

## บทที่ 3 ระเบียบวิจัย

### 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงานของงานวิจัยนี้แบ่งเป็นห้าส่วนหลักๆ ได้ดังนี้

1. ศึกษาวิธีการใช้งานโปรแกรม ABAQUS และสร้างแบบจำลอง Single Plate Shear Connection เพื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ที่ได้จากแบบจำลองกับผลการทดสอบจริง และแบบจำลองในอดีต โดยใช้ผลการทดสอบจริงของ Astanteh [9] Sarkar [12] และแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของ Ashakul [15] เมื่อเปรียบเทียบและปรับปรุงแบบจำลองให้ทำนายผลได้แม่นยำใกล้เคียงกับผลการทดสอบจริงแล้ว สร้างแบบจำลองเพื่อทำนายพฤติกรรมของจุดต่อที่มีตัวแปรอื่นๆ
2. ออกแบบ Single Plate Shear Connection ตามเงื่อนไข Conventional Configuration ในคู่มือการออกแบบ AISC (2005) [21] โดยใช้สลักเกลียวชนิด A325N ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3/4 นิ้ว จำนวน 3 ถึง 9 ตัว ใช้รูเจาะแบบมาตรฐาน แผ่นเหล็ก A36 และคาน Gr.50 ลักษณะที่รองรับแบบยึดแน่น [9] โดยออกแบบให้ทุกแบบจำลองมีกำลังรับแรงเฉือนของกลุ่มสลักเกลียวเป็นสถานะจำกัดการวิบัติของจุดต่อ
3. ใช้ขนาดและความยาวคานที่ทำให้จุดต่อมีค่าการหมุนตัวของคานที่จุดรองรับหมุนตัวไปได้มากที่สุด และทำให้จุดต่อรับแรงเฉือนสูงสุด ขณะที่หน้าตัดคานยังคงรับโมเมนต์ได้เต็มประสิทธิภาพหน้าตัดพลาสติก ( $M_p$ ) ในคานที่รับแรงกระทำแบบแรงกระจาย (Uniform Load) และแบบจุด (Concentrated Load) จากนั้นตรวจสอบค่าการหมุนตัวของคานที่จุดรองรับเทียบกับกราฟของ Astanteh [8] และการทดสอบของ Astanteh [9] และ Metzger [18]
4. เพิ่มตำแหน่งของสลักเกลียวตัวบนสุดห่างจากแกนสะเทินของคานจาก 3 นิ้ว เป็น 6 9 และ 12 นิ้ว โดยมีสลักเกลียวจำนวน 3 ตัว เพื่อศึกษาผลที่ตำแหน่งสลักเกลียวมีต่อแรงกระทำต่อสลักเกลียว
5. ใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ ABAQUS สร้างและวิเคราะห์แบบจำลอง Single Plate Shear Connection ทุกแบบจำลอง นำผลการวิเคราะห์ของแบบจำลองที่ได้มาเปรียบเทียบ ในแต่ละกลุ่มการวิเคราะห์ ได้แก่ ค่าการหมุนตัวของคานที่จุดรองรับ และแรงที่กระทำต่อสลักเกลียว จากนั้นทำการวิเคราะห์ผล สรุปผลและเสนอปรับปรุงวิธีการออกแบบ Single Plate Shear Connection

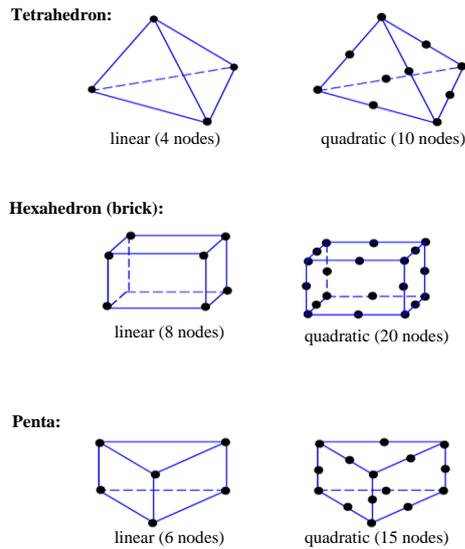
## 3.2 วิธีการใช้โปรแกรมสร้างแบบจำลองและวิเคราะห์ผล

### 3.2.1 ภาพรวม

งานวิจัยนี้ใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ ABAQUS ที่ใช้สร้างและวิเคราะห์แบบจำลอง 3 มิติ เพื่อสังเกตลักษณะการกระจายตัวของหน่วยแรง และความเครียดที่เกิดขึ้นบนวัตถุ ซึ่งเกิดจากแรงภายในหรือแรงภายนอกที่มากระทำ การขึ้นรูปและการเชื่อมต่อชิ้นส่วนแต่ละชิ้นของแบบจำลองโครงสร้าง Single Plate Shear Connection ซึ่งประกอบไปด้วย คานแผ่นเหล็ก และสลักเกลียว จะใช้กระบวนการต่างๆ ของโปรแกรม เช่น การเลือกความละเอียดและชนิดเอลิเมนต์ เทคนิคในการสร้าง Contact ระหว่างชิ้นส่วน และรายละเอียดการสร้างแบบจำลองต่างๆ เพื่อให้แบบจำลองมีพฤติกรรมในด้านการรับแรงที่ใกล้เคียงกับพฤติกรรมจริงมากที่สุด การสร้างแบบจำลองทั้งหมดทำโดยใช้ ABAQUS/CAE ซึ่งเป็นโปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้ในการขึ้นรูปและวิเคราะห์ผลได้โดยตรง ซึ่งจะอธิบายในหัวข้อถัดไป

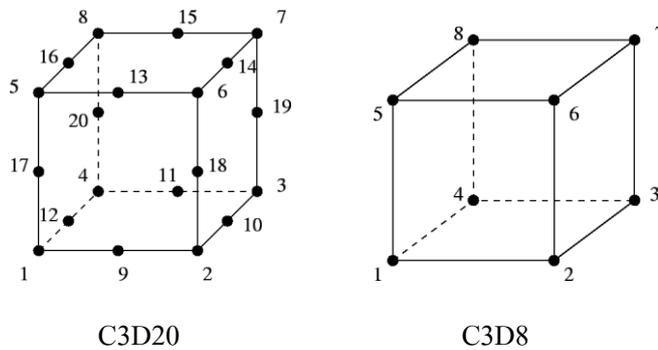
### 3.2.2 ความละเอียดของโครงข่าย (Mesh Refinement) และการเลือกใช้ชนิดเอลิเมนต์

ในการสร้างแบบจำลอง ปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อความถูกต้องแม่นยำของผลการวิเคราะห์คือ การเลือกใช้ชนิดของเอลิเมนต์ที่เหมาะสมกับปัญหาและความละเอียดของโครงข่ายเอลิเมนต์ (Mesh Refinement) ดังนั้น การเลือกใช้ชนิดเอลิเมนต์และการแบ่งโครงข่ายของเอลิเมนต์ได้อย่างเหมาะสม นอกจากทำให้ประหยัดเวลาในการดำเนินการของโปรแกรมแล้วยังทำให้ผลการวิเคราะห์มีความถูกต้องและแม่นยำ ในงานวิจัยนี้ใช้ Mesh Refinement ที่มีความละเอียดสูงบริเวณรอบรูเจาะของแผ่นเหล็กและคาน และสลักเกลียว ซึ่งแบ่งเป็น 64 Block เพื่อเตรียมสำหรับการ Contact ระหว่างสลักเกลียวเข้ากับรูเจาะ ส่วนบริเวณที่เหลือจะใช้ความละเอียดของโครงข่ายลดลง ส่วนการเลือกใช้ชนิดเอลิเมนต์ โดยทั่วไป Solid Element ที่ใช้ในแบบจำลอง 3 มิติ จะมีตั้งแต่ 4 5 6 หรือ 8 Node ต่อหนึ่งเอลิเมนต์ มีลักษณะดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ลักษณะ Solid Element ทั่วไปที่ใช้ในแบบจำลอง 3 มิติ

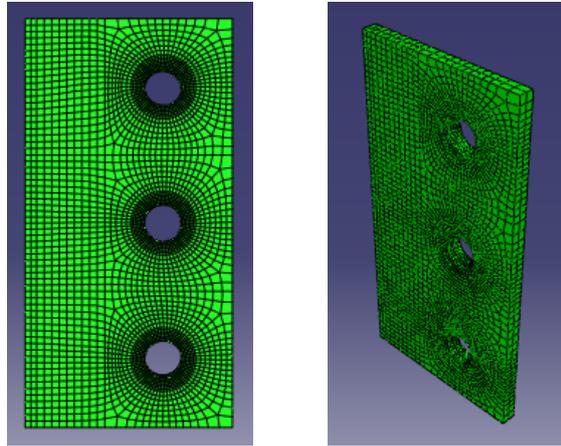
การเลือกใช้ Solid Element แต่ละชนิดขึ้นอยู่กับลักษณะของปัญหา ซึ่ง Solid Element ที่มีจำนวน Node มากจะให้ผลการวิเคราะห์ที่มีความถูกต้องแม่นยำยิ่งขึ้น ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเลือกใช้ Solid Element 2 ชนิด ในงานวิจัยนี้คือ C3D20 (20-node quadratic brick) มีจำนวน Node เท่ากับ 20 Node ต่อหนึ่งเอลิเมนต์ และ C3D8 (8-node linear brick) มีจำนวน Node เท่ากับ 8 Node ดังรูปที่ 3.2



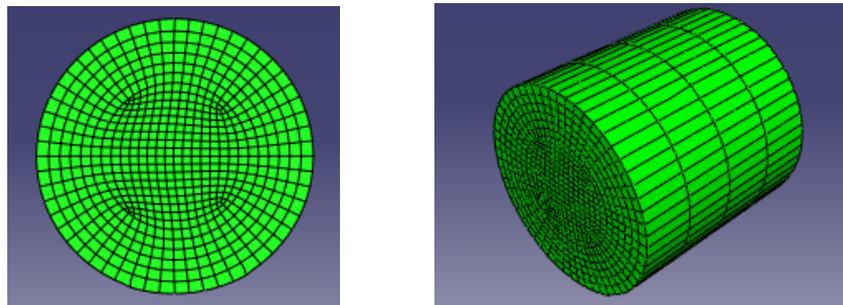
รูปที่ 3.2 ลักษณะ Solid Element ที่ใช้ในการวิเคราะห์

การใช้ Solid Element ชนิด C3D20 จะใช้กับโครงสร้างบริเวณที่ต้องการความละเอียดของผลการวิเคราะห์ แต่การเลือกใช้เอลิเมนต์นี้จะใช้เวลาในการวิเคราะห์ผลนาน ส่วนการใช้ Solid Element ชนิด C3D8 วิเคราะห์ผล ผลที่ได้จะมีความละเอียดน้อยกว่า แต่จะลดเวลาในการวิเคราะห์ได้มากกว่า ความละเอียดของโครงข่ายเอลิเมนต์ที่ใช้ในแต่ละชิ้นส่วนของแบบจำลองในงานวิจัยนี้ปรับปรุงจากลักษณะการแบ่งโครงข่ายเอลิเมนต์จากงานวิจัยของ เกรียงไกร คำพาและอภินันท์ อัครกุล [19] ซึ่งใช้โปรแกรม

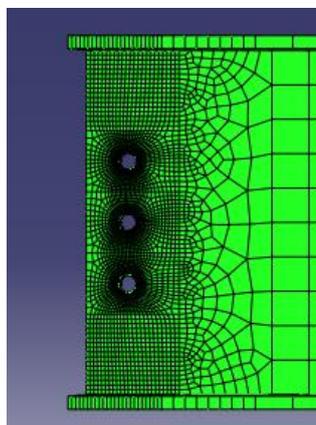
ไฟไนต์เอลิเมนต์ ABAQUS วิเคราะห์แบบจำลองโครงสร้าง Single Plate Shear Connection ลักษณะความละเอียดของรูเจาะ สลักเกลียว แผ่นเหล็ก และคานที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นดังรูปที่ 3.3 ถึงรูปที่ 3.5 ตามลำดับ



รูปที่ 3.3 ความละเอียดของโครงข่ายเอลิเมนต์ของแผ่นเหล็ก



รูปที่ 3.4 ความละเอียดของโครงข่ายเอลิเมนต์ของสลักเกลียว



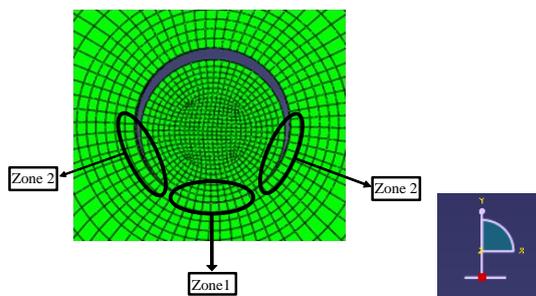
รูปที่ 3.5 ความละเอียดของโครงข่ายเอลิเมนต์ของคาน

### 3.2.3 คุณสมบัติที่ใช้ในการนิยามพื้นผิวที่มีการสัมผัสกัน

เนื่องจากการขึ้นรูปชิ้นส่วนแต่ละชิ้นส่วนของแบบจำลอง Single Plate Shear Connection ซึ่งประกอบไปด้วยแผ่นเหล็ก สลักเกลียว และคาน ต้องสร้างโดยแยกออกเป็นชิ้นส่วนอิสระ ดังนั้น เทคนิคสำคัญของการสร้างแบบจำลองคือการนำแต่ละชิ้นส่วนมาประกอบเข้าด้วยกันเพื่อให้แบบจำลองสมบูรณ์และพร้อมสำหรับการวิเคราะห์ผล รายละเอียดที่สำคัญที่สุดส่วนหนึ่ง คือการทำให้สลักเกลียวสามารถรับแรงจากคานและถ่ายแรงลงบนแผ่นเหล็กผ่านรอยต่อระหว่างรูเจาะของคานและรูเจาะของแผ่นเหล็กตามลำดับ การใช้นิยามระหว่างพื้นผิว ที่บริเวณดังกล่าวจะมีความแตกต่างกัน โดยสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 Zone ดังรูปที่ 3.6

Zone 1 คือการเชื่อมต่อระหว่างสลักเกลียวกับรูเจาะ ซึ่งมีลักษณะเชื่อมติดกัน จะใช้นิยาม Tie Constraint คือการเชื่อมต่อ Node ระหว่างพื้นผิวทั้งสองที่มีความแตกต่างกันทางด้านลักษณะของโครงข่ายเอลิเมนต์และสมบัติทางด้านวัสดุเข้าด้วยกัน

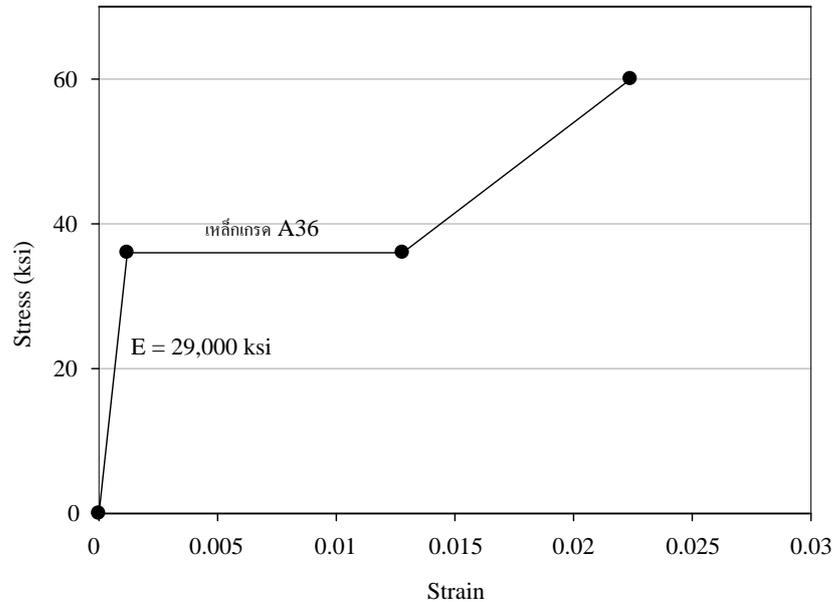
Zone 2 คือบริเวณที่ผิวสัมผัสระหว่างรูเจาะและสลักเกลียวยังไม่เกิดการสัมผัสกันแต่มีโอกาสที่ผิวทั้งสองจะสัมผัสกันเมื่อสลักเกลียวเกิดการเคลื่อนที่ในขณะที่รับแรง ซึ่งจะใช้นิยามสมบัติวัสดุของพื้นผิวในทิศทางตั้งฉากระหว่างพื้นผิว (Normal Behavior) เป็น Hard Contact คือเมื่อเกิดช่องว่าง (Clearance) ระหว่างพื้นผิวทั้งสอง การถ่ายเทแรงดัน (Pressure) จะไม่เกิดขึ้น แต่เมื่อช่องว่างระหว่างผิวสัมผัสเริ่มมีค่าน้อยลงจนกระทั่งเท่ากับศูนย์จะมีการถ่ายเทแรงดันเกิดขึ้น พื้นผิวของสลักเกลียวเป็นพื้นผิว Slave Surface และพื้นผิวของรูเจาะเป็นพื้นผิว Master Surface การสัมผัสกันของพื้นผิวทั้งสองใช้นิยามกำหนดให้มีพฤติกรรมของผิวหน้าของแต่ละเอลิเมนต์มีการไถลตัวแบบ Finite Sliding การวิเคราะห์ผลไม่คำนึงถึงผลกระทบจากแรงเสียดทานระหว่างพื้นผิวของสลักเกลียวกับรูเจาะ โดยกำหนดให้พื้นผิวทั้งสองมีแรงเสียดทานน้อย (Frictionless) อนึ่ง การกำหนด Boundary Condition ให้สลักเกลียวไม่สามารถเคลื่อนออกจากรูเจาะด้านข้างได้ (Out-of-Plane) โดยกำหนดให้ Node ของสลักเกลียว ไม่สามารถเคลื่อนที่ในทิศทาง Z ได้ แต่จะเคลื่อนที่ได้ในในทิศทาง X และ Y ทำให้สลักเกลียวเคลื่อนตัวได้แต่ภายในรูเจาะ



รูปที่ 3.6 ลักษณะการแบ่งโซนที่ใช้ในการนิยามคุณสมบัติที่ใช้บริเวณรูเจาะและสลักเกลียว

### 3.2.4 การกำหนดสมบัติวัสดุในโปรแกรม

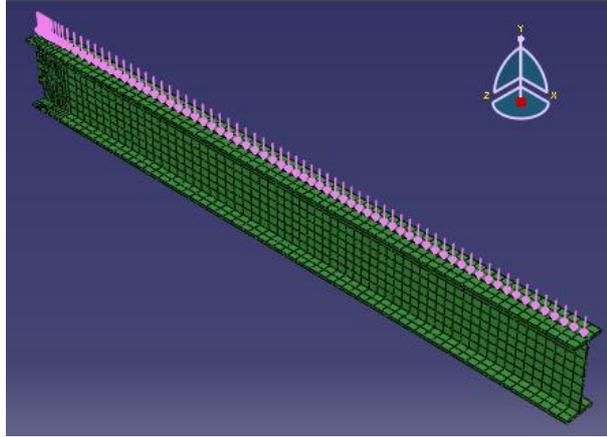
สมบัติทางกลของ แผ่นเหล็กเกรด A36 ที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลมีความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดในช่วงอีลาสติกและช่วงพลาสติกเป็นแบบ Elastic Perfectly-Plastic Strain ดังรูปที่ 3.7 ส่วนกำลังวิบัติของสลักเกลียว A325N มีค่าเท่ากับ 88 ksi ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็กเท่ากับ 29,000 ksi และค่าอัตราส่วนปัวซองเท่ากับ 0.3



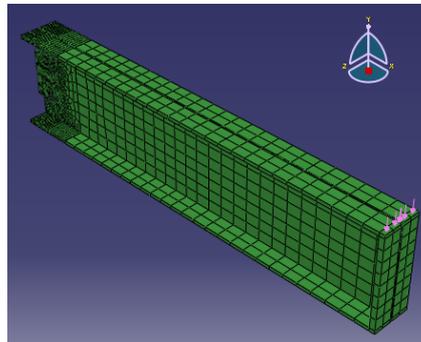
รูปที่ 3.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดของเหล็กเกรด A36 ที่ใช้ในการวิเคราะห์ผล

### 3.2.5 การกำหนดแรงกระทำต่อแบบจำลอง

การกำหนดแรงกระทำต่อแบบจำลองในงานวิจัยนี้มี 2 ชนิด คือแรงแบบแผ่กระจาย (Uniformly Distributed) จะให้แรงลงบนปีกคานเฉพาะส่วนที่อยู่เหนือเอวของคานตลอดความยาวคาน และจะให้แรงกระทำแบบจุด (Concentrated Load) ลงบนกึ่งกลางคานซึ่งคานจะมี Stiffeners ทั้งสองด้านป้องกันการโก่งเดาะ (Web Clipping) ซึ่งการให้แรงกระทำทั้ง 2 ชนิดต่อแบบจำลอง มีลักษณะเป็นแรงดัน (Pressure) ดังรูปที่ 3.8 และรูปที่ 3.9 ตามลำดับ



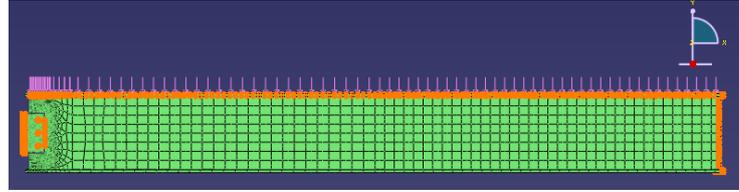
รูปที่ 3.8 ลักษณะการให้แรงกระจาย (Uniform Load) ต่อแบบจำลอง



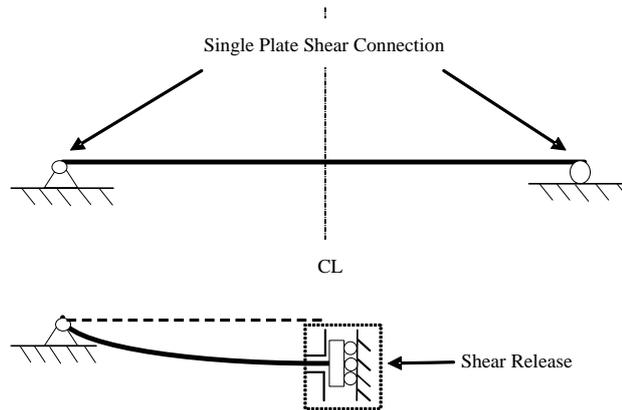
รูปที่ 3.9 ลักษณะการให้แรงแบบจุด (Concentrated Load) ต่อแบบจำลอง

### 3.2.6 เงื่อนไขการจำกัดขอบเขตต่อแบบจำลอง

การสร้างแบบจำลองโครงสร้าง สามารถสร้างเพียงครึ่งหนึ่งโดยใช้หลักการสมมาตร (Symmetry) โดยลดความยาวของคานลงครึ่งหนึ่ง เพื่อลดเวลาการวิเคราะห์ผลของโปรแกรม แบบจำลองจะถูกกำหนดเงื่อนไขขอบเขต (Boundary Condition) บริเวณส่วนต่างๆ คือ บริเวณกึ่งกลางคาน กำหนดให้มีลักษณะแบบ Shear Release คือปลายคานสามารถเคลื่อนที่ได้ในแนวดิ่ง ไม่สามารถเคลื่อนที่ในแนวราบ ลักษณะของแบบจำลองดังรูปที่ 3.10 และแผนภาพ Free Body Diagram ดังรูปที่ 3.11 เนื่องจากบริเวณปลายของแผ่นเหล็กที่ยึดติดกับที่รองรับด้วยรอยเชื่อม กำหนดให้มีลักษณะแบบยึดแน่น (Fixed Constraint) และบริเวณปีกคานด้านบน กำหนดให้ไม่มีการเคลื่อนที่ออกด้านข้าง เพื่อป้องกันการเกิดการโก่งเดาะเนื่องจากการบิดตัว (Lateral Torsional Buckling) ส่วนของแผ่นเหล็ก คาน และสลักเกลียว กำหนดให้ไม่มีการเคลื่อนที่ออกด้านข้าง (Out of Plane) โดยให้ Node ของแต่ละชิ้นส่วนไม่สามารถเคลื่อนที่ในทิศทาง Z



รูปที่ 3.10 ลักษณะของแบบจำลอง Single Plate Shear Connection ที่ใช้วิเคราะห์ผล



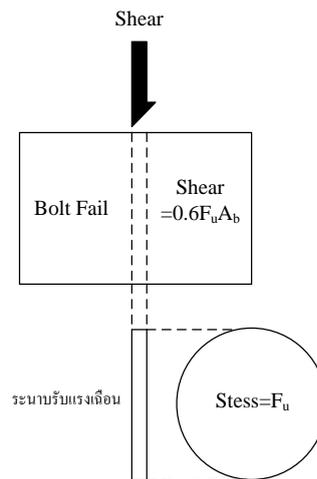
รูปที่ 3.11 แผนภาพ Free Body Diagram ของแบบจำลองที่ใช้วิเคราะห์

### 3.2.7 วิธีการที่ใช้วิเคราะห์ผล

วิธีการวิเคราะห์ผล จะใช้วิธีวิเคราะห์ โดยให้แรงแบบสถิตยศาสตร์ (Static) และพิจารณาความสามารถในการรับแรงของวัสดุถึงช่วงอินอีลาสติก (Inelastic)

### 3.2.8 การพิจารณาการวิบัติของสลักเกลียว

การวิบัติเนื่องจากการเฉือนขาดของสลักเกลียว (Bolt Shear Rupture) เป็นสถานะจำกัด (Limit State) ที่ใช้ในการเปรียบเทียบกำลังรับแรงเฉือนของจุดต่อ เนื่องจากเป็นสถานะจำกัดที่วิกฤตจึงมีความสำคัญมาก การวิเคราะห์กำลังรับแรงเฉือนของจุดต่อทุกแบบจำลอง จะกระทำจนกระทั่งสลักเกลียวเกิดการวิบัติ การตรวจสอบการวิบัติทำโดยพิจารณาแรงลัพธ์ที่กระทำต่อสลักเกลียวและลักษณะการกระจายตัวของหน่วยแรงที่บริเวณระนาบรับแรงเฉือนของสลักเกลียวเทียบกับค่าแรงเฉือนประลัยที่สลักเกลียวสามารถรับได้ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $0.6F_u A_b$  [19] ดังรูปที่ 3.12 เมื่อ  $F_u$  คือหน่วยแรงดึงประลัย และ  $A_b$  คือพื้นที่หน้าตัดของสลักเกลียว เนื่องจากในแบบจำลอง Single Plate Shear Connection มีสลักเกลียวมากกว่าหนึ่งตัว ดังนั้น ถ้าสลักเกลียวตัวใดตัวหนึ่งมีค่าแรงลัพธ์ที่กระทำกับสลักเกลียวประมาณ  $0.6F_u A_b$  สลักเกลียวตัวนั้นย่อมวิบัติ กำลังรับแรงเฉือนของจุดต่อจะมีค่าเท่ากับผลรวมของแรงเฉือนในแนวตั้งของสลักเกลียวแต่ละตัว



รูปที่ 3.12. แผนภาพแสดงหน่วยแรงสูงสุดที่เกิดขึ้นในขณะสลักเกลียวรับแรงเฉือนได้ประมาณ  $0.6F_u A_b$

### 3.3 ข้อมูลวัสดุที่ใช้วิเคราะห์ผล

การสร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อตรวจสอบผลกับการทดสอบจริงและแบบจำลองในอดีต จะใช้ข้อมูลสมบัติวัสดุจากผลการทดสอบจริงของผู้วิจัยที่ศึกษามาแล้ว ได้แก่ กำลังคราก และกำลังประลัยของสลักเกลียว แผ่นเหล็ก และคาน

การใช้แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์วิเคราะห์ผลตัวแปรต่างๆ จะใช้สลักเกลียว A325N ที่มีค่ากำลังประลัยเท่ากับ 88 ksi ซึ่งอ้างอิงจากข้อมูลการวิเคราะห์ผลด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของ Ashakul [15] ที่เปรียบเทียบผลของแบบจำลองกับผลการทดสอบจริงของ Astaneh [9] และ Sakar [12] ซึ่งใช้สลักเกลียว A325N ในการทดสอบ การวิเคราะห์ผลของ Ashakul [15] จะใช้สลักเกลียวชนิด A325X ซึ่งมีค่ากำลังประลัยเท่ากับ 110 ksi ผลการทดสอบพบว่ากำลังรับแรงเฉือนของแบบจำลองมีค่ามากกว่าผลการทดสอบจริงอยู่ร้อยละ 20 เมื่อลดกำลังประลัยของสลักเกลียว A325X ลงร้อยละ 20 เนื่องจากผลกระทบของร่องเกลียว ผลจากแบบจำลองมีค่าใกล้เคียงกับผลการทดสอบจริง ดังนั้น สลักเกลียวที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองของงานวิจัยนี้จะใช้สลักเกลียวชนิด A325N ซึ่งมีค่ากำลังประลัยเท่ากับ 88 ksi คานจะใช้เกรดเหล็ก Gr.50 ซึ่งข้อมูลคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลแสดงในตารางที่ 3.1 และรายละเอียดขนาดและคุณสมบัติวัสดุใช้สร้างแบบจำลองทั้งหมดอยู่ในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้วิเคราะห์ผล

ชิ้นส่วน	กำลังคราก (ksi)	กำลังประลัย (ksi)
แผ่นเหล็ก A36	36	60
คาน Gr50	50	65
สลักเกลียว A325N	-	88
สลักเกลียว A490	-	96

ตารางที่ 3.2 ข้อมูลของขนาดและคุณสมบัติวัสดุที่ใช้สร้างแบบจำลอง

หมายเลขแบบจำลอง	คาน Gr. 50		สลักเกลียว A325N	แผ่นเหล็ก A36
	ขนาด	ยาว (นิ้ว)	จำนวน (ตัว)	ขนาด (หนา×กว้าง×ยาว) (นิ้ว× นิ้ว× นิ้ว)
3BA/3-W18X55-L320	W18×55	320	3	3/8×4.5×9
3BA/3-W18X55-L454	W18×55	454	3	3/8×4.5×9
3BA/3-W18X119-L746	W18×119	746	3	3/8×4.5×9
3BA/3*-W18X55-L320	W18×55	320	3	3/8×4.5×9
3BA/3*-W18X119-L648	W18×119	648	3	3/8×4.5×15
5FBA/6-W18×35-L114	W18×35	114	5	3/8×4.5×15
5FBA/6-W18×55-L192	W18×55	192	5	3/8×4.5×15
5FBA/6-W33×118-L712	W33×118	712	5	3/8×4.5×21
5FBA/6*-W18×55-L192	W18×55	192	5	3/8×4.5×21
7FBA/9-W24×62-L189	W24×62	189	5	3/8×4.5×27
7FBA/9-W44×230-L1048	W44×230	1048	7	3/8×4.5×27
7FBA/9*-W24×62-L189	W24×62	189	7	3/8×4.5×27
9FBA/12-W30×90-L270	W30×90	270	7	3/8×4.5×27
9FBA/12*-W30×90-L270	W30×90	270	9	3/8×4.5×27
3BA/6-W18×55	W18×55	320	3	3/8×4.5×15
3BA/9-W24×62	W24×62	372	3	3/8×4.5×21
3BA/12-W30×90	W30×90	590	3	3/8×4.5×27

หมายเหตุ

- คานชนิด Gr.50 ซึ่งมีค่ากำลังครากเท่ากับ 50 ksi และค่ากำลังประลัยเท่ากับ 65 ksi
- แผ่นเหล็กชนิด A36 ซึ่งมีค่ากำลังครากเท่ากับ 36 ksi และค่ากำลังประลัยเท่ากับ 60 ksi
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสลักเกลียวเท่ากับ 3/4 นิ้ว
- ระยะ a (a-distance) เท่ากับ 3 นิ้ว
- หน่วยแรงเฉือนประลัยของสลักเกลียว  $F_v = 0.6F_u$
- <sup>p</sup> คานรับแรงกระทำแบบจุด ของแบบจำลอง 3BA/3
- \*คือแบบจำลองที่ใช้กำลังวิกฤติ ( $F_u$ ) เท่ากับ 96 ksi
- BA= Beam Natural Axis, FBA = First Bolt Beam Neutral Axis

### 3.4 การวิเคราะห์ผลและวิธีออกแบบจุดต่อ

การใช้โปรแกรมสร้างแบบจำลองและวิเคราะห์ผล จำเป็นต้องตรวจสอบความแม่นยำของแบบจำลองที่ใช้ในการวิเคราะห์ผล โดยเปรียบเทียบกำลังรับแรงเฉือนที่ได้จากแบบจำลองกับผลการทดสอบจริงในห้องปฏิบัติการและแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของผู้วิจัยศึกษาในอดีต คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองได้มาจากข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบจริง โดยเลือกตัวอย่างการทดสอบของ Astaneh [9] ที่มีสลักเกลียวจำนวน 7 ตัว ตัวอย่างการทดสอบของ Sarkar [12] ที่มีสลักเกลียวจำนวน 4 ตัว และเลือกแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของ Ashakul [15] ที่มีสลักเกลียวจำนวน 3 ตัว เมื่อทำการเปรียบเทียบและปรับปรุงแบบจำลองให้ทำนายผลใกล้เคียงกับผลการทดสอบจริงแล้ว จึงสามารถนำแบบจำลองไปทำนายแบบจำลองที่มีตัวแปรเกี่ยวข้องอื่นๆ โดยตัวแปรในงานวิจัยนี้คือ ขนาดและความยาวคาน ชนิดของแรงกระทำที่มีผลต่อค่าการหมุนตัวของคานที่จุดรองรับของจุดต่อ และตำแหน่งของสลักเกลียวที่มีต่อแรงกระทำต่อสลักเกลียว (Force Acting On Bolt) และความเหนียวของจุดต่อ (Ductility)

การออกแบบเพื่อสร้างแบบจำลอง Single Plate Shear Connection เป็นไปตามเงื่อนไข Conventional Configuration ในคู่มือการออกแบบ AISC (2005) [21] โดยออกแบบให้ทุกแบบจำลองมีกำลังรับแรงเฉือนของกลุ่มสลักเกลียวเป็นสถานะจำกัดการวิบัติของจุดต่อ ซึ่งข้อมูลการออกแบบแต่ละหมายเลขแบบจำลองอยู่ในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ข้อมูลการออกแบบจุดต่อแต่ละหมายเลขแบบจำลอง

แบบจำลอง	คาน	การวิบัติของสลักเกลียว		การวิบัติของแผ่นเหล็ก				
	ขนาด	จำนวน	Shear Rupture (kips)	ขนาดแผ่นเหล็ก (in× in× in)	Shear Yielding (kips)	Shear Rupture (kips)	Block Shear (kips)	Bearing /Tear out (kips)
3BA/3-W18×55-L320	W18×55	3	69.99	3/8×4.5×9	72.90	86.06	84.66	110.53
3BA/3-W18×119-L746	W18×118	3	69.99	3/8×4.5×9	72.90	86.06	84.66	110.53
3BA/3 <sup>p</sup> -W18×55-160	W18×55	3	69.99	3/8×4.5×9	72.90	86.06	84.66	110.53
5FBA/6-W18X35-L114	W18×35	5	116.65	3/8×4.5×15	121.50	143.44	133.26	191.53
5FBA/6-W18X55-L192	W18×55	5	116.65	3/8×4.5×15	121.50	143.44	133.26	191.53
5FBA/6-W18X118-L712	W18×118	5	116.65	3/8×4.5×15	121.50	143.44	133.26	191.53
7FBA/9-W24X62-L189	W24×62	7	163.31	3/8×4.5×21	170.10	200.81	181.86	272.53
7FBA/9-W44X230-L1048	W44×230	7	163.31	3/8×4.5×21	170.10	200.81	181.86	272.53
9FBA/12-W30X90-L270	W30×90	9	209.97	3/8×4.5×27	218.70	258.19	230.46	353.53
3BA/6	W18×55	3	69.99	3/8×4.5×15	121.50	167.06	133.26	110.53
3BA/9	W24×62	3	69.99	3/8×4.5×21	170.10	248.06	181.86	110.53
3BA/12	W30×90	3	69.99	3/8×4.5×27	218.70	329.06	230.46	110.53

หมายเหตุ

-รายละเอียดการออกแบบแบบจำลองจุดต่อทั้งหมดอยู่ในภาคผนวก ก