บทที่ 3

ผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบ

ตัวอย่างการวิเคราะห์ที่จะเสนอต่อไปนี้ เป็นตัวอย่างโครงเหล็กข้อแข็ง 2 ตัวอย่าง ซึ่งเป็นโครงเหล็กข้อแข็งที่ได้ศึกษาด้วยวิธีอิลาสติก-พลาสติกมาก่อนแล้ว เช่น Wang (1) ได้ใช้การวิเคราะห์อันดับแรก โดยไม่คำนึงถึงผลกระทบของแรงในแนวแกนร่วมกับแรงดัดและความไม่เสถียรภาพ Korn & Galambos (3) นำมาใช้กับการวิเคราะห์อันดับที่สอง ส่วนวิริยะ (8) นำมาใช้กับการวิเคราะห์อันดับแรก โดยคำนึงถึงผลของแรงในแนวแกนที่มีต่อแรงดัด และแรงในแนวแกนที่มีต่อเสถียรภาพ โดยการนำเอาผลลัพธ์ที่ได้จากหลักการดังกล่าวข้างต้นมาเปรียบเทียบพร้อมกับงานวิจัยนี้ ซึ่งเป็นการวิเคราะห์อันดับแรกและได้พิจารณาผลของ P-Δ โดยคำนึงถึงผลกระทบของแรงในแนวแกนที่มีต่อแรงดัด ดังนั้นผลของแรงในแนวแกนที่มีต่อเสถียรภาพ ของโครงสร้าง จึงถูกพิจารณารวมเข้ากับการวิเคราะห์ในลักษณะเดียวกันกับการวิเคราะห์อันดับสอง ซึ่งในตัวอย่างที่ 1 เป็นโครงสร้างเหล็กข้อแข็ง 4 ชั้น 1 ช่วง ที่มีผลของการเปลี่ยนตำแหน่งในแนวราบมาก ส่วนในตัวอย่างที่ 2 เป็นโครงเหล็กข้อแข็ง 8 ชั้น 1 ช่วงซึ่งถูกออกแบบโดยควบคุมการโก่งตัวภายใต้น้ำหนักบรรทุกใช้งาน

3.1 แสดงผลการวิเคราะห์และการเปรียบเทียบตัวอย่างที่ 1

จากโครงเหล็กข้อแข็งรูปที่ 3.1 เป็นโครงสร้าง 4 ชั้น 1 ช่วง คุณสมบัติของชิ้นส่วนได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.1 ในการเลือกชิ้นส่วนต่างๆ ของโครงสร้างไม่ได้มีพื้นฐานมาจากการออกแบบ แต่คุณสมบัติต่างๆ ที่กำหนดขึ้นก็เพื่อที่จะแสดงให้เห็นถึงโครงสร้างที่เกิดจากการสูญเสียเสถียรภาพก่อนถึงเวลาอันสมควร โดยที่มีการโก่งตัวในแนวราบมาก ซึ่งเป็นโครงสร้างที่มีลำดับขั้นของความไม่เป็นเชิงเส้นสูงภายใต้น้ำหนักบรรทุกใช้งาน ตัวเสามีความชลูดสูงและหน่วยแรงใน

แนวแกนมาก ทำให้มีการโก่งตัว ณ ตำแหน่งจุดยอดของโครงสร้างจากการวิเคราะห์อันดับสองสูงกว่าการวิเคราะห์อันดับแรกถึง 30 เปอร์เซนต์ จากรูปที่ 3.2 และ 3.3 ผลการวิเคราะห์อันดับแรก โดยไม่คำนึงถึงผลกระทบของแรงในแนวแกนร่วมกับแรงดัดและความไม่เสถียรภาพของ Wang (1) จะพบว่ามีจุดหมุนพลาสติกเกิดขึ้นทั้งหมด 12 จุด ก่อนที่โครงสร้างจะมีค่าการเปลี่ยนตำแหน่งมากและเกิดการวิบัติ เนื่องจากเป็นการวิเคราะห์แบบอิลาสติก-พลาสติกที่ไม่ได้คำนึงถึงผลของแรงในแนวแกนที่มีต่อพลาสติกโมเมนต์ ในการกำหนดเงื่อนไข ของการเกิดจุดหมุนพลาสติก รวมทั้งไม่ได้พิจารณาผลทางด้านเสถียรภาพของโครงสร้างโดยเป็นการวิเคราะห์อันดับแรก ส่วนผลการวิเคราะห์อันดับที่สองของ Korn & Galambos (3) จะมีจุดหมุนพลาสติกเกิดขึ้น 4 จุด โครงสร้างก็จะเกิดการสูญเสียเสถียรภาพ เนื่องจากเป็นการวิเคราะห์อันดับที่สองโดยตรง ซึ่งได้รวมผลของความไม่เป็นเชิงเส้นจาก P-Δ และผลของแรงในแนวแกนที่มีต่อสติฟเนสทางการดัดของชิ้นส่วน รวมทั้งพิจารณาผลของแรงในแนวแกนที่มีต่อพลาสติกโมเมนต์ ขณะที่ผลการวิเคราะห์ของวิริยะ (8) เป็นหลักการอิลาสติก-พลาสติกที่ใช้กับการวิเคราะห์อันดับแรก โดยคำนึงถึงผลของแรงในแนวแกนที่มีต่อพลาสติกโมเมนต์ และ เนื่องจากการวิเคราะห์อันดับแรกไม่สามารถตรวจสอบเสถียรภาพของโครงสร้างในระหว่างการวิเคราะห์ได้เช่นเดียวกับอันดับสองจึงได้พิจารณาเพิ่มเงื่อนไขทางด้านเสถียรภาพของโครงสร้างโดยอาศัยสมการของ AISC (11) ในการกำหนดเงื่อนไขของจุดหมุนพลาสติก จะพบว่าจะมีจุดหมุนพลาสติกเกิดขึ้นเพียง 2 จุด ก่อนที่โครงสร้างจะไม่มีเสถียรภาพ สำหรับงานวิจัยนี้ เป็นหลักการอิลาสติก-พลาสติกที่ได้รวมผลของ P-Δ เข้ากับการวิเคราะห์อันดับแรกซึ่งจะมีจุดหมุนพลาสติกเกิดขึ้น 3 จุด

จากการเปรียบเทียบค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกที่จุดวิบัติ ของงานวิจัยนี้และงานวิจัยที่ผ่านมาดังแสดงในกราฟรูปที่ 3.2 และตารางที่ 3.2 พบว่า ในกรณีที่มีลำดับขั้นของความไม่เป็นเชิงเส้นสูง ซึ่งผลเนื่องจาก P-Δ มีอิทธิพลมากแล้ว การวิเคราะห์อันดับแรก โดยไม่คำนึงถึงผลกระทบของแรงในแนวแกนร่วมกับแรงดัดและความไม่เสถียรภาพของ Wang(1) จะให้ค่าแตกต่างจากการวิเคราะห์อันดับสองของ Korn & Galambos (3) สูงมากถึง +61.1 เปอร์เซนต์ ส่วนผลการวิเคราะห์อันดับแรก โดยคำนึงผลของแรงในแนวแกนที่มีต่อแรงดัด และ เสถียรภาพโครงสร้างของ วิริยะ (8) จะให้ค่าแตกต่างจากการวิเคราะห์อันดับสองเท่ากับ -10.5 เปอร์เซนต์ ในขณะที่ผลที่ได้จากงานวิจัยนี้จะให้ค่าใกล้เคียงกับการวิเคราะห์อันดับสองมาก คือมี

ค่าต่างกัน -0.3 เปอร์เซนต์ สำหรับการวิเคราะห์ด้วยวิธีทำซ้ำ และต่างกัน -0.5 เปอร์เซนต์ สำหรับการวิเคราะห์ด้วยวิธีคุณสมบัติของชิ้นส่วนมีค่าเป็นลบ

จะเห็นได้ว่าสำหรับโครงสร้างที่มีลำดับชั้นความไม่เป็นเชิงเส้นสูง เนื่องจากขาดการควบคุมการโก่งตัวภายใต้น้ำหนักบรรทุกใช้งาน และการควบคุมทางด้านเสถียรภาพ หรือโครงสร้างที่มีผลจาก P-Δ มากแล้ว การวิเคราะห์โครงสร้างดังกล่าวด้วยวิธีอิลาสติก-พลาสติก จะพบว่ามีจุดหมุนพลาสติกเกิดขึ้นได้น้อยก่อนการวิบัติของโครงสร้าง เนื่องจากถูกควบคุมโดยผลของเสถียรภาพ และการวิเคราะห์อันดับแรกซึ่งไม่ได้รวมผลของ P-Δ เข้าไปในการวิเคราะห์โดยตรงจะไม่สามารถทำนายกำลังประลัยของโครงสร้างได้อย่างสมเหตุสมผล

3.2 แสดงผลการวิเคราะห์และการเปรียบเทียบตัวอย่างที่ 2

จากโครงเหล็กข้อแข็งรูปที่ 3.4 เป็นโครงสร้าง 8 ชั้น 1 ช่วง คุณสมบัติของชิ้นส่วนแสดงไว้ในตารางที่ 3.3 และ 3.4 ซึ่งออกแบบเพื่อใช้ศึกษาโดย Horne & Majid และ Korn & Galambos(3) ได้นำมาใช้ศึกษาการวิเคราะห์โครงเหล็กข้อแข็งโดยวิธีวิเคราะห์อันดับสอง เพื่อศึกษาผลของแรงในแนวแกนที่มีต่อโครงสร้างในกรณีที่ค่าการโก่งตัวในแนวราบมีค่าไม่สูงมาก ภายใต้น้ำหนักบรรทุกใช้งาน ค่าการโก่งตัวที่ตำแหน่งจุดยอดของโครงสร้าง จากการวิเคราะห์อันดับสองจะมีค่าสูงกว่าอันดับแรกเพียง 3.4 เปอร์เซนต์ จากรูปที่ 3.5 และ 3.6 ผลการวิเคราะห์อันดับแรก โดยไม่คำนึงถึงผลกระทบของแรงในแนวแกนร่วมกับแรงดัดและความไม่เสถียรภาพของ Wang (1) พบว่ามีจุดหมุนพลาสติกเกิดขึ้นทั้งหมด 20 จุด ก่อนที่โครงสร้างจะเกิดการวิบัติ ส่วนผลการวิเคราะห์อันดับที่สองของ Korn & Galambos (3) พบว่ามีจุดหมุนพลาสติกเกิดขึ้นทั้งหมด 17 จุด ในขณะที่ผลการวิเคราะห์อันดับแรก โดยคำนึงผลของแรงในแนวแกนที่มีต่อแรงดัด และ เสถียรภาพโครงสร้างของวิริยะ (8) และงานวิจัยนี้ โครงสร้างจะเกิดการวิบัติเมื่อจุดหมุนพลาสติกเกิดขึ้นเพียง 7 จุด จะเห็นว่าจำนวนจุดหมุนพลาสติกที่เกิดขึ้นก่อนการวิบัติของโครงสร้างในงานวิจัยนี้จะมีจำนวนน้อยกว่างานวิจัยอื่นเสมอ ทั้งนี้เนื่องจากสมมุติฐานของงานวิจัยอื่นนั้น ไม่ถือว่ามีการย้อนกลับของจุดหมุนพลาสติกที่เกิดขึ้นในโครงสร้างและเมื่อมีจุดหมุนพลาสติกเกิดขึ้นในชิ้นส่วนจะยังคงถือว่าชิ้นส่วนนั้นยังสามารถรับแรงในแนวแกนได้อีกโดยที่พลาสติก

โมเมนต์ของชิ้นส่วนจะมีค่าลดลงตามสมการ 2.31 ถึง 2.33 ในขณะที่ งานวิจัยนี้ เมื่อมีจุดหมุนพลาสติกเกิดขึ้นในชิ้นส่วน จะพิจารณาให้แรงในแนวแกนของชิ้นส่วนนั้นไม่สามารถเพิ่มขึ้นได้อีก เพื่อไม่ให้แรงที่เกิดขึ้นที่จุดหมุนพลาสติกนั้นเกินกว่าความสามารถในการรับกำลัง ของชิ้นส่วนตามสมการที่ 2.31 ถึง 2.33 ดังนั้นจะพิจารณาได้ว่าค่าที่ได้จะเป็นไปตามทฤษฎีขอบเขตล่าง (Lower Bound Theorem) ของวิธีพลาสติกทั่วไปอีกด้วยโดยจุดหมุนพลาสติกส่วนใหญ่ จะเกิดขึ้นในชิ้นส่วนคาน เนื่องจากโครงสร้างได้รับการออกแบบในลักษณะที่เรียกว่า "Weak Beam Design" และค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุก ณ ตำแหน่งที่เกิดจุดหมุนพลาสติกทุก ๆ จุดก็คำนวณมาจากเงื่อนไขในการเกิดจุดหมุนพลาสติก เนื่องจากผลของกำลัง ในการวิเคราะห์การวิเคราะห์อันดับสองและงานวิจัยนี้จะพิจารณาผลของ P-Δ รวมเข้าไปด้วยซึ่งต่างจากการวิเคราะห์อันดับแรก ที่ไม่สามารถพิจารณาได้ ดังนั้นผลของการวิเคราะห์อันดับแรกจะมีกำลังประลัยสูงกว่าการวิเคราะห์อันดับสองและงานวิจัยนี้

จากการเปรียบเทียบค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกที่จุดวิบัติของงานวิจัยนี้ และงานวิจัยที่ผ่านมาดังแสดงในกราฟรูปที่ 3.5 และ ตารางที่ 3.5 จะพบว่า ในกรณีที่โครงสร้างมีพฤติกรรมตอนเริ่มแรกหรือมีผลของ P-Δ น้อย แล้วการวิเคราะห์อันดับแรก โดยไม่คำนึงถึงผลกระทบของแรงในแนวแกนร่วมกับแรงดัดและความไม่เสถียรภาพของ Wang (1) จะให้ค่าที่แตกต่างจากการวิเคราะห์อันดับสองของ Korn & Galambos (3) ไม่มาก ในตัวอย่างนี้แตกต่างกัน +16.9 เปอร์เซนต์ ส่วนผลการวิเคราะห์อันดับแรก โดยคำนึงผลของแรงในแนวแกนที่มีต่อแรงดัด และเสถียรภาพโครงสร้างของ วิริยะ (8) ให้ค่าแตกต่างจากการวิเคราะห์อันดับสองเท่ากับ -10.2 เปอร์เซนต์ สำหรับผลที่ได้จากงานวิจัยนี้ การวิเคราะห์ด้วยวิธีทำซ้ำให้ค่าแตกต่างจากเท่ากับ -12.8 เปอร์เซนต์และการวิเคราะห์ด้วยวิธีคุณสมบัติของชิ้นส่วนมีค่าเป็นลบให้ค่าแตกต่างเท่ากับ -12.9 เปอร์เซนต์

จะเห็นได้ว่าเมื่อโครงสร้างมีพฤติกรรมเชิงเส้นในตอนเริ่มแรก หรือมีผลของ P-Δ น้อย แล้วการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีอิลาสติก-พลาสติก ที่ใช้การวิเคราะห์อันดับแรกก็พอที่จะทำนายกำลังประลัยของโครงสร้างได้ โดยจะมีจุดหมุนพลาสติกใกล้เคียงกับการวิเคราะห์อันดับสอง แต่อย่างไรก็ตาม ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ก็ยังมีค่ามากกว่าค่าที่ได้จากการวิเคราะห์อันดับ

สองหรือการวิเคราะห์ที่มีการพิจารณาผลของ P-Δ เข้าไปด้วย ในขณะที่ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้จะมีค่าที่น้อยกว่าค่าที่ได้จากการวิเคราะห์อันดับที่สอง เนื่องจากเป็นการพิจารณาในแบบชอบเขตล่าง