

### บทที่ 3

#### การพัฒนาแบบจำลองไฟไนติเมนต์ของข้อต่อคาน-เสาเหล็ก

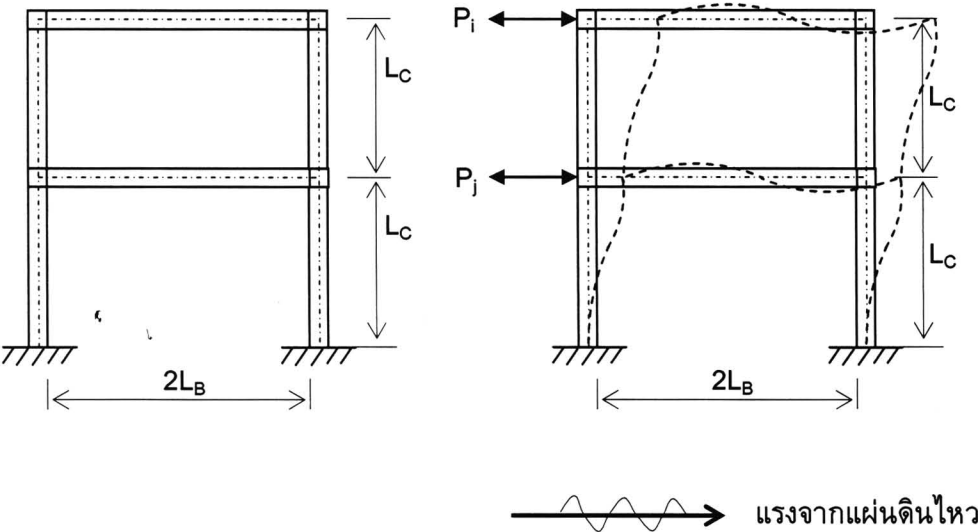
##### 3.1 บทนำ

ในบทนี้ ผู้วิจัยจะนำเสนอการพัฒนาแบบจำลองไฟไนติเมนต์ของข้อต่อคาน-เสาเหล็ก โดยจะใช้ข้อต่อชนิด Welded Unreinforced Flanges-Bolted Web ของเสาด้านริม ที่มีรายละเอียดดังที่แสดงไว้ในบทที่ 2 เป็นต้นแบบในการทำงานวิจัย เนื่องจากผู้วิจัยสามารถเทียบความถูกต้องของแบบจำลองไฟไนติเมนต์นี้ กับข้อมูลผลการทดสอบคาน-เสาเหล็กในห้องปฏิบัติการที่มีอยู่ได้ แบบจำลองไฟไนติเมนต์ที่พัฒนาขึ้นนี้ จะเป็นแบบเทียบเท่าชิ้นงานทดสอบจริง (Full Model) โดยใช้ไฟไนติเมนต์ชนิดชิ้นส่วนย่อยแบบแผ่นบาง (Shell Element) มีเงื่อนไขการยึดรั้งที่ปลายเสาแบบสลัก (Pin Support) ตำแหน่งการใส่แรงจะเป็นที่บริเวณปลายคาน และชนิดของแรงจะเป็นแรงวัฏจักร (Cyclic Load) หรือแรงสลับทิศ ตามมาตรฐานการทดสอบชิ้นงานขนาดใหญ่ (SAC 1997) นอกจากนี้ ในบทนี้จะนำเสนอค่าความเค้น และค่าชีวิตต่างๆ ที่จะใช้ในการประเมินแบบจำลอง รวมถึงตำแหน่งและชิ้นส่วนต่างๆ ของแบบจำลองที่จะใช้ในการประเมินแบบจำลอง เพื่อเปรียบเทียบกับผลการทดสอบจริง ซึ่งจะกล่าวต่อไปในบทที่ 4

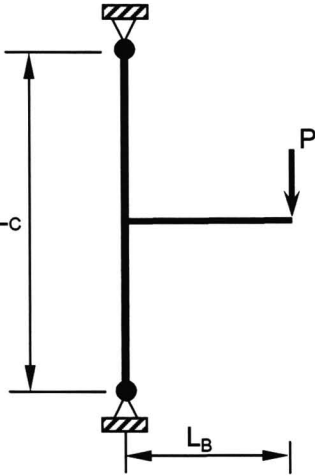
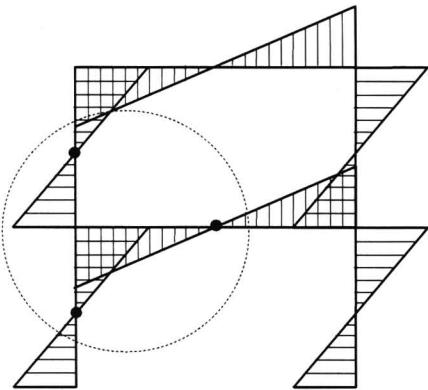
##### 3.2 ไดอะแกรมโมเมนต์ดัดของโครงข้อแข็งเหล็กเมื่อรับแรงกระทำด้านข้าง

เมื่อเกิดแผ่นดินไหวแผ่นดินจะมีการเคลื่อนตัวในลักษณะคลื่น (Wave) ทำให้เกิดแรงเนื่องจากแผ่นดินไหว ซึ่งมีลักษณะเป็นวัฏจักร (Cyclic Load) โดยมีลักษณะไป-กลับ (ซ้าย – ขวา) เมื่อโครงข้อแข็งเหล็กรับแรงแผ่นดินไหว จึงเสมือนว่าถูกแรงกระทำด้านข้างกระทำ ดังแสดงในรูป 3.1ก และ 3.1ข ส่วนรูป 3.1ค แสดงไดอะแกรมโมเมนต์ดัดของโครงข้อแข็งเหล็ก เมื่อรับแรงด้านข้าง จะเห็นว่าที่บริเวณกึ่งกลางเสาชั้นบน – ล่าง และจุดกึ่งกลางช่วงคาน จะเป็นจุดที่โมเมนต์ดัด เป็นศูนย์ (จุดดัดกลับของโมเมนต์ดัด) นั้นหมายความว่า ชิ้นส่วนคาน-เสาตรงบริเวณนี้ ซึ่งเป็นบริเวณข้อต่อระหว่างคานกับเสา สามารถจำลองสภาพการใส่แรง และเงื่อนไขการยึดรั้งได้ดังรูปที่ 3.1ง กล่าวโดยสรุป ข้อต่อคาน-เสาแบบถ่ายโมเมนต์ของเสาด้านริม เมื่อรับแรงแผ่นดินไหว สามารถจำลองลักษณะการใส่แรงได้ โดยใส่

แรงวัตถุที่บริเวณกึ่งกลางของช่วงกาน โดยที่ปลายเสาทั้งบนและล่างจะมีเงื่อนไขของการยึดรั้งเป็นแบบสลัก (Pin Support)



- (ก) การจำลองโครงข้อแข็งเหล็กเพื่อวิเคราะห์การรับแรงด้านข้าง
- (ข) การจำลองการเสียรูปของโครงข้อแข็งเหล็กเมื่อรับแรงด้านข้าง



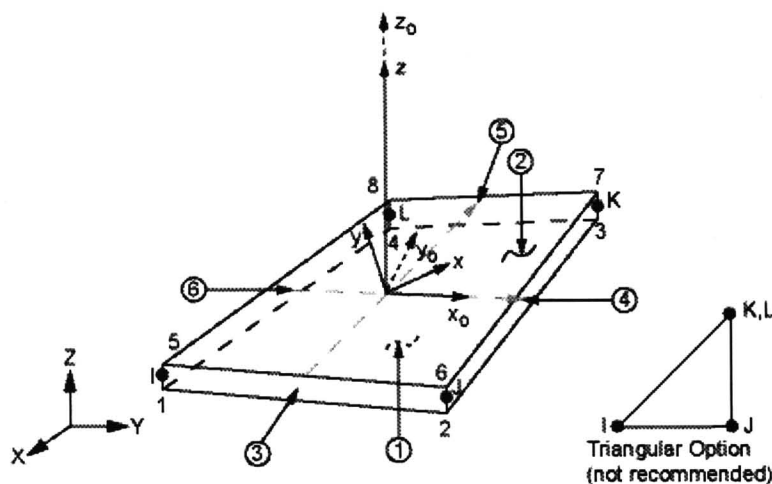
- (ค) แผนภาพแสดงโมเมนต์ภายในของโครงสร้างเหล็ก
- (ง) ขยายบริเวณข้อต่อ

รูปที่ 3.1 โครงข้อแข็งเหล็กเมื่อมีการรับแรงแผ่นดินไหว

### 3.3 ชิ้นส่วนย่อยแบบแผ่นบาง (Shell Element)

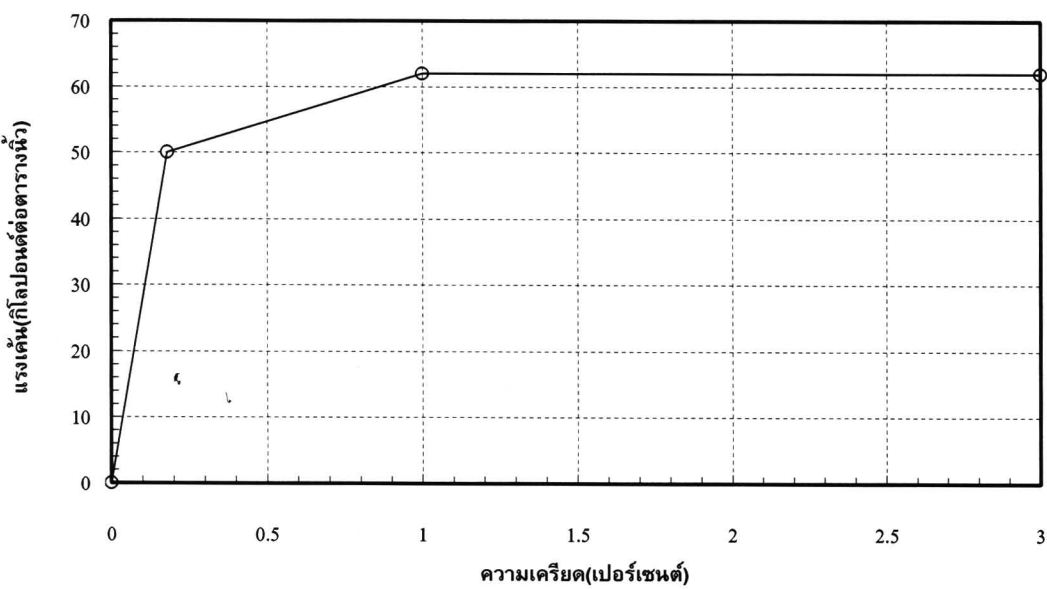
ในงานวิจัยนี้ แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ที่พัฒนาขึ้น จะใช้ชนิดของเอลิเมนต์ที่ใช้จะเป็นแบบแผ่นบาง (Shell Element) เป็นหนึ่งในชนิดของชิ้นส่วนย่อย (Element Types) ในการสร้างแบบจำลอง เพื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ชิ้นส่วนย่อยแบบแผ่นบางชนิดนี้ ประกอบไปด้วยจุดต่อ (Node) จำนวน 4 จุด แต่ละจุดมีดีกรีความอิสระ (Degree of Freedom) เท่ากับ 6 ดีกรีคือ มีการเคลื่อนที่อิสระ (Translation) ในทิศทางตามแนวแกน  $x$ ,  $y$ ,  $z$  และมีค่าการหมุนตัวอิสระ (Rotation) รอบแนวแกน  $x$ ,  $y$ ,  $z$  รูปที่ 3.2 แสดงชิ้นส่วนย่อยแบบแผ่นบาง โดยผิวของชิ้นส่วนย่อยแบบแผ่นบาง จะมีทิศทางเป็นบวกรอบตามกฎมือขวาโดยใช้มือขวาหมุนตามตัวเลขที่กำหนดจุดต่อ ดังรูปคือ 1-2-3-4 จะได้ว่านิ้วหัวแม่มือจะแสดงทิศทางที่เป็นบวกรอบ ดังนั้นจากรูป 3.2 ผิวด้านบนจะเป็นทิศบวก ส่วนผิวด้านล่างจะเป็นทิศลบ

ชิ้นส่วนย่อยแบบแผ่นบางนี้ เหมาะกับการวิเคราะห์แบบ 3 มิติ ที่ความหนาของแบบจำลองมีค่าน้อยกว่าความกว้างและความยาวมากๆ ซึ่งในกรณีสามารถใช้จำลองแผ่นปีก และแผ่นเอวของคานและเสาเหล็กได้ดี เนื่องจากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น



รูปที่ 3.2 ชิ้นส่วนย่อยแบบแผ่นบาง (Shell Element)

3.4 ความสัมพันธ์ของความเค้น (Stress) กับความเครียด (Strain) ของเหล็กที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง



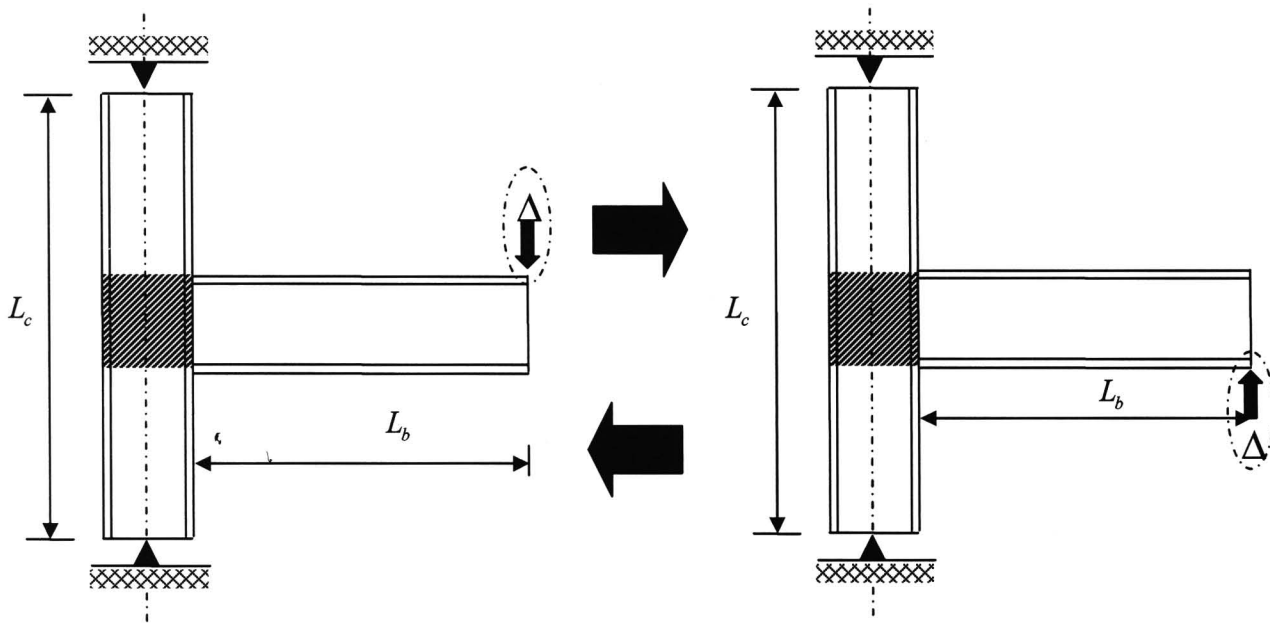
รูปที่ 3.3 ความสัมพันธ์ของความเค้น (Stress) กับความเครียด (Strain) ของวัสดุที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง

รูปที่ 3.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเค้น กับ ความเครียด ของเหล็กซึ่งเป็นคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้กับแบบจำลอง โดยจะเห็นได้ว่าค่าความเค้น มีการเปลี่ยนค่า 2 ช่วง โดยช่วงแรกวัสดุจะมีคุณสมบัติอยู่ในช่วงยืดหยุ่น (Elastic) ซึ่งมีค่าขีดจำกัดความยืดหยุ่นของความเค้นคือ 50 กิโลปอนด์ต่อตารางนิ้ว และมีค่าความเครียดเท่ากับ 0.1724% ส่วนช่วงที่สอง วัสดุจะมีสภาพ Strain hardening ซึ่งมีขีดจำกัดความเค้นที่ค่า 62 กิโลปอนด์ต่อตารางนิ้ว และค่าความเครียดเท่ากับ 1 % ค่าความสัมพันธ์นี้ได้มาจากการทดสอบตัวอย่างเหล็กที่ถูกตัดมาจากแผ่นปีก และแผ่นเอวของคานและเสาเหล็กที่เป็นชิ้นงานทดสอบในห้องปฏิบัติการ ณ มหาวิทยาลัยแห่งรัฐมิชิแกน

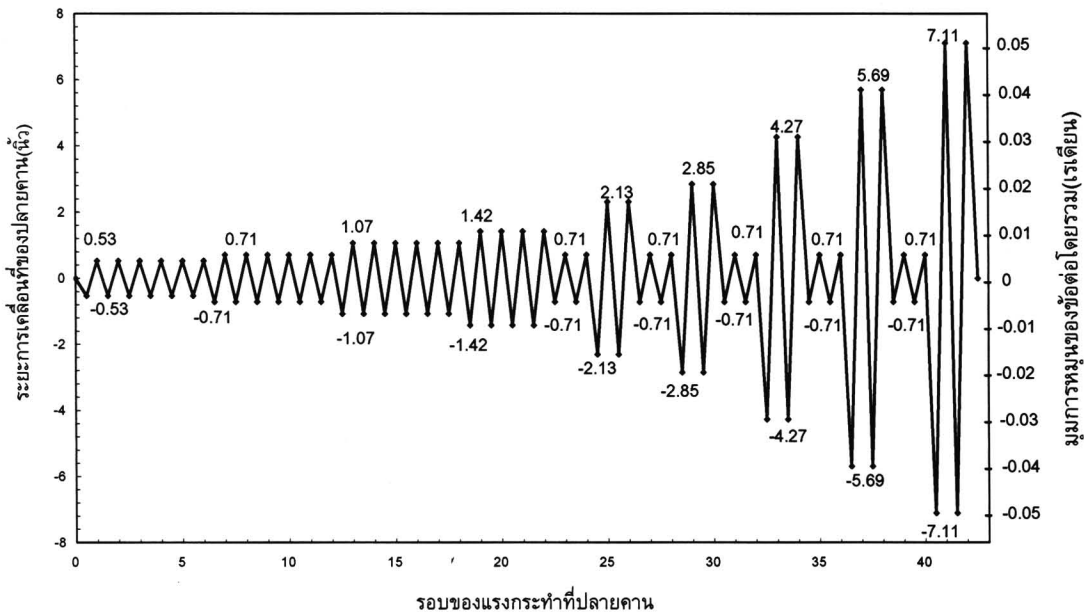
3.5 การจำลองแรงกระทำแบบสลับทิศ (แรงวัฏจักร)

การจำลองแรงแผ่นดินไหวซึ่งเป็นแรงแบบวัฏจักร (Cyclic Load) ทำได้โดยการใส่ระยะการเคลื่อนที่ที่ปลายคานในลักษณะไป-กลับเป็นรอบๆ กระทำกับแบบจำลอง แสดงดังรูปที่3.4 โดย

แบบจำลองแรงวัฏจักรนี้เป็นไปตามมาตรฐานการทดสอบชิ้นงานขนาดใหญ่ ภายใต้รับแรงแผ่นดินไหว (SAC 1997) แสดงไว้ในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.4 ลักษณะการใส่แรงวัฏจักรจำลองกับแบบจำลองไฟไนลิเมนต์ของเสาต้นริม



รูปที่ 3.5 แรงวัฏจักรจำลองสำหรับการทดสอบชิ้นงานขนาดใหญ่เมื่อรับแรงแผ่นดินไหว (SAC 1997)

### 3.6 คุณสมบัติการยึดรั้งที่ปลายเสาด้านบนและล่าง

จากการที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 3.1 จะพบว่า เงื่อนไขของการยึดรั้งที่ปลายเสาด้านบนและล่าง จะเป็นแบบสลัก (Pin Support) กล่าวคือ ที่จุดต่อ (Node) แต่ละจุดของชิ้นส่วนย่อยแบบแผ่นบางที่ บริเวณปลายเสา ซึ่งมีดีกรีความอิสระเท่ากับ 6 ดีกรีนั้น จะต้องทำการยึด (Constrain) ไม่ให้เคลื่อนที่ได้ อิสระในแนวแกน  $x$ ,  $y$  และ  $z$  ส่วนค่าการหมุนตัวนั้น จะทำการยึดไม่ให้เกิดการหมุนรอบแกน  $x$  และ แกน  $y$  เพื่อบังคับไม่ให้เกิดการบิดรอบแกน  $x$  และ แกน  $y$  แต่ให้การหมุนรอบแกน  $z$  เป็นอิสระ เพราะ เป็นการแสดงคุณสมบัติของสลักที่บริเวณปลายเสาด้านบนและล่าง โดยเงื่อนไขดังกล่าวเหล่านี้ จะใส่ ให้กับจุดต่อ (Node) ทุกจุดต่อของชิ้นส่วนแบบแผ่นบางที่ปลายเสาด้านบนและล่างทั้งระนาบ  $xz$

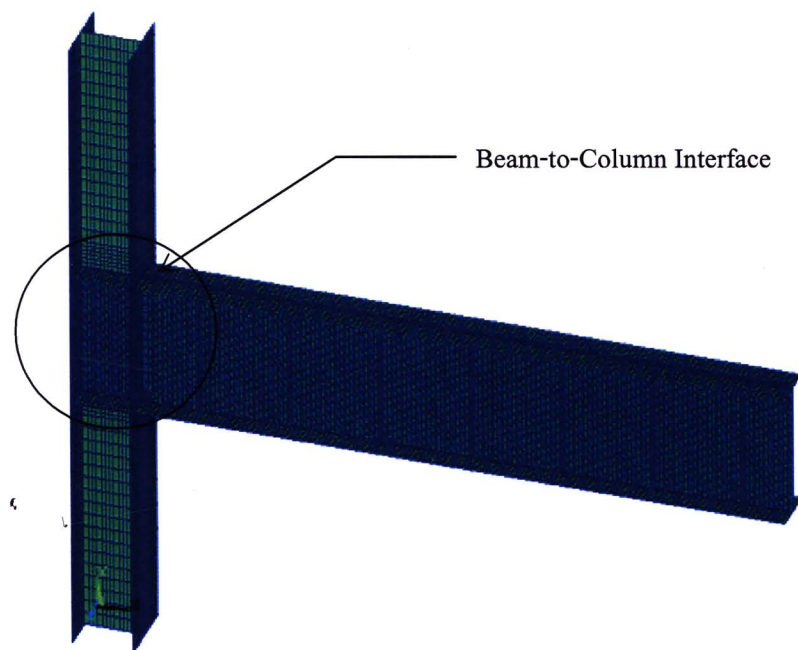
### 3.7 ค่าต่างๆ ที่ใช้ในการประเมินผลการวิเคราะห์แบบจำลองไฟไนติเมนต์

งานวิจัยนี้จะใช้ค่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่เกิดขึ้นที่ปลายคาน และระยะการเคลื่อนที่ของ ปลายคาน เป็นค่าที่ใช้ประเมินผลและความถูกต้องของแบบจำลอง โดยนำมาเทียบกับค่าที่ได้จากผลการ ทดสอบจริง ส่วนความเค้นที่ใช้แสดงพฤติกรรมการครากของข้อต่อคาน-เสานั้น จะใช้ค่าความเค้น von-Mises ทั้งนี้เนื่องจากมีบทพิสูจน์แล้วว่า สำหรับวัสดุเหนียว (Ductile Material) บรรทัดฐานของมิส (von-Mises Yield Criterion) สามารถทำนายพฤติกรรมของวัสดุได้ถูกต้องมากกว่าบรรทัดฐานการพัง แบบอื่นๆ นอกจากนี้ จะใช้เวกเตอร์ของแรง (Force Vector) เป็นรูปแสดงลักษณะการส่งถ่ายแรง จาก แรงกระทำที่ปลายคานเข้าสู่เสาตรงบริเวณข้อต่อคาน-เสา

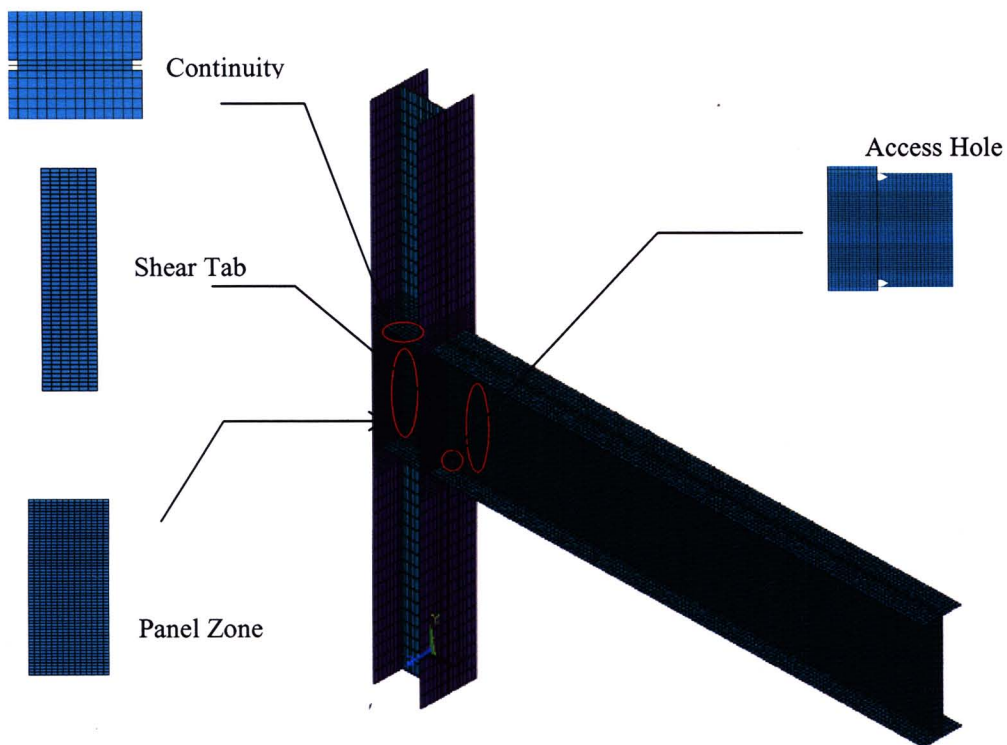
### 3.8 การประเมินพฤติกรรมของแบบจำลองข้อต่อคาน-เสาเหล็ก

จะทำการประเมินพฤติกรรมของข้อต่อเป็น 2 ส่วนคือ พฤติกรรมองค์รวมของข้อต่อ (Global Response) ตรงบริเวณจุดเชื่อมต่อระหว่างคาน-เสา (Beam-to-Column Interface Area) แสดงดังรูป 3.6 และ พฤติกรรมขององค์ประกอบย่อยของข้อต่อบริเวณ Access Hole Shear tab Panel Zone และแผ่น Continuity Plate แสดงดังรูปที่ 3.7



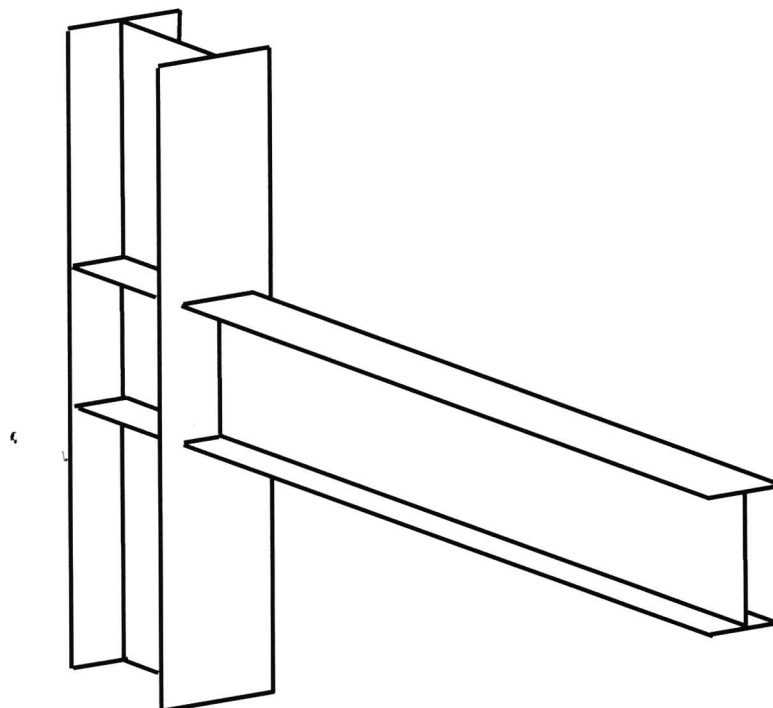


รูปที่ 3.6 แสดงบริเวณจุดเชื่อมต่อระหว่างคาน-เสา ที่ใช้แสดงพฤติกรรมองค์ประกอบของแบบจำลอง



รูปที่ 3.7 แสดงองค์ประกอบย่อยของข้อต่อคาน-เสาที่ใช้แสดงพฤติกรรมองค์ประกอบย่อยของแบบจำลอง

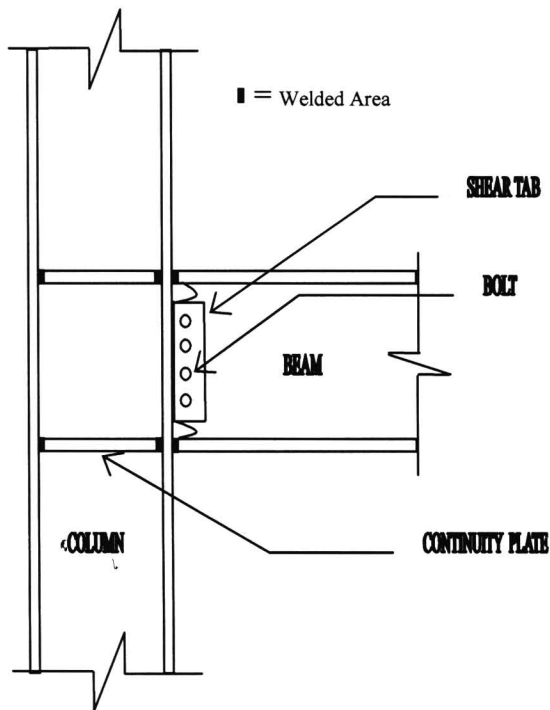
### 3.9 การสร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์



รูปที่ 3.8 ลักษณะแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์แบบเท่าขนาดจริง (Full Model)

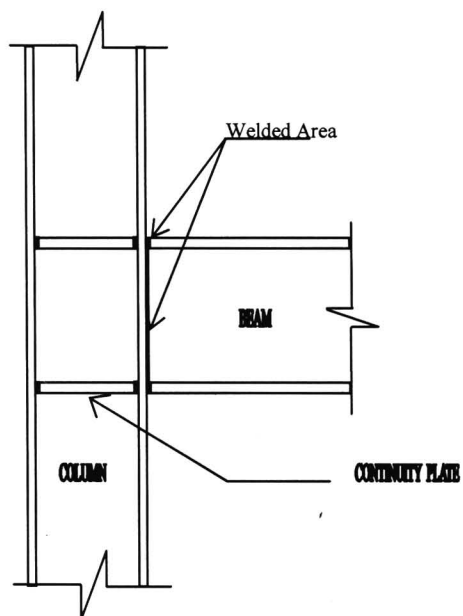
แบบจำลองที่ใช้ในงานวิจัยนี้มี 2 ชนิดคือ แบบจำลองคาน-เสาเหล็กของเสาดันริมชนิด Welded Unreinforced Flanges-Bolted Web และแบบจำลองคาน-เสาเหล็กของเสาดันริมชนิดก่อสร้างในประเทศไทย โดยแบบจำลองทั้งสองจะเป็นแบบเท่าขนาดจริง (Full Model) ดังแสดงในรูปที่ 3.8 ส่วนรายละเอียดต่างๆ ตรงบริเวณข้อต่อนั้นจะแตกต่างกัน กล่าวคือ เสาดันริมชนิด Welded Unreinforced Flanges-Bolted Web จะประกอบไปด้วยแผ่นปะกับ (Shear tab) และน็อต ดังแสดงในรูปที่ 3.9 สำหรับเสาดันริมชนิดก่อสร้างในประเทศไทย จะไม่มีแผ่นปะกับ และน็อต โดยจะการใช้การเชื่อมจุดต่อ (Node) ของแผ่นเอว ส่วนคานเข้ากับ Node ของแผ่นปีกเสา รายละเอียดแสดงในรูปที่ 3.10 ความแตกต่างอีกประการหนึ่งที่มีระหว่างข้อต่อ 2 ชนิดนี้คือ บริเวณ Access Hole ซึ่งจะมีเฉพาะกับข้อต่อชนิด Welded Unreinforced Flanges-Bolted Web แต่ไม่มีสำหรับข้อต่อที่ก่อสร้างในประเทศไทย ส่วนรายละเอียดอื่นๆ เช่น แผ่น Continuity plate และตำแหน่งเชื่อมของปีกคานบน-ล่าง ติดกับปีกเสานั้น มีลักษณะเหมือนกัน



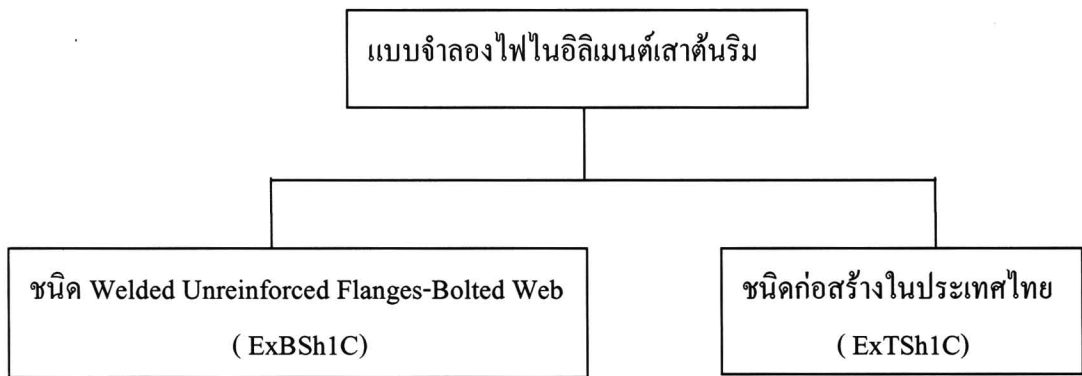


รูปที่ 3.9 รายละเอียดที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองไฟในอีลิเมนต์ชนิด Welded Unreinforced Flanges-Bolted Web ของเสาต้นริม

### 3.2.2 ข้อต่อเหล็กแบบ Thai Practice ของเสาต้นริม



รูปที่ 3.10 รายละเอียดที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองชนิดก่อสร้างในประเทศ



รูปที่ 3.11 แสดงชื่อแบบจำลองไฟในอิเลเมนต์ที่ใช้ในการศึกษา

ตารางที่ 3 สรุปขนาดคานและเสาที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองไฟในอิเลเมนต์และลักษณะสำคัญของแบบจำลอง โดยคานที่ใช้จะมีขนาด W30x99 และเสามีขนาด W14x145 ทั้งคานและเสาเป็นหน้าตัดประเภท W-flange ซึ่งมีคุณสมบัติหน้าตัดตามมาตรฐานการออกแบบ AISC/LRFD 2005 ทุกประการ รายละเอียดของคานและเสาจะกล่าวต่อไปในบทที่ 4 ส่วนชื่อแบบจำลองดังแสดงในรูปที่ 3.11 โดยแสดงความสัมพันธ์ดังนี้อักษร Ex แทนเสาต้นริม อักษร B แสดงว่าเป็นข้อต่อคาน-เสา ชนิด Welded Unreinforced Flanges-Bolted Web อักษร T แสดงว่าเป็นข้อต่อคาน-เสา ชนิดก่อสร้างในประเทศไทย อักษร Sh1 แสดงสัญลักษณ์ ของการใช้อิเลเมนต์ชนิดชิ้นส่วนย่อยแบบแผ่นบาง (Shell Element) และ อักษร C แทนสัญลักษณ์แรงกระทำแบบวัฏจักร (Cyclic Load)

ตารางที่ 3.1 ขนาดคาน-เสาและลักษณะสำคัญของแบบจำลองไฟในอิเลเมนต์

| ตัวอย่าง | คาน     | เสา      | ชนิด<br>อิเลเมนต์ | แผ่นปะกับ<br>Shear Tab | ขนาด       | แรงกระทำ |
|----------|---------|----------|-------------------|------------------------|------------|----------|
| ExBSh1C  | W 30x99 | W 14x145 | Shell             | มี                     | Full Model | Cyclic   |
| ExTSh1C  | W 30x99 | W 14x145 | Shell             | ไม่มี                  | Full Model | Cyclic   |