หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความนำ

การวิเคราะห์โครงสร้างแบบอิลาสติก-พลาสติก เป็นการวิเคราะห์ที่ทำให้เราทราบถึงพฤติกรรมของโครงสร้างนับตั้งแต่เริ่มรับน้ำหนักบรรทุก และ เพิ่มน้ำหนักบรรทุกขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งเกิดการคลากขึ้นที่บางบริเวณ เมื่อทำการเพิ่มน้ำหนักบรรทุกขึ้นต่อไปอีก จะทำให้บริเวณอื่นเกิดการคลากเพิ่มขึ้น ลักษณะนี้จะเกิดจนกระทั่งมีจำนวนจุดหมุนพลาสติกมากพอที่จะทำให้โครงสร้างเกิดสภาวะไม่เสถียรภาพหรือเกิดกลไกวิบัติขึ้น

กลไกการวิบัติของโครงข้อแข็ง ภายใต้เงื่อนไขของน้ำหนักบรรทุกที่กำหนดไว้ โดยปกติสามารถประมาณได้โดยอาศัยการวิเคราะห์ด้วยวิธีอิลาสติก-พลาสติกอันดับแรก อย่างไรก็ตาม เมื่อต้องการความถูกต้องของผลการวิเคราะห์ ให้สอดคล้องกับพฤติกรรมที่แท้จริงของโครงสร้าง จะต้องวิเคราะห์ด้วยวิธีอิลาสติก-พลาสติกอันดับที่สอง

ในการวิเคราะห์โครงสร้างที่เป็นอาคารสูง จำเป็นจะต้องพิจารณาถึงการสูญเสียเสถียรภาพทางแนวดิ่งของเสา ซึ่งจะทำให้มีโมเมนต์ที่กระทำต่อโครงสร้างเพิ่มขึ้น เนื่องมาจากแรงในแนวแกนของเสา กับ ระยะเยื้องสูญในแนวดิ่งจากแนวแกนของเสา (P-Δ Effect) การวิเคราะห์ปัญหานี้สามารถทำได้โดยตรง โดยอาศัยการวิเคราะห์โครงสร้างอันดับสอง สำหรับในงานวิจัยครั้งนี้ จะนำหลักการบางอย่างเข้าร่วมกับการวิเคราะห์อันดับแรกโดยตรง ซึ่งจะทำให้ผลลัพธ์ที่ได้มีลักษณะใกล้เคียงกับ การวิเคราะห์อันดับสอง แต่จะมีความยุ่งยากซับซ้อนน้อยกว่าและไม่ต้องใช้การวิเคราะห์โดยวิธีทำซ้ำ (Iteration Method) ซึ่งทำให้ลด

เวลาในการคำนวณลงได้ ทำให้เหมาะกับการนำไปใช้ในการวิเคราะห์ด้วยวิธีอิลาสติก-พลาสติก

ในการวิเคราะห์โครงสร้างตามที่กล่าวข้างต้น สามารถสรุปความสัมพันธ์ของสมมุติฐานแบบจำลองพฤติกรรมของโครงสร้างได้กราฟรูปที่ 1.1 จะพบว่าเส้นกราฟ O-A คือแบบจำลองที่แสดงพฤติกรรมของโครงสร้างเป็นแบบอิลาสติกสมบูรณ์ หรือ ความสัมพันธ์ของหน่วยแรง และความเครียดของวัสดุเป็นแบบเส้นตรงตลอด และ ไม่มีจุดใดเลยในโครงสร้างเกิดเป็นจุดหมุนพลาสติกขึ้น ส่วนเส้นกราฟ O-O'-B เป็นแบบจำลองที่เรียกว่า RIGID PLASTIC คือ พฤติกรรมในช่วงที่เกิดจุดหมุนพลาสติกมาก และมีการเสียรูปมากแบบไม่จำกัด ขณะที่พิจารณาทั้งสภาพที่เป็นแบบอิลาสติก-พลาสติกไปพร้อม ๆ กันจนกว่าโครงสร้างจะวิบัตินั้นได้แสดงไว้ตามเส้นกราฟ O-C จะเป็นการวิเคราะห์อันดับแรกและเส้นกราฟ O-D ก็จะเป็นการวิเคราะห์อันดับที่สอง ตามลำดับ

การตอบสนองของพฤติกรรมต่าง ๆ ของโครงสร้างแบบอิลาสติก-พลาสติก ของงานวิจัยนี้จะนำผลของ P-Δ ซึ่งเกิดจากการเสียรูปของโครงสร้างจากการวิเคราะห์อันดับแรกมาร่วมกับการวิเคราะห์อันดับแรก โดยพิจารณาผลของความสัมพันธ์ระหว่าง แรงในแนวแกน และแรงตัด จะพบว่าค่าที่ได้จะมีค่าต่ำกว่าการวิเคราะห์อันดับสองทั่วๆ ไปประมาณ 1-12 เปอร์เซนต์เท่านั้นซึ่งถือว่าเป็นค่าที่ยอมรับในแง่ของความปลอดภัยได้

1.2 งานวิจัยที่ผ่านมา

ในปี ค.ศ. 1963 Wang (1) ได้เสนอหลักการพื้นฐานในการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีอิลาสติก-พลาสติก โดยหลักการที่เสนอจะใช้การวิเคราะห์อันดับแรก โดยสามารถติดตามตำแหน่ง และ ลำดับของการเกิดจุดหมุนพลาสติกทุก ๆ จุด จนกระทั่งโครงสร้างเกิดการวิบัติ และจะแสดงค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกสะสม (Cumulative Load Factor) ค่าการเปลี่ยนตำแหน่ง (Displacements) และค่าแรงภายใน (Internal Forces) ที่ข้อต่อในแต่ละครั้งที่จุดหมุนพลาสติกเกิดขึ้น โดยไม่คำนึงถึงผลของแรงในแนวแกนที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างพลาสติกโมเมนต์ และ ความไม่เสถียรภาพ

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

สำหรับผลงานวิจัยของสองท่านนี้เป็นการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีอิลาสติก-พลาสติกอันดับแรก ซึ่งไม่คำนึงถึงความไม่เป็นเชิงเส้น ของรูปร่างทางเรขาคณิต (Geometric Nonlinearity) และความไม่เป็นเชิงเส้นของวัสดุ (Material Nonlinearity) ซึ่งผลจากการวิเคราะห์อันดับแรก จะแทนค่าทางขอบเขตบน (Upper Bound) ซึ่งเป็นด้านที่ไม่ปลอดภัย(Nonconservative Side) ทำให้ไม่เป็นที่ยอมรับได้ ดังนั้นในงานวิจัยต่อ ๆ มาจึงใช้การวิเคราะห์ที่เป็นอันดับที่สอง เพื่อที่จะให้ผลการวิเคราะห์ที่ได้ สอดคล้องกับพฤติกรรมที่แท้จริงของโครงสร้างมากขึ้น

ในปี ค.ศ. 1968 Korn และ Galambos (3) ได้เสนอวิธีการในการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีอิลาสติก-พลาสติก โดยใช้การวิเคราะห์อันดับที่สอง โดยอาศัยสมการมุม และการโก่ง (Slope-Deflection Equation) กล่าวคือ สมการของการสมดุลจะกำหนดจากรูปร่างของโครงสร้างที่เปลี่ยนแปลงไป (Deformed Structural Configuration) ดังนั้นผลของกำลัง (Strength) และความเสถียร (Stability) จึงถูกรวมเข้าไปในการวิเคราะห์โดยอัตโนมัติ แต่วิธีการวิเคราะห์ดังกล่าวสามารถใช้ได้กับโครงสร้างที่ไม่เกิน 2 ช่วง (Bay) และความสูงของเสาทุกตัวจะต้องมีค่าเท่ากัน

ในปี ค.ศ. 1983 Kassimali (4) ได้เสนอวิธีการสำหรับการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีอิลาสติก-พลาสติก โดยใช้การวิเคราะห์ที่การเปลี่ยนแปลงรูปร่างมีค่ามาก (Large Deformation Analysis) ซึ่งมีพื้นฐานมาจากทฤษฎีของออยเลอร์และวิธีทำซ้ำของนิวตัน-ราฟสัน อย่างไรก็ตามผลการวิเคราะห์ที่ได้ก็ยังใกล้เคียงกับของ Korn และ Galambos (3)

ในปี ค.ศ. 1989 Gharpuray และ Aristizabal-Ochoa (5) ได้เสนออัลกอริธึมอย่างง่าย สำหรับการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีอิลาสติก-พลาสติก ด้วยการวิเคราะห์อันดับที่สอง โดยไม่คำนึงถึงผลกระทบของแรงในแนวแกนที่มีต่อสติฟเนสทางการดัดของชิ้นส่วน จึงทำให้ลดเวลาในการคำนวณลง และ ผลการวิเคราะห์ที่ได้ใกล้เคียงกับของ Korn และ Galambos (3)

ในปี ค.ศ. 1990 ศิริวุฒิ ศศิบุตร (6) ได้เสนอวิธีการสำหรับการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีอิลาสติก-พลาสติก โดยการนำผลงานของ Wang (1) และ Harrison (2) มาดัดแปลงเพิ่มเติม เช่น การคำนึงถึงผลของแรงในแนวแกนที่มีต่อพลาสติกโมเมนต์ เสถียรภาพ และเงื่อนไขในการตรวจสอบการเกิดจุดหมุนพลาสติก เป็นต้น เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ใกล้เคียงกับการวิเคราะห์อันดับสองมากขึ้น

ในปี ค.ศ. 1991 ประมวล หาดชุนทด (7) ได้ปรับปรุงหลักการบางอย่างของ ศิริวุฒิ (6) คือ ได้เพิ่มการพิจารณารูปแบบของแรงจากเดิมที่เป็นเฉพาะแรงแบบเป็นจุดกระทำที่จุดข้อต่อ มาเป็น รูปแบบของแรงเป็นจุดและแรงแบบแผ่กระจายสม่ำเสมอ ซึ่งลักษณะของแรงเช่นนี้อาจจะก่อให้เกิดจุดหมุนพลาสติกขึ้นภายในชิ้นส่วนของโครงสร้างได้

ในปี ค.ศ. 1992 วิริยะ สารพา (8) ได้ปรับปรุงหลักการบางอย่างของ ศิริวุฒิ (6) และ ประมวล (7) ซึ่งพิจารณาค่าตัวประกอบความยาวประสิทธิผลของชิ้นส่วนจากรูปแบบสภาพการยึดรั้งที่ปลายเสา ของ CRC (Column Research Council) มาเป็น การหาค่าตัวประกอบความยาวประสิทธิผลของชิ้นส่วน จากสมการลักษณะเฉพาะ ของ Alignment Charts และ ได้เพิ่มการคำนวณออกแบบโครงเหล็กข้อแข็ง ด้วยวิธีอิลาสติก-พลาสติก

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

1.3 งานวิจัยที่กำลังจะศึกษาต่อไป

งานวิจัยที่จะศึกษาต่อไปนี้เป็นการนำหลักการของอิลาสติก-พลาสติก ไปศึกษาพฤติกรรมของโครงข้อแข็งตั้งแต่น้ำหนักบรรทุกใช้งานไปจนถึงน้ำหนักบรรทุกสูงสุด โดยคำนึงถึงความสัมพันธ์ของแรงในแนวแกน และแรงดัด ในแง่ของ กำลัง และ เสถียรภาพ พิจารณาผลของโมเมนต์ที่เพิ่มขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของโครงสร้างไปจากการวิเคราะห์อันดับแรก(P-Δ Effect) คือส่วนที่พิจารณาเพิ่มรวมเข้ากับการวิเคราะห์อันดับแรก เพื่อให้ผลที่ได้ใกล้เคียงกับการวิเคราะห์อันดับสองโดยตรง แต่จะมีความยุ่งยากซับซ้อนน้อยกว่า ทำให้เหมาะกับการนำไปใช้ในการวิเคราะห์ด้วยวิธีอิลาสติก-พลาสติก มากขึ้น ดังนั้นผลของความเสถียรภาพ จะถูกพิจารณารวมเข้ากับการวิเคราะห์โดยตรง และผลของแรงในแนวแกน และแรงดัด ในแง่ของ กำลัง จะถูกรวมผลจาก P-Δ ด้วย ซึ่ง การวิเคราะห์อันดับแรกไม่สามารถทำได้

1.4 วัตถุประสงค์

1.4.1 ศึกษาวิธีวิเคราะห์โครงข้อแข็งในระนาบ โดยวิธีอิลาสติก-พลาสติก โดยพิจารณาผลของ P-Δ ร่วมกับการวิเคราะห์อันดับแรก

1.4.2 กำหนดสมมุติฐานอย่างง่าย เพื่อศึกษาพฤติกรรมของโครงข้อแข็ง ณ สภาวะการใช้งานไปจนถึงสภาวะการวิบัติของโครงสร้าง

1.4.3 สร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์วิเคราะห์ เพื่อหาผลการตอบสนองของโครงข้อแข็ง

1.4.4 ศึกษาและเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ที่ได้กับงานวิจัยที่ผ่านมา

1.4.5 เสนอแนะหลักการของ อิลาสติก-พลาสติก สำหรับใช้ศึกษาในขั้นต่อไป

1.5 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัย

1.5.1 ศึกษาวิธีการต่างๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลของโมเมนต์ที่เพิ่มขึ้น อันเนื่องมาจาก การเสียรูปโครงสร้าง (P-Δ Effect)

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.5.2 ศึกษาข้อจำกัด สมมุติฐาน และ วิธีการของการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีอิลาสติก-พลาสติก

1.5.3 ศึกษา ผลกระทบซึ่งกันและกัน (Interaction) ระหว่างแรงในแนวแกนกับแรงดัด ซึ่งมีผลต่อเงื่อนไขในการเกิดจุดหมุนพลาสติก และ สติฟเนส ขององค์อาคารเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการหาค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุก

1.5.4 พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์จากผลการศึกษาที่ได้เพื่อการวิเคราะห์ดังกล่าว

1.5.5 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ที่ได้กับงานวิจัยที่ผ่านมา และ สรุป

1.6 ขอบข่ายงานวิจัย

1.6.1 เป็นการวิเคราะห์โครงสร้างที่มีลักษณะเป็น โครงข้อแข็งระนาบ ชนิดไม่ค้ำยัน และ คำนึงถึงผล จาก P-Δ

1.6.2 พิจารณาการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง เนื่องจาก แรงดัด แรงในแนวแกน

1.6.3 พิจารณาผลกระทบซึ่งกันและกัน (Interaction) ระหว่างแรงในแนวแกนกับ แรงดัดขององค์อาคาร ที่รับ แรงในแนวแกน และ แรงดัดร่วมกัน ทั้งในแง่ ของกำลัง (Strength) และ ความเสถียร (Stability)

1.6.4 แรงกระทำมีลักษณะเป็นแรงสถิต และ เพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอจนกระทั่งโครงสร้างเกิดการวิบัติ

1.6.5 สมมุติให้ องค์อาคารมีพฤติกรรมแบบอิลาสติกในระหว่างเกิดจุดหมุนพลาสติก และ ไม่มีการย้อนกลับ (Irreversible) ของจุดหมุนพลาสติก