บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความนำ

การวิเคราะห์โครงสร้างแบบอีลาสติก-พลาสติกเป็นการวิเคราะห์ที่ทำให้เราทราบถึงพฤติกรรมของโครงสร้างนับตั้งแต่เริ่มรับน้ำหนักบรรทุกและเพิ่มน้ำหนักบรรทุกขึ้นเรื่อยๆจนกระทั่งเกิดการคลากขึ้นที่บางบริเวณ เมื่อทำการเพิ่มน้ำหนักบรรทุกขึ้นต่อไปอีก จะทำให้ บริเวณอื่นเกิดการคลากเพิ่มขึ้นลักษณะนี้จะเกิดจนกระทั่งมีจำนวนจุดหมุนพลาสติกมากพอที่จะทำให้ โครงสร้างเกิดสภาวะไม่เสถียรภาพหรือเกิดกลไกวิบัติขึ้น

กลไกการวิบัติของโครงข้อแข็งภายใต้เงื่อนไขของน้ำหนักบรรทุกที่กำหนดไว้นั้น โดยปกติสามารถประมาณได้โดยอาศัยการวิเคราะห์ด้วย วิธีอีลาสติก-พลาสติกอันดับแรก (First Order Elastic-Plastic Analysis) ซึ่งจะวิเคราะห์จากโครงสร้างเดิมที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (Undeformed Shape)อย่างไรก็ตาม เมื่อต้องการความถูกต้องของผลการวิเคราะห์ให้สอดคล้องกับพฤติกรรมที่แท้จริงของโครงสร้าง จะต้องวิเคราะห์ด้วยวิธีอีลาสติก-พลาสติกอันดับที่สอง (Second Order Elastic-Plastic Analysis) ซึ่งวิเคราะห์จากโครงสร้างที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างแล้ว (Deformed Shape)

ในการวิเคราะห์โครงสร้างอาคารสูงจำเป็นจะต้องพิจารณาถึงการสูญเสียเสถียรภาพทางแนวดิ่งของเสา ซึ่งจะทำให้มีแรงดัดที่กระทำต่อโครงสร้างเพิ่มขึ้น เนื่องมาจากแรงในแนวแกนของเสากับระยะเยื้องศูนย์ในแนวดิ่งจากแนวแกนของเสา (P - Δ Effect) การวิเคราะห์ปัญหานี้สามารถทำได้โดยตรงโดยอาศัยการวิเคราะห์โครงสร้างอันดับสอง สำหรับในงานวิจัยครั้งนี้ จะนำหลักการบางอย่างเข้าร่วมกับการวิเคราะห์อันดับแรกโดยตรงซึ่งจะทำให้ผลลัพธ์ที่ได้มีลักษณะใกล้เคียงกับการวิเคราะห์อันดับสอง แต่จะมีความยุ่งยากซับซ้อนน้อยกว่าการวิเคราะห์โครงสร้างอันดับที่สองโดยตรง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในการวิเคราะห์โครงสร้างตามที่กล่าวข้างต้นสามารถสรุปความสัมพันธ์ของสมมติฐานแบบจำลองพฤติกรรมของโครงสร้างได้ดังแสดงในกราฟรูปที่ 1.1 พบว่าเส้นกราฟ O-A คือแบบจำลองที่แสดง พฤติกรรมของโครงสร้างเป็นแบบอีลาสติกสมบูรณ์หรือความสัมพันธ์ของหน่วยแรง (Stress) และความเครียด (Strain)ของวัสดุเป็นแบบเส้นตรงตลอด และ ไม่มีจุดใดเลยในโครงสร้างเกิดเป็นจุดหมุนพลาสติก (Plastic Hinge) ขึ้นส่วนเส้นกราฟ O-B แสดงถึงพฤติกรรมโครงสร้างแบบอีลาสติกอันดับที่สองโดยคำนึงถึงผลของการเปลี่ยนแปลงรูปร่างทางเรขาคณิตและความไม่เสถียรของโครงสร้างกราฟจะมีลักษณะโค้งคว่ำแบบเพิ่มขึ้นโดยมีค่าเข้าใกล้น้ำหนักบรรทุกวิกฤต (Elastic Critical Load) เส้นกราฟ O-C แสดงถึงพฤติกรรมของโครงสร้างแบบอีลาสติก-พลาสติกอันดับที่หนึ่งโดยไม่คิดผลของการเปลี่ยนแปลงรูปร่างทางเรขาคณิต กราฟจะเป็นเส้นตรงหลายเส้นต่อกัน (Piecewise Linear Curve) และมีค่าสูงสุดเท่ากับน้ำหนักบรรทุกพลาสติก (Plastic Limit Load) เส้นกราฟ O-D แสดงถึงพฤติกรรมของโครงสร้างแบบอีลาสติก-พลาสติกอันดับที่สองโดยพิจารณาการเปลี่ยนแปลงรูปร่างทางเรขาคณิตซึ่งสัมพันธ์กับการเปลี่ยนตำแหน่งด้านข้างที่เพิ่มขึ้น(P-ΔEffect) กราฟจะมีลักษณะคล้ายกราฟ O-D แต่เมื่อถึงจุดสูงสุดจะมีค่าลดลง ส่วนเส้นกราฟ O-E แสดงถึงพฤติกรรมของโครงสร้างแบบใช้พลาสติกโซน (Plastic Zone Theory) ซึ่งจะพิจารณาผลทั้งหมดของหน่วยแรงคงค้าง (Residual Stress) ความไม่สมบูรณ์แรกเริ่ม (Initial Imperfection) , Strain Hardening และการกระจายของบริเวณที่เกิดแรงดัดพลาสติก ซึ่งจะให้ค่าความสามารถในการรับน้ำหนักที่ถูกต้อง โดยลักษณะของกราฟจะเป็นเส้นโค้งที่มีความต่อเนื่อง (Smooth) และมีค่าลดลงเมื่อถึงจุดสูงสุด

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงวิธีการวิเคราะห์โครงเหล็กข้อแข็งในระนาบด้วยวิธีอีลาสติก-พลาสติก โดยพิจารณาผลของ P-Δ การย้อนกลับของแรงดัด ณ จุดหมุนพลาสติกและการเปลี่ยนรูปร่างด้วยการเฉือนของชิ้นส่วนข้อต่อร่วมกับการวิเคราะห์อันดับแรกเพื่อให้ผลลัพธ์ที่คำนวณได้จากการวิเคราะห์ใกล้เคียงกับพฤติกรรมของโครงสร้างแต่มีความยุ่งยากซับซ้อนในการคำนวณน้อยกว่าการวิเคราะห์โครงสร้างอันดับที่สอง ซึ่งมีผลให้ประหยัดเวลาในการคำนวณลงได้

1.2 งานวิจัยที่ผ่านมา

ในปี ค.ศ. 1963 Wang (1) ได้เสนอหลักการพื้นฐาน ในการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีอีลาสติก-พลาสติกโดยหลักการที่เสนอจะใช้การวิเคราะห์อันดับแรกโดยสามารถติดตาม ตำแหน่งและ ลำดับของการเกิดจุดหมุนพลาสติกทุกๆจุด จนกระทั่งโครงสร้างเกิดการวิบัติ และ จะแสดง

ค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกสะสม (Cumulative Load Factor) ค่าการเปลี่ยนตำแหน่ง (Displacements) และค่าแรงภายใน (Internal Forces) ที่ข้อต่อในแต่ละครั้ง แรงดัดที่จุดหมุนพลาสติกเกิดขึ้น โดยไม่คำนึงถึงผลของแรงในแนวแกนที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง แรงดัดพลาสติกและ ความไม่เสถียรภาพของโครงสร้าง

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

สำหรับผลงานวิจัยของสองท่านนี้เป็นการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีอีลาสติก-พลาสติกอันดับแรก ซึ่งไม่คำนึงถึงความไม่เป็นเชิงเส้นของรูปร่างทางเรขาคณิต (Geometric Nonlinearity) และความไม่เป็นเชิงเส้นของวัสดุ (Material Nonlinearity) ซึ่งผลจากการวิเคราะห์อันดับแรกจะแทนค่าทางขอบเขตบน (Upper Bound) ซึ่งเป็นด้านที่ไม่ปลอดภัย(Nonconservative Side) ทำให้ไม่เป็นที่ยอมรับได้ดังนั้นในงานวิจัยต่อๆมาจึงใช้การวิเคราะห์ที่เป็นอันดับที่สองเพื่อที่จะให้ผลการวิเคราะห์ที่ได้ สอดคล้องกับพฤติกรรมที่แท้จริงของโครงสร้างมากขึ้น

ในปี ค.ศ. 1968 Korn และ Galambos (3) ได้เสนอวิธีการในการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธี อีลาสติก-พลาสติก โดยใช้การวิเคราะห์อันดับที่สอง โดยอาศัยสมการมุม และการโก่ง (Slope-Deflection Equation) กล่าวคือ สมการของการสมดุลจะกำหนดจากรูปร่างของโครงสร้างที่เปลี่ยนแปลงไป (Deformed Structural Configuration) ดังนั้น ผลของกำลัง (Strength) และความเสถียร (Stability) จึงถูกรวมเข้าไปในการวิเคราะห์ โดยอัตโนมัติ แต่วิธีการวิเคราะห์ดังกล่าวสามารถใช้ได้กับโครงสร้างที่ไม่เกิน 2 ช่วง (Bay) และความสูงของเสาทุกตัวจะต้องมีค่าเท่ากัน

ในปี ค.ศ. 1983 Kassimali (8) ได้เสนอวิธีการสำหรับการวิเคราะห์ โครงสร้างด้วยวิธีอีลาสติก-พลาสติกโดยใช้การวิเคราะห์ที่การเปลี่ยนแปลงรูปร่างมีค่ามาก (Large Deformation Analysis) ซึ่งมีพื้นฐานมาจากทฤษฎีของออยเลอร์และวิธีทำซ้ำของนิวตัน-ราฟสัน อย่างไรก็ตามผลการวิเคราะห์ที่ได้ก็ยังใกล้เคียงกับของ Korn และ Galambos (3)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในปี ค.ศ. 1989 Gharpuray และ Aristizabal-Ochoa (11) ได้เสนอ อัลกอริธึมอย่างง่าย สำหรับการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีอีลาสติก-พลาสติกด้วยการวิเคราะห์อันดับที่สองโดยไม่คำนึงถึงผลกระทบของแรงในแนวแกนที่มีต่อสติฟเนสทางการดัดของชิ้นส่วนจึงทำให้ลดเวลาในการคำนวณลง และ ผลการวิเคราะห์ที่ได้ใกล้เคียงกับของ Korn และ Galambos (3)

ในปี ค.ศ. 1988 Kato, Chen และ Nakao (10) ได้เสนอวิธีการวิเคราะห์โครงสร้าง โดยพิจารณาผลของการเปลี่ยนแปลงรูปร่างด้วยการเฉือนของชิ้นส่วนข้อต่อซึ่งจะทำให้การเปลี่ยนตำแหน่งแนวราบมากขึ้น และความสามารถในการรับน้ำหนักของโครงสร้างจะลดลง

ใน ปี ค.ศ. 1990 Chandra (13) เสนอหลักการวิเคราะห์อีลาสติก-พลาสติกโดยใช้Secant Stiffness ซึ่งสังเคราะห์มาจากวิธีการทำซ้ำ แทนการใช้ Tangent Stiffness ที่ใช้กันอยู่ โดยคำนึงถึงผลของแรงแนวแกนและแรงดัดที่มีผลต่อสติฟเนสที่เปลี่ยนไปของโครงเหล็กข้อแข็งสามมิติ และการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของชิ้นส่วนโดยใช้การวิเคราะห์อันดับสองโดยคำนึงถึงความไม่เป็นเชิงเส้นของวัสดุและความไม่เป็นรูปร่างของชิ้นส่วนโดยใช้เวลาน้อยกว่าการวิเคราะห์อันดับสองที่ใช้Tangent Stiffness

ในปี ค.ศ. 1990 ศิริวุฒิ ศศิบุตร (17) ได้เสนอวิธีการสำหรับการวิเคราะห์โครงสร้ างด้วยวิธีอีลาสติก-พลาสติก โดยการนำผลงานของ Wang (1) และ Harrison (2) มาดัดแปลงเพิ่มเติม เช่น การคำนึงถึงผลของแรงในแนวแกนที่มีต่อแรงดัดพลาสติกเสถียรภาพและเงื่อนไขในการตรวจสอบการเกิดจุดหมุนพลาสติก เป็นต้น เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ใกล้เคียงกับการวิเคราะห์อันดับสองมากขึ้น

ในปี ค.ศ. 1991 ประมวล หาดขุนทด (18) ได้ปรับปรุงหลักการบางอย่างของ ศิริวุฒิ (17) คือ ได้เพิ่มการพิจารณารูปแบบของแรงจากเดิมที่เป็นเฉพาะแรงแบบเป็นจุดกระทำที่จุดข้อต่อมาเป็นรูปแบบของแรงเป็นจุดและแรงแบบแผ่กระจายสม่ำเสมอซึ่งลักษณะของแรงเช่นนี้อาจจะก่อให้เกิดจุดหมุนพลาสติกขึ้นภายในชิ้นส่วนของโครงสร้างได้แต่ไม่สามารถคำนวณต่อหลังจากเกิดจุดหมุนพลาสติกภายในชิ้นส่วนหรือองค์อาคาร ซึ่งเป็นข้อจำกัดของการวิเคราะห์อันดับแรก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในปี ค.ศ. 1991 Chen W.F. , Lui E.M. (14) ได้เสนอหลักการวิเคราะห์โครงสร้างโดยพิจารณาผลของการเปลี่ยนแปลงรูปร่างด้วยการเฉือน (Joint - Panel Shear Deformation) โดยใช้แบบจำลอง (Model) หลายรูปแบบ ซึ่งได้ผลการทดสอบสอดคล้องกับแบบจำลองที่ตั้งขึ้น

ในปี ค.ศ. 1992 วิริยะ สารพา (19) ได้ปรับปรุงหลักการบางอย่างของ ศิริวุฒิ (17) และ ประมวล (18) ซึ่งพิจารณาค่าตัวประกอบความยาวประสิทธิผลของชิ้นส่วนจากรูปแบบสภาพการยึดรั้งที่ปลายเสาของ CRC (Column Research Council) มาเป็นการหาค่าตัวประกอบความยาวประสิทธิผลของชิ้นส่วน จากสมการลักษณะเฉพาะของAlignment Charts และ ได้เพิ่มการคำนวณออกแบบโครงเหล็กข้อแข็ง ด้วยวิธีอีลาสติก-พลาสติกอีกด้วย

ใน ปี ค.ศ. 1992 สัญญา เพชรเนียม (20) เสนอการวิเคราะห์อีลาสติก-พลาสติกสำหรับโครงข้อแข็งโดยพิจารณาผลเนื่องจากแรงแนวแกนของชิ้นส่วนที่มีต่อแรงดัดพลาสติกเสถียรภาพ และเงื่อนไขในการตรวจสอบการเกิดจุดหมุนพลาสติก เป็นต้น เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ใกล้เคียงกับการวิเคราะห์อันดับสองมากขึ้น โดยใช้วิธีการทำซ้ำสำหรับโครงเหล็กข้อแข็งทั่วไป และวิธีคุณสมบัติของชิ้นส่วนมีค่าเป็นลบ (Negative Property Fictitious Member Method) สำหรับ โครงข้อแข็งหลายชั้น ทำให้ผลใกล้เคียงกับการวิเคราะห์อันดับสอง โดยที่ใช้เวลาในการคำนวณไม่มากนัก

ใน ปี ค.ศ. 1992 บุญแสง สิริรัตน์ชูวงศ์ (21) ได้เสนอการวิเคราะห์หาผลการตอบสนองของโครงสร้างแบบอีลาสติก-พลาสติกของโครงเหล็กข้อแข็ง โดยพิจารณาผลของ P-Δ และการย้อนกลับแรงดัด ณ จุดหมุนพลาสติกร่วมกับการวิเคราะห์อันดับแรก ผลการวิจัยนี้ได้ค่าใกล้เคียงกับการวิเคราะห์อันดับที่สองทั้งค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกสะสม การเปลี่ยนตำแหน่งตามแนวราบ และลำดับของการเกิดจุดหมุนพลาสติก โดยที่ใช้เวลาในการคำนวณไม่นานนัก

1.3 วัตถุประสงค์

1.3.1 ศึกษาวิธีวิเคราะห์โครงข้อแข็งในระนาบ โดยวิธีอีลาสติก-พลาสติก โดย พิจารณาผลของ P-Δ การย้อนกลับของแรงดัด ณ จุดหมุนพลาสติก และการเปลี่ยนแปลงรูปร่างด้วยการเฉือนของข้อต่อร่วมกับการวิเคราะห์อันดับแรก

1.3.2 ศึกษาพฤติกรรมของโครงข้อแข็ง ณ สภาวะ การใช้งานไปจนถึงสภาวะการวิบัติของโครงสร้าง

1.3.3 สร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์วิเคราะห์โครงสร้างเพื่อหาผลการตอบสนองของโครงข้อแข็ง

1.3.4 ศึกษาและเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ที่ได้กับงานวิจัยที่ผ่านมา

1.4 ขอบข่ายงานวิจัย

1.4.1 เป็นการวิเคราะห์โครงสร้างที่มีลักษณะเป็นโครงข้อแข็งระนาบชนิดไม่มีค้ำยันโดยคำนึงถึงผลของ P-Δ การย้อนกลับของแรงดัด ณ จุดหมุนพลาสติกอันเนื่องมาจากแรงแนวแกนที่เปลี่ยนไป และการเปลี่ยนแปลงรูปร่างด้วยการเฉือนของชิ้นส่วนข้อต่อ

1.4.2 พิจารณาการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง เนื่องจาก แรงดัด แรงเฉือนและแรงในแนวแกน

1.4.3 พิจารณาผลกระทบซึ่งกันและกัน (Interaction) ระหว่างแรงในแนวแกนกับแรงดัดทั้งในแง่ของกำลัง (Strength) และ ความเสถียร (Stability)

1.4.4 แรงกระทำมีลักษณะเป็นแรงสถิตย์และเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอจนกระทั่งโครงสร้างเกิดการวิบัติ

1.4.5 ไม่คำนึงถึงการโก่งงอเฉพาะที่ การโก่งงอและการบิดด้านข้าง

1.4.6 พิจารณาเฉพาะองค์อาคารที่อยู่ในแนวราบและดิ่งเท่านั้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย