บทที่ 1

บทนำ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.1 ความนำ

การวิเคราะห์โครงสร้างแบบอิลาสติก-พลาสติก เป็นการวิเคราะห์ที่ทำให้เราทราบถึงพฤติกรรมของโครงสร้างนับตั้งแต่เริ่มรับน้ำหนักบรรทุก และเพิ่มน้ำหนักบรรทุกขึ้นเรื่อยๆจนกระทั่งเกิดการคลากขึ้นที่บางบริเวณ เมื่อเพิ่มน้ำหนักบรรทุกขึ้นต่อไปอีกจะทำให้บริเวณอื่นเกิดการคลากเพิ่มขึ้น ลักษณะนี้จะเกิดจนกระทั่งมีจำนวนจุดหมุนพลาสติกมากพอที่จะทำให้โครงสร้างเกิดสภาวะไม่เสถียรภาพหรือเกิดกลไกวิบัติขึ้น

กลไกการวิบัติของโครงเหล็กข้อแข็ง ภายใต้เงื่อนไขของน้ำหนักบรรทุกที่กำหนดไว้ โดยปกติสามารถประมาณได้ โดยอาศัยการวิเคราะห์ด้วยวิธีอิลาสติก-พลาสติกอันดับแรก อย่างไรก็ตามเมื่อต้องการความถูกต้องของผลการวิเคราะห์ ให้สอดคล้องกับพฤติกรรมที่แท้จริงของโครงสร้าง จะต้องวิเคราะห์ด้วยวิธีอิลาสติก-พลาสติกอันดับที่สอง

ในการวิเคราะห์โครงสร้างที่เป็นอาคารสูง จำเป็นจะต้องพิจารณาถึงการสูญเสียเสถียรภาพทางแนวดิ่งของเสา ซึ่งจะทำให้มีโมเมนต์ดัดที่กระทำต่อโครงสร้างเพิ่มขึ้น เนื่องมาจากแรงแนวแกนของเสากับระยะเยื้องศูนย์ในแนวดิ่งจากแนวแกนของเสา (P-Δ Effect) การวิเคราะห์ปัญหานี้สามารถทำได้โดยตรงโดยอาศัยการวิเคราะห์โครงสร้างอันดับสอง สำหรับในงานวิจัยนี้จะนำหลักการบางอย่างเข้าร่วมกับการวิเคราะห์อันดับแรกโดยตรงซึ่งจะทำให้ผลลัพธ์ที่ได้มีลักษณะใกล้เคียงกับการวิเคราะห์อันดับสอง แต่จะมีความยุ่งยากซับซ้อนน้อยกว่า ซึ่งทำให้ลดเวลาในการคำนวณลงได้ ทำให้เหมาะกับการนำไปใช้ในการวิเคราะห์วิธีอิลาสติก-พลาสติก

ในการวิเคราะห์โครงสร้างตามที่กล่าวข้างต้น สามารถสรุปความสัมพันธ์ของสมมุติฐานแบบจำลองพฤติกรรมของโครงสร้างได้กราฟรูปที่ 1.1 จะพบว่าเส้นกราฟ O-A คือแบบจำลองที่แสดงพฤติกรรมของโครงสร้างเป็นแบบอิลาสติกสมบูรณ์ หรือความสัมพันธ์ของหน่วยแรงและความเครียดของวัสดุเป็นแบบเส้นตรงตลอด และไม่มีจุดใดเลยในโครงสร้างเกิด

เป็นจุดหมุนพลาสติกขึ้น ส่วนเส้นกราฟ O-O'-B เป็นแบบจำลองที่เรียกว่า RIGID PLASTIC คือพฤติกรรมในช่วงที่เกิดจุดหมุนพลาสติกมาก และมีการเสียรูปมากแบบไม่จำกัด การพิจารณาทั้งสภาพที่เป็นแบบอิลาสติก-พลาสติกไปพร้อมๆกันจนกว่าโครงสร้างจะวิบัตินั้น ได้แสดงไว้ตามเส้นกราฟ O-C จะเป็นการวิเคราะห์อันดับแรกและเส้นกราฟ O-D ก็จะเป็นการวิเคราะห์อันดับที่สอง ตามลำดับ

การตอบสนองของพฤติกรรมต่างๆของโครงสร้างแบบอิลาสติก-พลาสติกของงานวิจัยนี้จะนำผลของ P-Δ ซึ่งเกิดจากการเสียรูปของโครงสร้างจากการวิเคราะห์อันดับแรก และการย้อนกลับของโมเมนต์ ณ จุดหมุนพลาสติกเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของแรงแนวแกน มาร่วมกับการวิเคราะห์อันดับแรก โดยพิจารณาผลของความสัมพันธ์ระหว่างแรงแนวแกนและแรงดัด จะพบว่าค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกสะสมที่จุดวิบัติของโครงสร้าง การโก่งตัวสูงสุดของโครงสร้าง และพฤติกรรมการเกิดจุดหมุนพลาสติกในโครงสร้างที่ได้ จะมีค่าใกล้เคียงกับการวิเคราะห์อันดับสองมาก

1.2 <u>งานวิจัยที่ผ่านมา</u>

ในปี ค.ศ. 1963 Wang (1) ได้เสนอหลักการพื้นฐานในการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีอิลาสติก-พลาสติก โดยหลักการที่เสนอจะใช้การวิเคราะห์อันดับแรก โดยสามารถติดตามตำแหน่ง และลำดับของการเกิดจุดหมุนพลาสติกทุกๆจุด จนกระทั่งโครงสร้างเกิดการวิบัติและจะแสดงค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกสะสม (Cumulative Load Factor) ค่าการเปลี่ยนตำแหน่ง (Displacements) และค่าแรงภายใน (Internal Forces) ที่ข้อต่อในแต่ละครั้งที่จุดหมุนพลาสติกเกิดขึ้น โดยไม่คำนึงถึงผลของแรงแนวแกนที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของพลาสติกโมเมนต์ และ ความไม่เสถียรภาพ

ในปี ค.ศ. 1965 Harrison (2) ได้ปรับปรุงหลักการบางอย่างของ Wang (1) เช่น เงื่อนไขในการตรวจสอบการวิบัติของโครงสร้าง การหาค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุก พิจารณาผลของแรงแนวแกนที่มีต่อการเปลี่ยนรูปร่าง แต่ยังไม่ได้พิจารณาผลของแรงแนวแกนที่มีต่อพลาสติกโมเมนต์ แต่หลักการส่วนใหญ่ยังคงดำเนินตามที่ Wang (1) เสนอไว้

สำหรับผลงานวิจัยของสองท่านนี้เป็นการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีอิลาสติก-พลาสติกอันดับแรก ซึ่งไม่คำนึงถึงความไม่เป็นเชิงเส้นของรูปร่างทางเรขาคณิต (Geometric Nonlinearity) และความไม่เป็นเชิงเส้นของวัสดุ (Material Nonlinearity) ซึ่งผลจากการวิเคราะห์อันดับแรกจะได้ค่าทางขอบเขตบน (Upper Bound) ซึ่งเป็นด้านที่ไม่ปลอด

ภัย (Nonconservative Side) และต่างจากพฤติกรรมของโครงสร้าง ดังนั้นในงานวิจัยต่อมาจึงใช้การวิเคราะห์ที่เป็นอันดับที่สอง เพื่อที่จะให้ผลการวิเคราะห์ที่ได้สอดคล้องกับพฤติกรรมของโครงสร้างมากขึ้น

ในปี ค.ศ. 1968 Korn และ Galambos (4) ได้เสนอวิธีการในการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีอิลาสติก-พลาสติกโดยใช้การวิเคราะห์อันดับที่สอง โดยอาศัยสมการมุมและการโก่ง (Slope-Deflection Equation) กล่าวคือสมการของการสมดุลจะกำหนดจากรูปร่างของโครงสร้างที่เปลี่ยนแปลงไป (Deformed Structural Configuration) ดังนั้นผลของกำลัง (Strength) และความเสถียร (Stability) จึงถูกรวมเข้าไปในการวิเคราะห์โดยอัตโนมัติ แต่วิธีการวิเคราะห์ดังกล่าวสามารถใช้ได้กับโครงสร้างที่ไม่เกิน 2 ช่วง (Bay) และความสูงของเสาทุกตัวจะต้องมีค่าเท่ากัน

ในปี ค.ศ. 1983 Kassimali (7) ได้เสนอวิธีการสำหรับการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีอิลาสติก-พลาสติก โดยใช้การวิเคราะห์ที่การเปลี่ยนแปลงรูปร่างมีค่ามาก (Large Deformation Analysis) ซึ่งมีพื้นฐานมาจากทฤษฎีของออยเลอร์และวิธีทำซ้ำของนิวตัน-ราฟสัน อย่างไรก็ตามผลการวิเคราะห์ที่ได้ก็ยังใกล้เคียงกับของ Korn และ Galambos (4)

ในปี ค.ศ. 1989 Gharpuray และ Aristizabal-Ochoa (8) ได้เสนออัลกอริธึมอย่างง่าย สำหรับการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีอิลาสติก-พลาสติกด้วยการวิเคราะห์อันดับที่สอง โดยไม่คำนึงถึงผลกระทบของแรงแนวแกนที่มีต่อสติฟเนสทางการดัดของชิ้นส่วนจึงทำให้ลดเวลาในการคำนวณลง และ ผลการวิเคราะห์ที่ได้ใกล้เคียงกับของ Korn และ Galambos (4)

ในปี ค.ศ. 1990 ศิริวุฒิ ศศิบุตร (10) ได้เสนอวิธีการสำหรับการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีอิลาสติก-พลาสติก โดยการนำผลงานของ Wang (1) และ Harrison (2) มาดัดแปลงเพิ่มเติม เช่น การคำนึงถึงผลของแรงแนวแกนที่มีต่อพลาสติกโมเมนต์ เสถียรภาพ และเงื่อนไขในการตรวจสอบการเกิดจุดหมุนพลาสติก เป็นต้น เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ใกล้เคียงกับการวิเคราะห์อันดับสองมากขึ้น

ในปี ค.ศ. 1990 Chandra (11) เสนอหลักการวิเคราะห์อิลาสติก-พลาสติก โดยใช้ซีแคนต์สติฟเนส (Secant Stiffness) ซึ่งสังเคราะห์มาจากการใช้วิธีทำซ้ำแทนการใช้สติฟเนสเส้นสัมผัส (Tangent Stiffness) ที่ใช้กันอยู่ โดยคำนึงถึงผลของแรงแนวแกน

และแรงตัดที่มีผลต่อสติฟเนสที่เปลี่ยนไปของโครงเหล็กข้อแข็งสามมิติ และการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของชิ้นส่วนโดยใช้การวิเคราะห์อันดับสอง โดยคำนึงถึงความไม่เป็นเชิงเส้นของวัสดุและรูปร่างของชิ้นส่วน โดยใช้เวลาน้อยกว่าการวิเคราะห์อันดับสองที่ใช้สติฟเนสเส้นสัมผัส

ในปี ค.ศ. 1991 ประมวล หาดขุนทด (12) ได้ปรับปรุงหลักการบางอย่างต่อจากงานของศิริวุฒิ (10) คือได้เพิ่มการพิจารณารูปแบบของแรงจากเดิมที่เป็นเฉพาะแรงแบบเป็นจุดกระทำที่จุดข้อต่อ มาเป็นรูปแบบของแรงเป็นจุดและแรงแบบแผ่กระจายสม่ำเสมอ ซึ่งลักษณะของแรงเช่นนี้อาจทำให้เกิดจุดหมุนพลาสติกขึ้นภายในชิ้นส่วนของโครงสร้างได้ แต่ไม่สามารถทำการคำนวณต่อหลังจากเกิดจุดหมุนพลาสติกภายในชิ้นส่วนหรือองค์อาคาร ซึ่งเป็นข้อจำกัดของการวิเคราะห์อันดับแรก

ในปี ค.ศ. 1992 วิริยะ สารพา (13) ได้ปรับปรุงหลักการบางอย่างของ ศิริวุฒิ (10) และประมวล (12) ซึ่งพิจารณาค่าตัวประกอบความยาวประสิทธิผลของชิ้นส่วนจากรูปแบบสภาพการยึดรั้งที่ปลายเสา ของ CRC (Column Research Council) มาเป็นการหาค่าตัวประกอบความยาวประสิทธิผลของชิ้นส่วนจากสมการลักษณะเฉพาะของ Alignment Charts และ ได้เพิ่มการคำนวณออกแบบโครงเหล็กข้อแข็งด้วยวิธีอิลาสติก-พลาสติก

ในปี ค.ศ. 1992 สัญญา เพชรเนียม (14) เสนอการวิเคราะห์อิลาสติก-พลาสติกสำหรับโครงข้อแข็ง โดยพิจารณาผลเนื่องจากแรงแนวแกนของชิ้นส่วนที่มีต่อพลาสติกโมเมนต์เสถียรภาพ และเงื่อนไขในการตรวจสอบการเกิดจุดหมุนพลาสติก เป็นต้น เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ใกล้เคียงกับการวิเคราะห์อันดับสองมากขึ้น โดยใช้วิธีการทำซ้ำสำหรับโครงเหล็กข้อแข็งทั่วไป และวิธีคุณสมบัติของชิ้นส่วนมีค่าเป็นลบ (Negative Property Fictitious Member Method) สำหรับโครงข้อแข็งหลายชั้น ที่ให้ผลใกล้เคียงกับการวิเคราะห์อันดับสอง โดยที่ใช้เวลาในการคำนวณไม่มาก

ในการวิเคราะห์อันดับสองโดยตรง จะใช้วิธีการแบบลองผิดลองถูก (Trial and Error) สำหรับหาผลลัพธ์ดังเช่นวิธี นิวตัน-ราฟสัน ซึ่งจะใช้เวลาในการคำนวณมากและค่อนข้างยากในการทำความเข้าใจโปรแกรม จึงทำให้โปรแกรมวิเคราะห์อันดับสองไม่ค่อยมีประโยชน์สำหรับวิศวกรโครงสร้างในทางปฏิบัติ

1.3 งานวิจัยที่กำลังจะศึกษาต่อไป

งานวิจัยที่จะศึกษาต่อไปนี้เป็นการนำหลักการของการวิเคราะห์อิลาสติก-พลาสติกไป

ศึกษาพฤติกรรมของโครงเหล็กข้อแข็ง ตั้งแต่น้ำหนักบรรทุกใช้งานไปจนถึงน้ำหนักบรรทุกสูงสุด โดยคำนึงถึงความสัมพันธ์ของแรงแนวแกนและแรงดัด ในแง่ของกำลังและเสถียรภาพ พิจารณาผลของโมเมนต์ที่เพิ่มขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของโครงสร้าง ไปจากการวิเคราะห์อันดับแรก (P-Δ Effect) และการย้อนกลับของโมเมนต์ ณ จุดหมุนพลาสติกอันเนื่องมาจากแรงแนวแกนที่เปลี่ยนไป คือส่วนที่พิจารณาเพิ่มรวมเข้ากับการวิเคราะห์อันดับแรก รวมทั้งการวิเคราะห์โครงเหล็กข้อแข็งภายหลังที่เกิดจุดหมุนพลาสติกภายในชิ้นส่วนแล้ว เพื่อให้ผลที่ได้ใกล้เคียงกับการวิเคราะห์อันดับสองโดยตรง แต่จะมีความยุ่งยากซับซ้อนน้อยกว่า ทำให้เหมาะกับการนำไปใช้ในการวิเคราะห์ด้วยวิธีอิลาสติก-พลาสติกมากขึ้น ดังนั้นผลของเสถียรภาพจะถูกพิจารณารวมเข้ากับการวิเคราะห์โดยตรง และผลของแรงแนวแกนและแรงดัด ในแง่ของกำลังจะถูกรวมผลจาก P-Δ ด้วย ซึ่งการวิเคราะห์อันดับแรกไม่สามารถทำได้

1.4 <u>วัตถุประสงค์</u>

1.4.1 ศึกษาวิธีวิเคราะห์โครงเหล็กข้อแข็งในระนาบ ด้วยวิธีอิลาสติก-พลาสติก โดยพิจารณาผลของ P-Δ และการย้อนกลับของโมเมนต์ ณ จุดหมุนพลาสติกร่วมกับวิธีการวิเคราะห์อันดับแรก

1.4.2 กำหนดสมมุติฐานอย่างง่าย เพื่อศึกษาพฤติกรรมของโครงเหล็กข้อแข็ง ณ สภาวะการใช้งานไปจนถึงสภาวะการวิบัติของโครงสร้าง

1.4.3 สร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับวิเคราะห์โครงสร้าง เพื่อหาผลการตอบสนองของโครงเหล็กข้อแข็ง

1.4.4 ศึกษาและเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ที่ได้กับงานวิจัยที่ผ่านมา

1.4.5 เสนอแนะหลักการของ อิลาสติก-พลาสติก สำหรับใช้ศึกษาในขั้นต่อไป

1.5 <u>ขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัย</u>

1.5.1 ศึกษาวิธีการต่างๆที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลของแรงดัดที่เพิ่มขึ้น อันเนื่องมาจากการเสียรูปโครงสร้าง (P-Δ Effect)

1.5.2 ศึกษาข้อจำกัด สมมุติฐาน และ วิธีการของการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีอิลาสติก-พลาสติก

1.5.3 ศึกษาผลกระทบซึ่งกันและกัน (Interaction) ระหว่างแรงแนวแกนกับแรงดัด ซึ่งมีผลต่อเงื่อนไขในการเกิดจุดหมุนพลาสติก และ สติฟเนสขององค์อาคารเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการหาค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุก

1.5.4 พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์จากผลการศึกษาที่ได้เพื่อการวิเคราะห์ดังกล่าว

1.5.5 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ที่ได้กับงานวิจัยที่ผ่านมา และ สรุป

1.6 ขอบข่ายงานวิจัย

1.6.1 เป็นการวิเคราะห์โครงสร้างที่มีลักษณะเป็นโครงเหล็กข้อแข็งระนาบ โดยคำนึงถึงผลจาก P-Δ และการย้อนกลับของโมเมนต์ ณ จุดหมุนพลาสติกอันเนื่องมาจากแรงแนวแกนที่เปลี่ยนไป

1.6.2 พิจารณาการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเนื่องจากแรงดัดและแรงแนวแกน

1.6.3 พิจารณาผลกระทบซึ่งกันและกัน (Interaction) ระหว่างแรงแนวแกนกับแรงดัดขององค์อาคารที่รับแรงแนวแกนและแรงดัดร่วมกันทั้งในแง่ของกำลัง (Strength) และความเสถียร (Stability)

1.6.4 แรงกระทำมีลักษณะเป็นแรงสถิตย์ และเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอจนกระทั่งโครงสร้างเกิดการวิบัติ

1.6.5 สมมุติให้องค์อาคารมีพฤติกรรมแบบอิลาสติกในระหว่างเกิดจุดหมุนพลาสติก และไม่มีการย้อนกลับ (Irreversible) ของจุดหมุนพลาสติก