หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

ผลการวิเคราะห์ การคำนวนออกแบบและเปรียบเทียบ

ตัวอย่างที่ 1 มีวัตถุประสงค์ดังนี้

1. แสดงให้เห็นถึง การเกิดจุดหมุนพลาสติกภายในชิ้นส่วนที่มีน้ำหนักบรรทุกกระทำแบบแผ่กระจายสม่ำเสมอระหว่างชิ้นส่วน
2. แสดงให้เห็นถึง ค่าประมาณของน้ำหนักบรรทุกประลัยของโครงสร้างที่มีจุดหมุนพลาสติกเกิดขึ้นภายในชิ้นส่วน เมื่อมีน้ำหนักบรรทุกกระทำแบบแผ่กระจายสม่ำเสมอระหว่างชิ้นส่วน
3. แสดงให้เห็นถึง ค่าตัวประกอบความยาวประสิทธิผลของชิ้นส่วนจะไม่มีผลต่อโครงสร้างที่มีพฤติกรรมเชิงเส้นในตอนเริ่มแรก (Initially Linear Behavior)
4. แสดงการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ของงานวิจัยนี้กับค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกและตำแหน่งจริง

โครงเหล็กข้อแข็ง 1 ชั้น 1 ช่วง มีรูปร่างและน้ำหนักบรรทุกใช้งานแบบแผ่กระจายสม่ำเสมอเท่ากับ 2.75 ตัน/เมตร ดังรูปที่ 3.1 คุณสมบัติของชิ้นส่วนในโครงเหล็กข้อแข็ง ดังตารางที่ 3.1 ชิ้นส่วนของคานและเสาถือว่าไม่มีการเซ (braced) ผลการวิเคราะห์จากหลักการที่เสนอได้จำนวนจุดหมุนพลาสติก 2 จุด ซึ่งเกิดขึ้นที่ปลายของชิ้นส่วนหมายเลข 2 ใกล้จุด 3 และเกิดขึ้นภายในชิ้นส่วนหมายเลข 2 เหมือนกันแต่ห่างจากจุด 2 เท่ากับ 3.89 เมตร ตำแหน่งและลำดับการเกิดจุดหมุนพลาสติกตั้งแต่จุดแรกจนถึงจุดสุดท้ายที่โครงสร้างเกิดการวิบัติ ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 3.2 ก. ค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกของจุด

หมุนพลาสติกจุดแรก และจุดสุดท้ายที่โครงสร้างเกิดการวิบัติเท่ากับ 1.265 และ 1.846 ตามลำดับ เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกระทำกับการเปลี่ยนตำแหน่งตั้งแต่จุดหมุนพลาสติกจุดแรกจนถึงจุดสุดท้ายที่โครงสร้างเกิดการวิบัติ ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 3.3

ในงานวิจัยนี้ตำแหน่งของจุดหมุนพลาสติกภายในชิ้นส่วนจะเป็นตำแหน่งที่เกิดแรงดัดภายในชิ้นส่วนสูงสุดในรอบแรกของการวิเคราะห์ด้วยวิธีอิลาสติก - พลาสติก และในการวิเคราะห์รอบต่อไปจะใช้แรงภายในที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งนั้นจนกระทั่งโครงสร้างเกิดการวิบัติ สาเหตุเพื่อต้องการประหยัดหน่วยความจำและประหยัดเวลาในการคำนวน ดังนั้นค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกที่ได้จากการเกิดจุดหมุนพลาสติกภายในชิ้นส่วน จะเป็นค่าประมาณที่ใกล้เคียงมาก

ค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุก ณ ตำแหน่งที่เกิดจุดหมุนพลาสติกทั้ง 2 จุด คำนวณมาจากเงื่อนไขการเกิดจุดหมุนพลาสติกในสมการ (2.4.1) และสมการ (2.4.2) ซึ่งเป็นเงื่อนไขในแง่ของกำลัง ดังนั้นค่าตัวประกอบความยาวประสิทธิผลของชิ้นส่วนจึงไม่มีผลสำหรับโครงสร้างที่มีพฤติกรรมเชิงเส้นในตอนเริ่มแรก (Initially Linear Behavior)

เมื่อแบ่งแต่ละชิ้นส่วนในโครงสร้างออกเป็น 1000 ส่วน และหาแรงภายในของแต่ละส่วน เพื่อหาตำแหน่งน้ำหนักบรรทุกที่น้อยที่สุดและหาค่าสะสมของตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกดังในตัวอย่างนี้ ค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกและตำแหน่งจริงของจุดหมุนพลาสติกจุดแรกเกิดขึ้นที่ปลายชิ้นส่วนหมายเลข 2 ใกล้จุด 3 และจุดที่สองเกิดภายในชิ้นส่วนหมายเลข 2 ห่างจากจุด 2 เท่ากับ 4.24 เมตร ค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกของจุดหมุนพลาสติกจุดแรกและจุดสุดท้ายที่โครงสร้างเกิดการวิบัติเท่ากับ 1.265 และ 1.837 ตามลำดับ ตำแหน่งและลำดับการเกิดจุดหมุนพลาสติกตั้งแต่จุดแรกจนถึงจุดสุดท้ายที่โครงสร้างเกิดการวิบัติ ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 3.2 ข. เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกระทำกับการเปลี่ยนตำแหน่งตั้งแต่จุดหมุนพลาสติกจุดแรก จนถึงจุดสุดท้ายที่โครงสร้างเกิดการวิบัติ ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 3.3 ระยะจุดหมุนพลาสติกภายในชิ้นส่วนแตกต่างจากงานวิจัยนี้เท่ากับ 0.35 เมตร ค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกของจุดหมุนพลาสติกที่โครงสร้างเกิดการวิบัติแตกต่างกับงานวิจัยนี้เท่ากับ 0.5 เปอร์เซนต์ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.2 ในงานวิจัยที่เสนอจะให้ค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยสูงกว่าค่าจริง

ตัวอย่างที่ 2 มีวัตถุประสงค์ดังนี้

1. แสดงให้เห็นถึง น้ำหนักบรรทุกประลัยของโครงสร้าง เนื่องจากผลของค่าตัวประกอบความยาวประสิทธิผลของชิ้นส่วน สำหรับโครงสร้างที่มีลำดับขั้นของความไม่เป็นเชิงเส้นสูง (High Degree of Nonlinearity)
2. แสดงการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ของงานวิจัยนี้ กับผลการคำนวณออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดโดยวิธีพลาสติก
3. แสดงการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ของงานวิจัยนี้ กับผลการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีอิลาสติก-พลาสติก โดยใช้ค่าตัวประกอบความยาวประสิทธิผลของชิ้นส่วน จากรูปแบบสภาพการยึดรั้งที่ปลายเสาของ CRC

โครงเหล็กข้อแข็ง 2 ชั้น 1 ช่วง มีรูปร่างและน้ำหนักบรรทุกใช้งานกระทำดังรูปที่ 3.4 คุณสมบัติของชิ้นส่วนในโครงเหล็กข้อแข็ง ดังตารางที่ 3.3 ชิ้นส่วนของคานและเสาถือว่าไม่มีการเซ (braced) ผลการวิเคราะห์ได้จำนวนจุดหมุนพลาสติกเท่ากับ 4 จุดพร้อมกัน ซึ่งเกิดขึ้นที่ปลายของชิ้นส่วนหมายเลข 1 ใกล้จุด 3 กับจุด 1 และที่ปลายของชิ้นส่วนหมายเลข 2 ใกล้จุด 4 กับจุด 2 ตำแหน่งและลำดับการเกิดจุดหมุนพลาสติกตั้งแต่จุดแรกจนถึงจุดสุดท้ายที่โครงสร้างเกิดการวิบัติ ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 3.5 ก. ค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกของจุดหมุนพลาสติกจุดแรกเท่ากับจุดหมุนพลาสติกจุดสุดท้ายที่โครงสร้างเกิดการวิบัติ คือ 1.037 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกระทำกับการเปลี่ยนตำแหน่งตั้งแต่จุดหมุนพลาสติกจุดแรก จนถึงจุดสุดท้ายที่โครงสร้างเกิดการวิบัติ ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 3.7

สำหรับจำนวนจุดหมุนพลาสติกของคิริวุฒิ (22) เท่ากับ 3 จุด ซึ่งจุดหมุนพลาสติกจุดแรก และจุดที่สองเกิดที่ตำแหน่งน้ำหนักกระทำ และจุดหมุนพลาสติกจุดสุดท้ายเกิดขึ้นที่ชิ้นส่วนหมายเลข 3 ใกล้จุด 3 ตำแหน่งและลำดับการเกิดจุดหมุนพลาสติก ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 3.5 ข. จำนวนจุดหมุนพลาสติกของวิโรจน์ (21) เท่ากับ 10 จุด ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 3.6 ค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกของจุดหมุนพลาสติกจุดแรกและจุดสุดท้ายของคิริวุฒิ (22)

เท่ากับ 1.470 และ 1.577 ตามลำดับ ค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกที่โครงสร้างเกิดกลไกวิบัติของวิโรจน์ (21) เท่ากับ 1.7 และเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับการเปลี่ยนตำแหน่งของศิริวุฒิ (22) และวิโรจน์ (21) ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 3.7

คุณสมบัติของชิ้นส่วนในโครงสร้างของตัวอย่างนี้จะได้จากการคำนวณออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดโดยวิธีพลาสติก (Optimum Plastic Design) ของวิโรจน์ (21) ซึ่งใช้ค่าตัวประกอบความยาวประสิทธิผลของเสาและคานเท่ากับ 0.5 และ 1.0 ตามลำดับ ถ้าวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีอิลาสติก - พลาสติกของศิริวุฒิ (22) โดยใช้ค่าตัวประกอบความยาวประสิทธิผลของเสาและคานเท่ากับ 0.65 และ 1.2 ตามลำดับ สำหรับค่าตัวประกอบความยาวประสิทธิผลของเสาและคานของวิโรจน์ (21) และศิริวุฒิ (22) ได้จาก CRC แต่สำหรับงานวิจัยนี้คำนวณจากสมการลักษณะเฉพาะ (Characteristic Equations) ของ Alignment Charts และได้ค่าตัวประกอบความยาวประสิทธิผลของเสาชั้นล่าง เสาชั้นบนคานชั้นหนึ่ง และคานชั้นสอง เท่ากับ 0.71 0.72 0.86 และ 0.74 ตามลำดับ ซึ่งค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกของงานวิจัยนี้มีค่ามากกว่าของวิโรจน์ (21) และศิริวุฒิ (22) เมื่อวิเคราะห์โครงเหล็กข้อแข็งด้วยวิธีอิลาสติก-พลาสติก โดยใช้ตัวประกอบความยาวประสิทธิผลของงานวิจัยนี้ ค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุก ณ ตำแหน่งที่เกิดจุดหมุนพลาสติกทั้ง 4 จุดนั้นคำนวณมาจากเงื่อนไขการเกิดจุดหมุนพลาสติกในสมการ (2.4.3) ซึ่งเป็นเงื่อนไขจากผลของความเสถียรหรือผลของ P - Δ และในสมการ (2.4.3) นี้จะขึ้นอยู่กับค่าตัวประกอบความยาวประสิทธิผลด้วย ดังนั้นค่าตัวประกอบความยาวประสิทธิผลของชิ้นส่วนจะมีอิทธิพลมาก สำหรับโครงสร้างที่มีลำดับขั้นของความไม่เป็นเชิงเส้นสูง (High Degree of Nonlinearity) เนื่องจากตัวอย่างนี้ค่าความยาวประสิทธิผลของชิ้นส่วนในงานวิจัยนี้มากกว่าค่าความยาวประสิทธิผลของชิ้นส่วนของวิโรจน์ (21) และศิริวุฒิ (22) ประมาณ 8.9 ถึง 42.2 เปอร์เซนต์ ดังนั้นงานวิจัยนี้จะได้ค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยของโครงสร้างต่ำกว่าของวิโรจน์ (21) เท่ากับ 63.9 เปอร์เซนต์ และต่ำกว่าของศิริวุฒิ (22) เท่ากับ 52.1 เปอร์เซนต์ ซึ่งพิจารณาได้ว่าอยู่ในด้านที่ปลอดภัย นอกจากนี้ความยาวของชิ้นส่วนของงานวิจัยนี้จะอยู่ระหว่างปลายที่มีการค้ำยัน แต่สำหรับของวิโรจน์ (21) และศิริวุฒิ (22) ชิ้นส่วนอาจจะมีทั้งปลายที่มีการค้ำยันหรือปลายที่ปราศจากการค้ำยัน เพราะงานวิจัยทั้งสองนี้

จะต้องกำหนด Node ที่ตำแหน่งน้ำหนักบรรทุกกระทำเสมอ ซึ่งจะให้ค่าความยาวประสิทธิผลของชิ้นส่วนไม่ถูกต้องนัก ถ้ามีน้ำหนักบรรทุกกระทำหลายจุดในชิ้นส่วนเดียวกัน

ตัวอย่างที่ 3 มีวัตถุประสงค์ดังนี้

1. แสดงให้เห็นถึงโครงสร้างมีความเป็นอิลาสติกที่น้ำหนักบรรทุกใช้งาน
2. แสดงให้เห็นถึงชิ้นส่วนในโครงสร้างมีความเป็นอิลาสติกที่น้ำหนักบรรทุกใช้งาน
3. แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงตัวประกอบประสิทธิผลของชิ้นส่วน เมื่อสติฟเนสของชิ้นส่วนในโครงสร้างเปลี่ยนไป
4. แสดงการเปรียบเทียบผลการคำนวณออกแบบ โดยคำนึงถึงเงื่อนไขการเกิดจุดหมุนพลาสติกในแง่ของกำลังและความเสถียร คำนึงถึงหน่วยแรงลัพธ์ ณ จุดคลากที่น้ำหนักบรรทุกใช้งาน และคำนึงถึงพิกัดของการโก่งตัวที่น้ำหนักบรรทุกใช้งาน
5. แสดงการเปรียบเทียบผลการคำนวนออกแบบของงานวิจัยนี้ กับการคำนวณออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดโดยวิธีพลาสติก

โครงเหล็กข้อแข็งต่างระดับ 1 ชั้น 2 ช่วง มีรูปร่างและน้ำหนักบรรทุกใช้งานกระทำดังรูปที่ 3.8 โดยแบ่งจำนวนชุดของชิ้นส่วนเป็น 2 ชุด และชิ้นส่วนที่เป็นคานถือว่าไม่มีการเซ (braced) แต่ชิ้นส่วนที่เป็นเสาถือว่ามีการเซ (unbraced) นอกจากนี้ยังกำหนดค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกในการออกแบบดังนี้

ก) ค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกของจุดหมุนพลาสติกจุดแรก ต้องมากกว่าหรือเท่ากับ 1.0

ข) ค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกของจุดหมุนพลาสติกที่โครงสร้างเกิดการวิบัติต้องมากกว่าหรือเท่ากับ 1.3

ผลการคำนวนออกแบบโครงเหล็กข้อแข็งด้วยวิธีอิลาสติก - พลาสติก โดยคำนึงถึงเงื่อนไขการเกิดจุดหมุนพลาสติกในแง่ของกำลังและความเสถียร ดังสมการ (2.4.1)

สมการ (2.4.2) และสมการ (2.4.3) ได้ค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกของจุดหมุนพลาสติกจุดแรกและจุดสุดท้ายที่โครงสร้างเกิดการวิบัติเท่ากับ 1.117 และ 1.444 ตามลำดับ ซึ่งได้หน้าตัดของชิ้นส่วนชุดที่หนึ่งคือ W300*84.5 และหน้าตัดชุดที่สองคือ W300*56.8 น้ำหนักของเหล็กหน้าตัด W ทั้งโครงสร้างเท่ากับ 2.599 ตัน ในกรณีแรกของการคำนวนออกแบบนี้โครงสร้างไม่ได้สูญเสียความเป็นอิลาสติกที่น้ำหนักบรรทุกใช้งานเพราะว่า ค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกที่จุดหมุนพลาสติกจุดแรกมากกว่า 1.0 และค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกของจุดหมุนพลาสติกที่โครงสร้างเกิดการวิบัติมากกว่า 1.3 ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดของ AISC (4) แต่กรณีที่สองเมื่อคำนึงหน่วยแรงลัพธ์ ณ จุดคลากที่น้ำหนักบรรทุกใช้งาน สมการ (2.10.1) และสมการ (2.10.2) ถูกกำหนดในการคำนวณออกแบบ และได้ค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกของจุดหมุนพลาสติกจุดแรก และจุดสุดท้ายที่โครงสร้างเกิดการวิบัติเปลี่ยนไป ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.173 และ 1.331 ตามลำดับ หน้าตัดของชิ้นส่วนชุดที่หนึ่งคือ W300*84.5 และหน้าตัดชุดที่สองคือ W250*66.5 น้ำหนักของเหล็กหน้าตัด W ทั้งโครงสร้าง เท่ากับ 2.754 ตัน ในกรณีแรกของการคำนวนออกแบบนั้นชิ้นส่วนหมายเลข 3 ใกล้จุด 5 เกิดหน่วยแรงลัพธ์คลากที่น้ำหนักบรรทุกใช้งาน ดังนั้นต้องปรับปรุงหน้าตัดชุดของชิ้นส่วนหมายเลข 3 จากสมการ (2.10.1) และสมการ (2.10.2) เพื่อป้องกันโครงสร้างและชิ้นส่วนในโครงสร้างเกิดการสูญเสียความเป็นอิลาสติกที่น้ำหนักบรรทุกใช้งาน กรณีที่สามคำนึงถึงพิกัดของการโก่งตัวที่น้ำหนักบรรทุกใช้งานในการคำนวนออกแบบ และได้ค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกของจุดหมุนพลาสติกจุดแรก และจุดสุดท้ายที่โครงสร้างเกิดการวิบัติเท่ากับ 2.599 และ 2.754 ตามลำดับ หน้าตัดของชิ้นส่วนชุดที่หนึ่งคือ W800*191.0 และหน้าตัดของชิ้นส่วนชุดที่สองคือ W400*66.0 น้ำหนักของเหล็กหน้าตัด W ทั้งโครงสร้างเท่ากับ 4.876 ตัน

ค่าตัวประกอบความยาวประสิทธิผลของชิ้นส่วน ที่แสดงไว้ในผลลัพธ์จากโปรแกรมของตัวอย่างที่ 3 ภาคผนวก ช. และเปลี่ยนแปลงตามสติฟเนสของชิ้นส่วนในโครงสร้าง การคำนวณออกแบบของงานวิจัยนี้ได้ค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุก ณ ตำแหน่งที่เกิดจุดหมุนพลาสติกทั้ง 2 จุดของทุกกรณี คำนวณมาจากเงื่อนไขการเกิดจุดหมุนพลาสติกในสมการ (2.4.1) และสมการ (2.4.2) ซึ่งเป็นเงื่อนไขในแง่ของกำลัง ดังนั้นผลของตัวประกอบความยาวประสิทธิผลของชิ้นส่วน จึงไม่เกี่ยวข้องกับการหาค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกของโครง

เหล็กข้อแข็งในตัวอย่างนี้

สำหรับงานวิจัยของวิโรจน์ (21) ซึ่งเป็นการคำนวนออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดโดยวิธีพลาสติกได้หน้าตัดของชิ้นส่วนชุดแรก และชุดที่สองเท่ากันคือ W300*56.8 ค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกที่โครงสร้างเกิดการวิบัติเท่ากับ 1.3 น้ำหนักของเหล็กหน้าตัด W ทั้งโครงสร้าง เท่ากับ 2.045 ตัน เมื่อเปรียบเทียบกับผลการคำนวนออกแบบของงานวิจัยนี้ในกรณีที่ 1 กรณีที่ 2 และ กรณีที่ 3 โดยน้ำหนักของเหล็กหน้าตัด W ทั้งโครงสร้างกับวิโรจน์ (21) จะแตกต่างเท่ากับ 27.09 เปอร์เซนต์ 34.67 เปอร์เซนต์ และ 138.43 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.5 เปอร์เซนต์ความแตกต่างในกรณีที่ 3 แตกต่างกันมาก เนื่องจากงานวิจัยของวิโรจน์ (21) ไม่ได้คำนึงถึงพิกัดของการโก่งตัวที่น้ำหนักบรรทุกใช้งาน และน้ำหนักกระทำด้านข้างของตัวอย่างนี้มีค่ามาก จึงทำให้เกิดระยะโก่งตัวทางราบมาก เพื่อให้ระยะโก่งตัวอยู่ในพิกัดตามข้อกำหนด AISC (4) สติฟเนสของโครงสร้างจึงต้องเพิ่มมากขึ้น