บทที่ 1
บทนำ

1.1 ปัญหาและที่มาของโครงการ

ในปัจจุบันได้มีการนำเหล็กรูปพรรณขึ้นรูปเย็นมาใช้ในการก่อสร้างโครงสร้างขนาดปานกลางอย่างกว้างขวาง เช่น โครงสร้างหลังคา โครงข้อหมุนต่างๆ เป็นต้น ทั้งนี้เนื่องจากเหล็กขึ้นรูปเย็นมีหน้าตัดหลายรูปแบบและมีน้ำหนักที่เบา โดยทั่วไปแล้วหน้าตัดเหล็กขึ้นรูปเย็นจะมีหน้าตัดที่มีแกนสมมาตรรอบแกนเพียงแกนเดียว (Single symmetric section) ด้วยเหตุผลในการผลิตเช่น หน้าตัดรูปหมวก (Hat section) หน้าตัดรูปรางน้ำ (Channel section) หน้าตัดรูปรางน้ำเสริมขอบ (Lip channel section) เป็นต้น นอกจากนั้นเหล็กขึ้นรูปเย็นยังมีอัตราส่วนความกว้างต่อความหนาของแต่ละชิ้นส่วนค่อนข้างมาก ดังนั้นพฤติกรรมการรับแรงของหน้าตัดเหล็กขึ้นรูปเย็นนั้นจะต่างจากพฤติกรรมการรับแรงของเหล็กรีดร้อนอย่างมากและเป็นปัญหาที่ได้รับความสนใจในวงการการศึกษาและวิจัยทั่วโลก

พฤติกรรมหนึ่งที่มีความสำคัญมากต่อพฤติกรรมการรับแรงอัดตามแนวแกนของเหล็กขึ้นรูปเย็นคือพฤติกรรมการโก่งเดาะซึ่งประกอบไปด้วยการโก่งเดาะเฉพาะจุด (Local buckling) การโก่งเดาะบิดเบี้ยวของหน้าตัด (Distorsional buckling) และการโก่งเดาะโดยรวมของเสา (Overall buckling) การโก่งเดาะในสองรูปแบบแรกจะเกิดในกรณีที่เสามีลักษณะเป็นเสาสั้นและมีอัตราส่วนความกว้างต่อความหนาที่มาก ส่วนการโก่งเดาะโดยรวมจะเป็นผลเนื่องมาจากการที่เสามีอัตราส่วนชะลูดสูงและการที่หน้าตัดเป็นหน้าตัดเปิด ดังนั้นในการออกแบบจึงจำเป็นที่จะต้องเข้าใจในพฤติกรรมการรับแรงอัดของหน้าตัด

ด้วยเหตุผลดังกล่าวข้างต้น โครงการนี้จะเป็นการศึกษาพฤติกรรมการรับแรงอัดตามแนวแกนของเสาเหล็กรูปพรรณขึ้นรูปเย็นหน้าตัดรูปรางน้ำเสริมขอบ ที่มีการรองรับในลักษณะแบบยึดแน่น (Fixed ends) และแบบจุดหมุน (Pinned ends) โดยจะทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการ เปรียบเทียบกับมาตรฐานการออกแบบ

1.2 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง

Loghan and Rhodes (1978) ได้ศึกษาพฤติกรรมการโก่งเดาะของหน้าตัดรูปรางน้ำเสริมขอบภายใต้น้ำหนักที่กระทำผ่านจุดศูนย์ถ่วงของหน้าตัดและเยื้องศูนย์ในกรณีที่จุดรองรับเป็นแบบหมุนได้อิสระรอบแกนรอง จากการศึกษาพบว่าในกรณีเสาสั้นที่น้ำหนักกระทำผ่านจุดศูนย์กลางของหน้าตัดเกิดการโก่งเดาะเฉพาะจุดบนแผ่นเอวของหน้าตัด ทำให้จุดศูนย์ถ่วงของหน้าตัดหลังการโก่งเดาะเฉพาะจุดจะเคลื่อนที่ไปทางขอบเสริมกำลังของหน้าตัด ซึ่งจุดศูนย์ถ่วงที่เคลื่อนที่ไปนี้เรียกว่าจุดศูนย์ถ่วงประสิทธิผล สำหรับกรณีที่น้ำหนักกระทำเยื้องศูนย์ไปทางแผ่นเอวพบว่าการโก่งเดาะเฉพาะจุดจะเกิดที่แผ่นเอวเร็วขึ้น และในทางกลับกันเมื่อน้ำหนักกระทำเยื้องศูนย์ไปทางขอบ การโก่งเดาะเฉพาะจุดที่แผ่นเอวจะเกิดได้ช้าลง นอกจากนั้นยังพบว่าการกระจายของหน่วยแรงในปีกและขอบมีค่าสม่ำเสมอหลังจากที่เกิดการโก่งเดาะเฉพาะจุด ในขณะที่การกระจายของหน่วยแรงในแผ่นเอวจะมีค่าแปรผันอันเป็นผลของการโก่งเดาะเฉพาะจุดที่เกิดที่แผ่นเอว

Wang and Pao (1979) ได้ทำการศึกษาผลของการโก่งเดาะเฉพาะจุดของเสาที่มีหน้าตัดสมมาตรรอบแกนเดียวต่อกำลังของเสาโดยอาศัยแนวความคิดหน้าตัดประสิทธิผลและวิธีการทางไฟไนท์อิลีเมนต์มาช่วยในการคำนวณหากำลังและทำการเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดสอบ ซึ่งในการคำนวณคุณสมบัติของหน้าตัดที่ใช้ในการคำนวณกำลังของเสาได้แบ่งกรณีศึกษาออกเป็น 3 กรณีด้วยกัน คือ ใช้หน้าตัดประสิทธิผลทั้งหมด ใช้หน้าตัดประสิทธิผลของปีกและหน้าตัดเต็มของเอว และใช้หน้าตัดเต็มโดยไม่คำนึงถึงการโก่งเดาะเฉพาะจุด จากการศึกษาพบว่าค่ากำลังที่คำนวณได้จากการคิดหน้าตัดประสิทธิผลมีค่าต่ำสุด และค่ากำลังที่คำนวณได้จากการคิดหน้าตัดเต็มมีค่าสูงสุด นอกจากนั้นยังได้พิจารณาตำแหน่งของแรงที่มากระทำคือ น้ำหนักกระทำผ่านศูนย์ถ่วงของหน้าตัดประสิทธิผลเสมอ น้ำหนักกระทำผ่านศูนย์ถ่วงของหน้าตัดเต็มและไม่คิดผลของการดัดที่เกิดจากการเยื้องศูนย์หลังการโก่งเดาะเฉพาะจุดในการคำนวณหน้าตัดประสิทธิผล และน้ำหนักกระทำผ่านศูนย์กลางของหน้าตัดเต็มโดยคิดผลของการดัดที่เกิดจากการเยื้องศูนย์ในการคำนวณหาหน้าตัดประสิทธิผล พบว่าในกรณีแรกค่ากำลังที่ได้จะให้ค่าที่ปลอดภัยคือมีค่าน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสองกรณีหลัง และเมื่อเปรียบเทียบค่ากำลังของตำแหน่งที่แรงมากระทำสองกรณีหลังพบว่าค่ากำลังที่คำนวณได้มีค่าแตกต่างกันน้อยมากซึ่งแสดงให้เห็นว่าผลของหน่วยแรงดัดจากการเยื้องศูนย์เนื่องจากการโก่งเดาะเฉพาะจุดมีน้อยมากในการคำนวณกำลังของเสาซึ่งผลการทดสอบที่ได้ยืนยันผลการคำนวณ

Kwon and Hancock (1992) ได้ทำการทดสอบหาน้ำหนักที่ทำให้เสาสั้นหน้าตัดรูปรางน้ำเสริมขอบเกิดการโก่งเดาะเฉพาะจุดและเกิดการบิดเบี้ยวของหน้าตัดได้ โดยใช้หน้าตัดรูปรางน้ำเสริมขอบแบบธรรมดาและรูปรางน้ำเสริมขอบที่มีครีบเสริมกำลังที่ส่วนกลางของแผ่นเอวและมีจุดรองรับแบบยึดแน่น ผลการทดสอบที่ได้นั้นจะเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Finite strip elastic buckling (BFINST) และวิธี Spline finite strip elastic buckling (BFPLATE) จากการทดสอบซึ่งอาศัยเส้นความสัมพันธ์ระหว่างแรงและค่ายกกำลังสองของการเคลื่อนที่ทางด้านข้างของแผ่นเอวนั้นมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนท์ทั้งสองวิธี นอกจากนี้ยังได้ทำการเปรียบเทียบกับสมการที่ใช้ในการออกแบบที่นำเสนอโดยวิธีของ Lau and Hancock (1988) และของ Winter (1968) พบว่าโดยวิธีของ Winter นั้นค่าที่ได้ค่อนข้างไม่ปลอดภัย

Sivakumaran and Rahman (1998) ได้ทำการทดสอบและสร้างรูปแบบจำลองโดยไฟไนท์อิลีเมนต์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการเกิดการโก่งเดาะเฉพาะจุด และกำลังประลัยของเสาสั้นหน้าตัดรูปรางน้ำเสริมขอบที่รับแรงอัดตามแนวแกน โดยเลือกหน้าตัดในการศึกษาสองขนาดด้วยกันและจุดรองรับแบบยึดแน่น ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบประกอบไปด้วยตัวอย่างที่มีการเจาะรูในรูปแบบต่างๆและตัวอย่างที่ไม่มีการเจาะรู สำหรับรูปแบบจำลองไฟไนท์อิลีเมนต์ได้ใช้ 9 noded assume strain shell element และการวิเคราะห์แบบไม่เป็นเส้นตรง (Nonlinear analysis) โดยที่การสร้างรูปแบบจำลองได้คำนึงถึงผลของหน่วยแรงคงค้าง ความไม่สมบูรณ์ของตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ และความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดใช้ในการสร้างรูปแบบจำลองด้วย จากการศึกษาพบว่ากำลังหลักเกิดการโก่งเดาะเฉพาะจุดและกำลังประลัยจากการทดสอบมีค่าใกล้เคียงกับผลการวิเคราะห์ นอกจากนั้นพบว่าเสาที่มีการเจาะรูมีกำลังที่ทำให้เกิดการโก่งเดาะและกำลังประลัยต่ำกว่าเสาที่ไม่มีการเจาะรู เนื่องจากความแข็งแรงของเสาที่เจาะรูน้อยกว่าของเสาที่ไม่มีการเจาะรู

Young and Rasmussen (1998) ได้ทำการทดสอบศึกษาพฤติกรรมการรับน้ำหนักของเสาเหล็กรีดเย็นหน้าตัดรูปรางน้ำที่มีจุดรองรับแบบยึดแน่น โดยใช้ขนาดของหน้าตัดในการทดสอบ 2 ขนาดที่ความยาวต่างๆกัน และเปรียบเทียบค่ากำลังที่ได้จากการทดสอบกับมาตรฐานที่ใช้ในการออกแบบของออสเตรเลีย/นิวซีแลนด์ (1996) มาตรฐานของอเมริกา (1996) และมาตรฐานของยุโรป (1996) เมื่อเปรียบเทียบค่ากำลังของเสาที่คำนวณได้จากมาตรฐานทั้งสามกับการทดสอบพบว่า ค่าที่ได้จากมาตรฐานทั้งสามมีค่าที่ปลอดภัยเมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากการ

ทดสอบ ทั้งนี้เนื่องจากมาตรฐานมีการกำหนดให้ค่าการเยื้องศูนย์ระหว่างจุดศูนย์กลางของหน้าตัดและจุดศูนย์กลางของหน้าตัดประสิทธิผลมีค่าที่มากเกินไป อย่างไรก็ตามพฤติกรรมการเสียรูปที่ได้จากมาตรฐานทั้งสามจะสอดคล้องกับผลที่ได้จากการทดสอบ นอกจากนี้ยังศึกษาผลกระทบของการโก่งเดาะเฉพาะจุดที่มีผลต่อพฤติกรรมการเสียรูปของเสา ซึ่งพบว่าการโก่งเดาะที่เกิดขึ้นในกรณีของเสาที่มีจุดรองรับแบบยึดแน่นไม่ได้ทำให้เกิดการดัดเนื่องจากแรงกระทำที่เยื้องศูนย์ที่หน้าตัดประสิทธิผล แต่ในกรณีที่จุดรองรับเป็นแบบหมุนได้รอบแกนรอง พบว่าแรงกระทำที่เยื้องศูนย์ที่หน้าตัดประสิทธิผล มีผลทำให้เสาเกิดการดัดก่อนที่เสาจะถึงจุดที่แรงสูงสุดที่ทำให้เสาเกิดการโก่งเดาะทั้งหมด

Young and Rasmussen (1999) ได้ทำการศึกษาผลของการเคลื่อนที่ของจุดศูนย์กลางของหน้าตัดประสิทธิผลของหน้าตัด เนื่องจากการกระจายหน่วยแรงไม่สม่ำเสมอบนหน้าตัดที่เกิดการโก่งเดาะเฉพาะจุดที่มีต่อค่ากำลังรับแรงอัดของเสาเหล็กขึ้นรูปเย็นหน้าตัดรูปรางน้ำและหน้าตัดรูปรางน้ำเสริมขอบ และได้ทำการเปรียบเทียบค่าการเยื้องศูนย์ที่วัดได้จากการทดสอบกับค่าที่คำนวณได้กับมาตรฐานของออสเตรเลีย/นิวซีแลนด์ (1996) และมาตรฐานของอเมริกา (1996) ซึ่งจากการศึกษาพบว่าผลของการเยื้องศูนย์กลางของหน้าตัดประสิทธิผลที่มีต่อค่ากำลังอัดมีค่ามากขึ้นเมื่อเสาสั้นลง และเมื่อทำการเปรียบค่าการเยื้องศูนย์ที่ได้จากการทดสอบกับค่าที่ได้จากการคำนวณโดยมาตรฐานพบว่าค่าที่คำนวณได้จากมาตรฐานมีค่ามากกว่าค่าที่ได้จากการทดสอบ ทำให้ค่ากำลังของเสาที่ได้จากการออกแบบตามมาตรฐานมีค่าต่ำกว่าค่ากำลังที่ได้จากการทดสอบ และจากผลการทดสอบที่ได้ทั้งสองยังได้ปรับปรุงและนำเสนอสมการที่ใช้ในการคำนวณค่าการเยื้องศูนย์ของหน้าตัดด้วย

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

วัตถุประสงค์ในการวิจัยครั้งนี้คือ

1.3.1 ศึกษาพฤติกรรมการโก่งเดาะของเสาหน้าตัดบางรูปรางน้ำเสริมขอบรับแรงอัดโดยการทดสอบ

1.3.2 ศึกษาเปรียบเทียบแรงสูงสุดของเสาหน้าตัดบางรูปรางน้ำเสริมขอบที่ได้จากการทดสอบกับการคำนวณตามมาตรฐาน American Iron and Steel Institute (AISI, 1996) และมาตรฐาน ว.ส.ท

1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับจากการศึกษาเชิงทฤษฎีและเชิงประยุกต์

การวิจัยนี้จะทำให้เข้าใจถึงพฤติกรรมการโก่งเดาะจริงของเสาหน้าตัดบางรูปรางน้ำเสริมขอบ และเข้าใจถึงพื้นฐานของมาตรฐานที่ใช้ในการออกแบบ ซึ่งมาตรฐานการออกแบบของประเทศไทยนั้นเป็นมาตรฐานที่ออกมาค่อนข้างนาน การศึกษานี้อาจส่งผลให้มีการปรับปรุงแก้ไข

1.5 ขอบเขตและสมมุติฐานการวิจัย

1.5.1 ขอบเขตการวิจัย

ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบตาม มอก. เป็นหน้าตัดรูปรางน้ำเสริมขอบ ขนาด 100x50x20 มม. หนา 2.3 มม. จำนวนทั้งสิ้น 30 ตัวอย่างโดยแบ่งเป็น

- ทดสอบเสามีฐานรองรับเป็นแบบยึดแน่นที่ความยาว 0.4 ม. 0.5 ม. 1.0 ม. 1.5 ม. 2.0 ม. และ 2.2 ม. ความยาวละ 3 ตัวอย่างรวมทั้งสิ้น 15 ตัวอย่าง
- ทดสอบเสามีฐานรองรับแบบหมุนได้โดยอิสระที่ความยาว 0.4 ม. 0.5 ม. 1.0ม. 1.5 ม. 2.0 ม. และ 2.2 ม. ความยาวละ 3 ตัวอย่างรวมทั้งสิ้น 15 ตัวอย่าง
- การทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของเหล็กให้อ้างอิงตาม มอก.1228-2537. การทดสอบหาความหนาที่แท้จริงของเหล็กให้อ้างอิงตาม ASTM A90-81
- ผลการทดสอบที่ได้ทำการเปรียบเทียบกับมาตรฐาน AISI, วสท.

1.5.2 สมมุติฐานที่ใช้ในการทดสอบ

- น้ำหนักกระทำผ่านจุดศูนย์กลางของหน้าตัดและกระจายสม่ำเสมอทั่วหน้าตัด
- ไม่พิจารณาผลเนื่องจากหน่วยแรงคงค้าง
- หน้าตัดเสามีความกว้าง ความยาว ความหนาสม่ำเสมอทั่วหน้าตัด และตลอดความยาวเสา
- ฐานรองรับแบบยึดแน่นกำหนดให้ไม่มีการเคลื่อนที่ในแนวแกนราบ และไม่ให้มีการหมุนรอบแนวแกนราบและรอบแนวแกนเสา ส่วนในกรณีฐานรองรับแบบหมุนได้อิสระ กำหนดให้ไม่มีการเคลื่อนในแนวแกนราบและไม่ให้มีการหมุนรอบแนวแกนเสา แต่ให้มีการหมุนได้โดยอิสระรอบแนวแกนราบ
- ในการคำนวณจะใช้ค่าจุดคลากของเหล็กที่ใช้ ให้อ้างอิงจากผลการทดสอบให้พิจารณาว่าเป็นจุดคลากโดยเฉลี่ยของหน้าตัด สำหรับค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นที่ใช้ในการคำนวณกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 2.1×10^6 กก./ ตร.ซม.