื่อแผ่น Panel Zone มีความแข็งแรงมาก ปริมาณแรงเฉือนในแผ่น Shear Tab จะเพิ่มขึ้นเมื่อมีการหมุนของข้อต่อเพิ่มขึ้น ส่วนเมื่อเสามีความแข็งแรงของแผ่น Panel Zone น้อยพบว่าปริมาณแรงเฉือนในแผ่น Shear Tab จะค่อนข้างคงที่ที่ประมาณ 45% - 50% เมื่อการหมุนของข้อต่อเพิ่มขึ้น



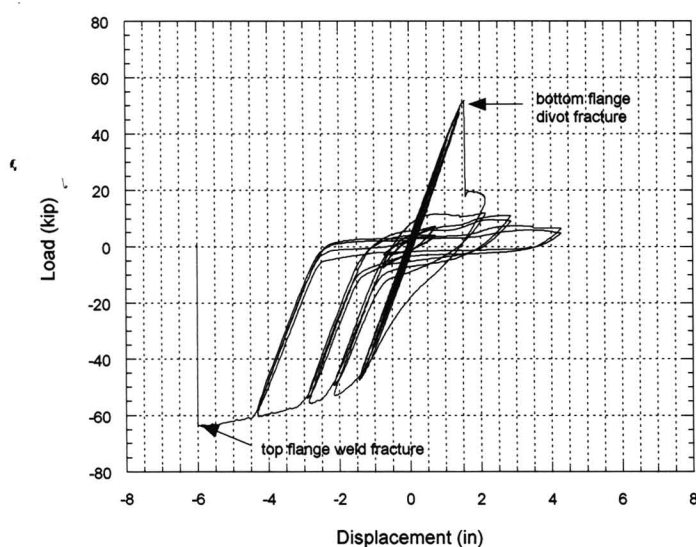


รูปที่ 2.7 การกระจายตัวของความเค้นเฉือนในแผ่น Shear Tab วิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนลิเมนต์ [14]



รูปที่ 2.8 ปริมาณแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในปีกคานและแผ่น Shear Tab บริเวณข้อต่อ จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนลิเมนต์ [14]

รูปที่ 2.9 แสดงพฤติกรรมการรับแรงสลับทิศของตัวอย่างทดสอบคาน-เสาในห้องปฏิบัติการ จะเห็นว่าตัวอย่างทดสอบข้อต่อคาน-เสา ที่ออกแบบและก่อสร้างด้วยมาตรฐานการออกแบบเหมือนข้อจุดต่อทั่วไปไปก่อนปี 1994 มิได้แสดงพฤติกรรมแบบยืดหยุ่น ตัวอย่างทดสอบเกิดรอยแตกเร็วมาก โดยเกิดรอยแตกแรกที่บริเวณรอยเชื่อมของปีกคานด้านล่างเมื่อตัวอย่างยังอยู่ในช่วงอิลาสติก พฤติกรรมแบบนี้ได้รับการยืนยันจากการทดสอบตัวอย่างคาน-เสาขนาดเท่าของจริงจากห้องปฏิบัติการตามมหาวิทยาลัยต่างๆ ทั่วประเทศสหรัฐอเมริกา



รูปที่ 2.9 พฤติกรรมการรับแรงสลับทิศของข้อต่อคาน-เสาชนิด Pre-Northridge [10]

การศึกษาในขั้นต้นของอานนท์ [14] แสดงให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้อย่างมากที่จะออกแบบ Panel Zone ด้วยวิธี Balance Yielding ระหว่างคานและ Panel Zone กล่าวคือ ยอมให้เกิดการคราก (Yielding) ในส่วน Panel Zone ในขณะที่เดียวกันก็พยายามควบคุมไม่ให้เกิดการคราก (Yielding) เกิดขึ้นมากเกินไประดับที่จะสามารถสร้างความเสียหายแก่ตัวข้อต่อและรอยเชื่อมได้ อย่างไรก็ตาม การศึกษาในขั้นต้นนี้ต้องการพิสูจน์ในอีกหลายกระบวนการเพื่อจะสามารถนำมาใช้งานได้จริง โดยจะต้องมีการวิเคราะห์เพิ่มเติมด้วยคอมพิวเตอร์ เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุที่แท้จริงว่ากระบวนการคราก (Yielding) ของ Panel Zone นั้นส่งผลกระทบอย่างไรบ้างต่อ ข้อต่อ รอยเชื่อม และหน้าตัดคานบริเวณข้อต่อ จากนั้นต้องวิเคราะห์ว่าระดับการคราก (Yielding) ขนาดเท่าไรจึงไม่เกิดผลเสียต่อ ข้อต่อ รอยเชื่อม และคาน จากนั้นอาจต้องปรับเปลี่ยนกระบวนการออกแบบ Panel Zone ในบางส่วน เพื่อความถูกต้องยิ่งขึ้น

ผลงานวิจัยของ Subhash C. Goel, Bozidar Stojadinovic และผู้ร่วมวิจัยท่านอื่นๆ [15] แสดงให้เห็นว่ารอยเชื่อมของข้อต่อเหล็กระหว่างเสา-คาน มีกระจายตัวของความเค้นและความเครียดสูงมาก แรงเฉือนจะถูกถ่ายลงสู่เสา โดยผ่านที่บริเวณปีกคานบนและล่าง แทนที่จะเป็นการถ่ายโดยแผ่น Shear Tab การเกิดปรากฏการณ์เช่นนี้ อาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ปีกคานไม่สามารถรับแรงเฉือนนี้ได้ และเกิดการแตกขึ้น

การศึกษาของ Scott A. Civjan, John L. Gross [16] เป็นการประเมินและปรับปรุงข้อต่อเหล็กในการถ่ายแรงของโมเมนต์ (Steel moment connection) จากการกระทำของแรงแผ่นดินไหว โดยมีการทดสอบชิ้นงานโดยใช้แรงแบบวัฏจักร (Cyclic loading) กับชนิด Welded Unreinforced Flanges-Bolted Web ผลการทดสอบชิ้นงานจากสภาพภายนอกแสดงให้เห็นว่าเมื่อรอยเชื่อมมีความเหนียวต่ำ ความแข็งแรงของปีกคานของคานจะไม่เพียงพอต่อแรงกระทำ ซึ่งจากการสังเกตทำให้เกิดการปรับปรุงปีกคานโดยการแทนที่ที่ปีกคานด้วยร่องของรอยเชื่อม ซึ่งรอยเชื่อมมีความเหนียวเพิ่มขึ้นจะไม่ทำให้เกิดการแตกในบริเวณขอบบนของรอยเชื่อม

D.Grecea, A. Stratan, A. Ciutina, D. Dubina [17] เป็นการศึกษามาตรฐานในการออกแบบแบบใหม่ ซึ่งแสดงพฤติกรรมของข้อต่อโดยมีตัวแปร 3 ตัวคือ กำลัง (Strength), ความแข็ง (Stiffness), ความเหนียว (Ductility) และการต้านทานโมเมนต์ของข้อต่อซึ่งความเหนียวจะถูกวัดออกมาในรูปแบบของการหมุนได้ ข้อต่อจะถูกแบ่งโดยการจัดหมวดหมู่ ซึ่งแสดงออกมาในรูปแบบความเหนียวของข้อต่อ ดังนี้

- 1) ระดับที่ 1 ข้อต่อแบบเหนียว ซึ่งความเหนียวของข้อต่อจะถูกพัฒนามาจากการต้านโมเมนต์แบบพลาสติกโมเมนต์และสามารถหมุนได้ในปริมาณที่มาก
- 2) ระดับที่ 2 ข้อต่อแบบมีความเหนียวปานกลาง ซึ่งความเหนียวของข้อต่อจะพัฒนามาจากการต้านโมเมนต์แบบพลาสติกโมเมนต์และมีข้อจำกัดในการหมุน
- 3) ระดับที่ 3 ข้อต่อที่ไม่มีความเหนียว โดยจะเกิดการพังแบบเปราะบริเวณข้อต่อก่อนที่จะเกิดค่าพลาสติกโมเมนต์

จากการศึกษาของ Krawinkler (1971-1978) [18-20], Popov (1986-1989) [21-24] แสดงให้เห็นว่า Panel Zone ที่ถูกออกแบบอย่างถูกต้อง และมีการควบคุมการก่อสร้างที่ดี สามารถรับแรงเฉือนที่เกิดขึ้นได้เลยจุดคราก (Yield Point) โดยไม่ส่งผลเสียต่อข้อต่อ การที่ยอมให้ Panel Zone เกิดการคราก (Yielding) ขึ้นนี้จะเรียกว่าการออกแบบ ด้วยวิธี Weak Panel Zone การออกแบบนี้ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางและมีการใช้กันอย่างแพร่หลายตั้งแต่ปีค.ศ.1990 โดยได้มีการบรรจุลงในมาตรฐานการออกแบบโครงสร้างเหล็ก AISC [1] ด้วย

Roeder (1995)[25] , Chen.et.al. (1996) [26] , EL-Tawil (1998) [27] การศึกษาทั้งหมดนี้ชี้ให้เห็นว่า มาตรฐานการออกแบบ AISC [1] ไม่ควรอนุญาตให้เกิดการคราก (Yielding) ขึ้นใน Panel Zone หมายความว่า Panel Zone จะเป็นแบบ Strong Panel Zone ซึ่งเป็นการออกแบบที่ใช้กันก่อนหน้าปี 1990 อย่างไรก็ตามการออกแบบโดยไม่ยอมให้เกิดการคราก (Yielding) ใน Panel Zone นั้นหมายความว่าพลังงานจากแผ่นดินไหวทั้งหมดจะต้องถูกดูดซับด้วยการคราก (Yielding) ของหน้าตัดคานตรงบริเวณข้อต่อเพียงอย่างเดียว ซึ่งการออกแบบเช่นนี้ มีข้อเสียคือ ถ้าแผ่นดินไหวมีความรุนแรงในระดับปานกลางถึงมาก คานจะเสียหายอย่างมาก และจะเกิดรอยแตกร้าวขึ้นที่ข้อต่อเสมอ ถึงแม้ว่าจะถูกออกแบบและก่อสร้างเป็นอย่างดี นอกจากนี้ยังรวมถึงการออกแบบด้วยข้อต่อชนิดใหม่ (New Type of Connection) [8] ดังนั้นจนถึงปัจจุบันยังไม่มีข้อสรุปที่แน่ชัดว่าจะออกแบบ Panel Zone ด้วยวิธีใดจึงจะเหมาะสม