บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความนำ

การวิเคราะห์โครงสร้างแบบอิลาสติก-พลาสติกเป็นการวิเคราะห์ที่เหมาะสมในการศึกษาพฤติกรรมของโครงสร้าง นับตั้งแต่เริ่มรับน้ำหนักบรรทุกที่มีขนาดเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งโครงสร้างเกิดการคลากขึ้นที่บางบริเวณ และเมื่อเพิ่มน้ำหนักบรรทุกต่อไปอีก จะทำให้บริเวณอื่นเกิดการคลากเพิ่มขึ้น ซึ่งเมื่อมีจำนวนจุดหมุนพลาสติกมากพอที่จะทำให้โครงสร้างเกิดสภาวะไม่เสถียรภาพ หรือ เกิดกลไกวิบัติขึ้นนั่นเอง

กลไกวิบัติของโครงเหล็กข้อแข็งภายใต้เงื่อนไขของน้ำหนักบรรทุกที่กำหนดไว้ สามารถประมาณได้โดยวิธีการวิเคราะห์ด้วยวิธี อิลาสติก-พลาสติกอันดับที่หนึ่ง อย่างไรก็ตามเมื่อต้องการความถูกต้อง ของผลการวิเคราะห์ให้ใกล้เคียงกับพฤติกรรมของโครงสร้างมากยิ่งขึ้น โครงสร้างจะต้องวิเคราะห์ด้วยวิธีอิลาสติก-พลาสติกอันดับที่สอง

ในการวิเคราะห์โครงสร้างอาคารสูงจำเป็นจะต้องพิจารณาถึงการสูญเสียเสถียรภาพทางแนวดิ่งของเสา ซึ่งจะมีผลทำให้โมเมนต์ดัดที่กระทำในชิ้นส่วนมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากแรงแนวแกนของเสากับระยะเยื้องศูนย์ในแนวดิ่งจากแนวแกนของเสา การวิเคราะห์ปัญหานี้สามารถกระทำได้โดยตรงโดยอาศัยการวิเคราะห์โครงสร้างอันดับที่สอง อย่างไรก็ตามเมื่อนำหลักการบางอย่างเข้าร่วมกับการวิเคราะห์โครงสร้างอันดับที่หนึ่ง ก็สามารถที่จะวิเคราะห์โครงสร้าง โดยมีผลลัพธ์ใกล้เคียงกับการวิเคราะห์โครงสร้างอันดับที่สอง ซึ่งจะมีความยุ่งยากน้อยกว่าการวิเคราะห์โครงสร้างอันดับที่สองโดยตรง

1.2 งานวิจัยที่ผ่านมา

ในปี ค.ศ.1963 Wang [1] ได้เสนอหลักการพื้นฐานในการวิเคราะห์โครงสร้าง ด้วยวิธีอิลาสติก-พลาสติก โดยหลักการที่เสนอเป็นวิธีการวิเคราะห์โครงสร้างอันดับที่หนึ่ง ซึ่งสามารถติดตามตำแหน่งและลำดับของการเกิดจุดหมุนพลาสติก จนกระทั่งโครงสร้างเกิดกลไกวิบัติพร้อมทั้ง แสดงค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกสะสม (Cumulative load factor) ค่าการเปลี่ยนตำแหน่ง (Displacements) และค่าแรงภายใน (Internal forces) ที่จุดต่อ ในแต่ละครั้งที่เกิดจุดหมุนพลาสติกขึ้น โดยไม่ได้คำนึงถึงผลของแรงแนวแกนที่มีต่อการเปลี่ยนรูปร่าง พลาสติกโมเมนต์ และความไม่เสถียรภาพของโครงสร้าง

ในปี ค.ศ.1965 Harrison [2] ได้ปรับปรุงวิธีการบางอย่างของ Wang[1] เช่น เงื่อนไขในการตรวจสอบการวิบัติของโครงสร้าง การหาค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุก และพิจารณาผลของแรงแนวแกนที่มีต่อการเปลี่ยนรูปร่างแต่ยังไม่ได้พิจารณาผลของแรงแนวแกนที่มีต่อพลาสติกโมเมนต์ แต่หลักการส่วนใหญ่ยังคง เหมือนกับที่ Wang[1] ได้เสนอไว้

สำหรับผลงานวิจัยของทั้งสองท่านนี้เป็นการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีอิลาสติก-พลาสติกอันดับที่หนึ่ง โดยไม่ได้คำนึงถึงความไม่เป็นเชิงเส้นของรูปร่างทางเราขาคณิต(Geometric nonlinearity) และความไม่เป็นเชิงเส้นของวัสดุ (Material nonlinearity) ผลการวิจัยที่ได้จะให้ค่าทางขอบเขตบน (Upper bound) ซึ่งเป็นด้านที่ไม่ปลอดภัย (Nonconservative side) ทำให้ไม่เป็นที่ยอมรับได้ ดังนั้นในการวิจัยต่อมา จึงใช้การวิเคราะห์อันดับที่สอง เพื่อที่จะให้ผลการวิเคราะห์ที่ได้สอดคล้องกับพฤติกรรมของโครงสร้างมากยิ่งขึ้น

ในปี ค.ศ.1968 Korn และ Galambos [3] ได้เสนอวิธีการวิเคราะห์โครงสร้าง ด้วยวิธีอิลาสติก-พลาสติกอันดับที่สอง โดยอาศัยสมการมุมและการโก่งตัว (Slope-Deflection equation) กล่าวคือ สมการสมดุลของโครงสร้างจะกำหนดขึ้นจากรูปร่างของโครงสร้างที่เปลี่ยนไป(Deformed structural configuration) ดังนั้นผลของกำลัง (Strength) และความเสถียร (Stability)จึงรวมเข้าไปในการวิเคราะห์ แต่วิธีการวิเคราะห์ดังกล่าวสามารถใช้ได้เฉพาะกับโครงสร้างที่ไม่เกิน 2 ช่วง (Bay) และความสูงของเสาทุกตัวต้องเท่ากันด้วย

ในปี ค.ศ.1983 Kassimali [7] ได้เสนอวิธีการสำหรับการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีอิลาสติก-พลาสติก โดยใช้การวิเคราะห์การเปลี่ยนรูปร่างที่มีค่ามาก (Large Deformation Analysis) ซึ่งมีพื้นฐานมาจากทฤษฎีของออยเลอร์และวิธีทำซ้ำ(Iteration)ของนิวตัน-ราฟสัน ผลการวิเคราะห์ที่ได้ ในการวิจัยนี้มีค่าใกล้เคียงกับ Korn และ Galambos [3]

ในปี ค.ศ. 1989 Gharpuray และ Aristizbal-Ochoa [9] ได้เสนออัลกอริธึ่มอย่างง่ายสำหรับการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีอิลาสติก-พลาสติกอันดับที่สอง โดยไม่คำนึงถึงผลกระทบของแรงแนวแกนที่มีต่อสติฟเนสทางการดัดของชิ้นส่วนจึงทำให้ลดเวลาในการคำนวณลง และผลการวิเคราะห์ที่ได้ ยังคงมีค่าใกล้เคียงกับของ Korn และ Galambos [3]

ในปี ค.ศ. 1990 ศิริวุฒิ ศศิบุตร [16] ได้เสนอวิธีการสำหรับการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีอิลาสติก-พลาสติก โดยการนำผลงานของ Wang[1] และ Harrison[2] มาดัดแปลงเพิ่มเติม เช่น การคำนึงถึงผลของแรงแนวแกนที่มีต่อพลาสติกโมเมนต์ เสถียรภาพและเงื่อนไขในการตรวจสอบการเกิดจุดหมุนพลาสติก เป็นต้น เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ใกล้เคียงกับการวิเคราะห์อันดับที่สองมากขึ้น

ในปี ค.ศ. 1990 Chandra [11] เสนอหลักการวิเคราะห์อิลาสติก-พลาสติกโดยใช้ Secant stiffness ซึ่งสังเคราะห์มาจากวิธีการทำซ้ำ แทนการใช้ Tangent stiffness ที่ใช้กันอยู่ โดยคำนึงถึงผลของแรงแนวแกนและแรงดัดที่มีผลต่อสติฟเนสที่เปลี่ยนไปของโครงเหล็กข้อแข็งสามมิติ และการเปลี่ยนแปลง รูปร่างของชิ้นส่วน ซึ่งเป็นการวิเคราะห์อันดับที่สอง การวิจัยนี้ยังคำนึงถึงความไม่เป็นเชิงเส้นของวัสดุ และรูปร่างของชิ้นส่วน ผลการวิจัยปรากฏว่าใช้เวลาในการคำนวณน้อยกว่าการวิเคราะห์อันดับที่สองที่ใช้ Tangent stiffness

ในปี ค.ศ. 1991 ประมวล หาดขุนทด [17] ได้ปรับปรุงหลักการบางอย่างของศิริวุฒิ คือ เพิ่มการพิจารณารูปแบบของแรงจากเดิมที่เป็นเฉพาะแรงแบบเป็นจุดกระทำที่จุดข้อต่อ มาเป็นรูปแบบของแรงเป็น จุดและแรงแบบแผ่กระจายสม่ำเสมอ ซึ่งลักษณะของแรงเช่นนี้อาจทำให้เกิดจุดหมุนพลาสติกขึ้นภายในชิ้นส่วนของโครงสร้างได้แต่ไม่สามารถคำนวณต่อหลังจากเกิดจุดหมุนพลาสติกขึ้นภายในชิ้นส่วนหรือองค์อาคาร ซึ่งเป็นข้อจำกัดของการวิเคราะห์อันดับที่หนึ่ง

ในปี ค.ศ.1992 วิริยะ สารพา [18] ได้ปรับปรุงหลักการบางอย่างของ ศิริวุฒิ และประมวล โดยได้พิจารณาค่าตัวประกอบความยาวประสิทธิผลของชิ้นส่วน จากรูปแบบสภาพการยึดรั้งที่ปลายเสาของ CRC (Column Research Council) มาเป็นการหาค่าตัวประกอบความยาวประสิทธิผลของชิ้นส่วนจากสมการ ลักษณะเฉพาะของ Alignment charts และ ได้เพิ่มการคำนวณออกแบบโครงเหล็กข้อแข็ง ด้วยวิธีอิลาสติก -พลาสติก อีกด้วย

ในปี ค.ศ.1992 สัญญา เพชรเนียม [19] เสนอการวิเคราะห์วิธีอิลาสติก-พลาสติกสำหรับโครงข้อแข็ง โดยพิจารณาผลเนื่องจากแรงแนวแกนของชิ้นส่วนที่มีต่อพลาสติกโมเมนต์ เสถียรภาพ และเงื่อนไขในการตรวจสอบการเกิดจุดหมุนพลาสติกเป็นต้น เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ใกล้เคียงกับการวิเคราะห์อันดับที่สองมากขึ้น โดยใช้วิธีการทำซ้ำสำหรับโครงเหล็กข้อแข็งทั่วไป และวิธีคุณสมบัติของชิ้นส่วนมีค่าเป็นลบ (Negative property fictitious member) สำหรับโครงข้อแข็งหลายชั้น ทำให้ผลที่ได้ใกล้เคียงกับการวิเคราะห์ อันดับที่สอง โดยที่ใช้เวลาในการคำนวณไม่มาก

ในปี ค.ศ.1992 บุญแสง สิริรัตน์ชูวงศ์ [20] ได้เสนอการวิเคราะห์หาผลการตอบสนองของ โครงสร้างแบบอิลาสติก-พลาสติกของโครงเหล็กข้อแข็ง โดยพิจารณาผลของ P-Δ และการย้อนกลับโมเมนต์ ณ จุดหมุนพลาสติก ร่วมกับการวิเคราะห์อันดับที่หนึ่ง ผลการวิจัยนี้ได้ค่าใกล้เคียงกับการวิเคราะห์อันดับที่สองมาก นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นว่าลำดับของการเกิดจุดหมุนพลาสติกที่ได้ใกล้เคียงกับการวิเคราะห์อันดับที่สอง อีกด้วย แต่ผลที่ได้ยังขาดการพิจารณาผลของการเสียรูปภายในชิ้นส่วนและผลของความยาวของชิ้นส่วน ซึ่งมีผลต่อการรับแรงของชิ้นส่วนรับแรงอัด

1.3 <u>งานวิจัยที่กำลังจะศึกษาต่อไป</u>

โดยทั่วไปในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์โครงสร้างมักไม่คำนึงถึงผลเนื่องมาจากความยาว ของชิ้นส่วน (Length effect, P-δ Effect) ในชิ้นส่วนรับแรงอัด ซึ่งโดยปกติแล้วผลของความยาวของชิ้นส่วน จะมีผลต่อความสามารถในการรับน้ำหนักตามแกนและการเสียรูปภายในชิ้นส่วน ซึ่งจะทำให้กำลังของชิ้นส่วนรับแรงอัดมีค่าลดลง

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาวิธีวิเคราะห์โครงเหล็กข้อแข็งในระนาบ ด้วยวิธีอิลาสติก -พลาสติก โดย พิจารณาผลของ P-Δ , การย้อนกลับของโมเมนต์ ณ จุดหมุนพลาสติกและผลของความยาวของชิ้นส่วนร่วมกับวิธีการวิเคราะห์อันดับที่หนึ่ง โดยปรับปรุงหลักการบางอย่างของสัญญา[19] และบุญแสง[20] เพื่อให้ผลลัพธ์ที่คำนวณได้จากการวิเคราะห์ใกล้เคียงกับพฤติกรรมของโครงสร้างมากขึ้นแต่มีความยุ่งยากและใช้เวลาในการคำนวณไม่มากนัก

1.4 วัตถุประสงค์

1.4.1 ศึกษาวิธีวิเคราะห์โครงเหล็กข้อแข็งในระนาบ ด้วยวิธี อิลาสติก-พลาสติก โดยพิจารณาผลของ P-Δ และ ผลของความยาวของชิ้นส่วน ร่วมกับวิธีการวิเคราะห์อันดับที่หนึ่ง

1.4.2 ศึกษาพฤติกรรมของโครงเหล็กข้อแข็ง ณ สภาวะการใช้งาน ไปจนถึงสภาวะการวิบัติของโครงสร้าง

1.4.3 สร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับวิธีวิเคราะห์โครงสร้าง เพื่อหาผลการตอบสนองของโครงเหล็กข้อแข็ง ที่จะได้ใช้เพื่อการศึกษาและวิจัยต่อไป

1.5 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัย

1.5.1 ศึกษาข้อจำกัด สมมติฐาน และ วิธีการของการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีอิลาสติก-พลาสติก

1.5.2 ศึกษาวิธีการต่างๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลของแรงดัดที่เพิ่มขึ้น อันเนื่องมาจากการเสียรูป (P-Δ Effect) และผลจากความยาวของชิ้นส่วน (Length Effect)

1.5.3 ศึกษาผลกระทบซึ่งกันและกัน (Interaction) ระหว่างแรงแนวแกน กับแรงดัด ซึ่งมีผลต่อเงื่อนไขการเกิดจุดหมุนพลาสติก และสติฟเนสขององค์อาคาร เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการหาค่า ตัวประกอบน้ำหนักบรรทุก (Load factor)

1.5.4 พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์จากผลการศึกษาที่ได้ เพื่อประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ดังกล่าว

1.5.5 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ที่ได้กับงานวิจัยที่ผ่านมา และสรุปผลการวิจัยครั้งนี้

1.6 ขอบข่ายงานวิจัย

1.6.1 เป็นการวิเคราะห์โครงสร้าง ที่มีลักษณะเป็นโครงเหล็กข้อแข็งระนาบ โดยคำนึงถึงผลของ การเสียรูป (P-Δ Effect) ผลของความยาวของชิ้นส่วน และการย้อนกลับโมเมนต์ ณ จุดหมุนพลาสติก อันเนื่องมาจากแรงแนวแกน ที่เปลี่ยนไป

1.6.2 พิจารณาการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเนื่องจากแรงดัด และแรงแนวแกน ทั้งที่ปลายของชิ้นส่วนและภายในชิ้นส่วน

1.6.3 พิจารณาผลกระทบซึ่งกันและกัน (Interaction) ระหว่างแรงแนวแกน กับแรงดัดขององค์ อาคารที่รับแรงแนวแกนและแรงดัดร่วมกันทั้งในแง่ของกำลัง (Strength) และความเสถียร (Stability)

1.6.4 แรงกระทำมีลักษณะเป็นแรงสถิตย์ และเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอจนกระทั่งโครงสร้างเกิดการวิบัติ

1.6.5 ไม่คำนึงถึงการโก่งงอเฉพาะที่ และการโก่งงอและบิดด้านข้าง

1.6.6 ไม่คำนึงถึงการเสียรูปภายในชิ้นส่วนเนื่องจากแรงกระทำด้านข้างภายในชิ้นส่วนรับแรงอัด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย