

การวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีอิลาสติก-พลาสติกสำหรับโครงเหล็กข้อแฉ่ง



นาย ศิริวุฒิ ศติบุตร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2533

ISBN 974-577-291-7

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

016800

i 10307163

Elastic-Plastic Analysis of Steel Rigid Frames

Mr. Siriwut Sasibut

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Civil Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1990

ISBN 974-577-291-7



ศิริภูมิ ศศิบุตร : การวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีอีลาสติก-พลาสติกสำหรับโครงเหล็กข้อแฉ่ง
(ELASTIC - PLASTIC ANALYSIS OF STEEL RIGID FRAMES) อ.ที่ปรึกษา : ศ.ดร.
ทักษิณ เทพชาตรี, 109 หน้า. ISBN 974-577-291-7

งานวิจัยนี้ ได้เสนอหลักการในการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีอีลาสติก-พลาสติกที่ใช้การวิเคราะห์อันดับแรก เมื่อพิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่างแรงในแนวแกนกับแรงดัด โดยที่ใช้สมการความสัมพันธ์ระหว่างแรงในแนวแกนกับแรงดัดของ AISC (1) ในการกำหนดเงื่อนไขของการเกิดจุดหมุนพลาสติก และพิจารณาถึงผลของกำลัง (Strength) รวมทั้ง ความเสถียรในระนาบ (In-Plane Stability)

ผลการวิจัยแสดงได้ว่า หลักการที่เสนอสามารถใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีอีลาสติก-พลาสติก โดยที่ผลการวิเคราะห์กำลังประลัยของโครงสร้างที่ใช้ในการศึกษาในงานวิจัยครั้งนี้จะมีค่าต่ำกว่า ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีอีลาสติก-พลาสติกที่ใช้การวิเคราะห์อันดับที่สองประมาณ 3-10 เปอร์เซ็นต์ แต่การวิเคราะห์จะมีความยุ่งยากและเสียเวลาน้อยกว่า

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา 2532

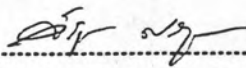
ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

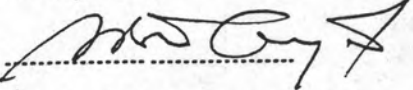
SIRIWUT SASIBUT : ELASTIC-PLASTIC ANALYSIS OF STEEL RIGID FRAMES.
THESIS ADVISOR : PROF. THAKSIN THEPCHATRI, Ph.D. 109 PP.
ISBN 974-577-291-7

The principle of first-order elastic-plastic analysis including the interaction between axial force and bending moment is presented. The method utilizes the AISC(1)'s interaction formulae in setting up conditions of plastic hinge formation. Both strength and in-plane stability effects are considered.

It has been shown that the proposed method is an effective one in solving elastic-plastic problems. From the examples, the predicted maximum load factors are about 3-10 % less than those obtained by the second-order elastic-plastic analysis. The proposed method, however, is more simple and use less computational effort.

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา 2532

ลายมือชื่อนิสิต 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม



กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์นี้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. ทักษิณ เทพชาติรี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้ความรู้และคำแนะนำต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ ในระหว่างการทำวิทยานิพนธ์ รวมทั้งความกรุณาตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วง ไปอย่างสมบูรณ์และขอกราบขอบพระคุณ ท่านคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อันประกอบด้วย ศาสตราจารย์ ดร. เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ รองศาสตราจารย์ ดร. การุญ จันทรางศุ และ รองศาสตราจารย์ อำนวย พานิชกุล ซึ่งได้กรุณาให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขข้อบกพร่องของ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ท้ายสุดนี้ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ซึ่งได้ให้โอกาสในการศึกษาเล่าเรียนและกำลังใจตลอดการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ศิริวุฒิ ศศิบุตร



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญรูป	ฉ
สัญลักษณ์	ฐ
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ความนำ	1
1.2 งานวิจัยที่ผ่านมา	2
1.3 วัตถุประสงค์	3
1.4 ขอบข่ายงานวิจัย	3
1.5 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัย	3
2. วิธีวิเคราะห์	5
2.1 ความนำ	5
2.2 สมมุติฐาน	5
2.3 การวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีการเปลี่ยนตำแหน่ง.....	6
2.4 การวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีอิลาสติก-พลาสติก.....	10
2.5 เงื่อนไขในการเกิดจุดหมุนพลาสติก	11

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงโน้มถ่วงกับแรงตัด ในแง่ของกำลัง	12
2.5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงโน้มถ่วงกับแรงตัด ในแง่ของความเสถียร	12
2.6 การคำนวณค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุก	14
2.6.1 กรณีที่พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างแรงโน้มถ่วงกับ แรงตัดในแง่ของกำลัง	14
2.6.2 กรณีที่พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างแรงโน้มถ่วงกับ แรงตัดในแง่ของความเสถียร	22
2.7 การคำนวณค่าผลลัพธ์สะสม	35
2.8 การเปลี่ยนแปลงสถิติเนสเมตริกซ์ของชิ้นส่วนย่อย	36
2.9 การเปลี่ยนแปลงสัมประสิทธิ์ความยาวประสิทธิผล	39
2.10 การตรวจสอบการวิบัติของโครงสร้าง	39
3. ผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบ	41
3.1 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบ	41
4. สรุปผลการวิจัย และ ข้อเสนอแนะ	46
4.1 สรุปผลการวิจัย	46
4.2 ข้อเสนอแนะ	48
เอกสารอ้างอิง	49

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก	
ก. รายการตารางประกอบ	51
ข. รายการรูปประกอบ	58
ค. แผนภาพขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม	74
ง. ผลลัพธ์จากโปรแกรมในตัวอย่างที่ 1	76
จ. ผลลัพธ์จากโปรแกรมในตัวอย่างที่ 2	81
ฉ. ผลลัพธ์จากโปรแกรมในตัวอย่างที่ 3	105
 ประวัติผู้เขียน	 109

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 ค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกที่จุดวิบัติของโครงสร้าง ในตัวอย่างที่ 1	52
ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติของชิ้นส่วนของโครงสร้างในตัวอย่างที่ 2	53
ตารางที่ 3.3 คุณสมบัติของชิ้นส่วนของโครงสร้างในตัวอย่างที่ 2	54
ตารางที่ 3.4 ค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกที่จุดวิบัติของโครงสร้าง ในตัวอย่างที่ 2	55
ตารางที่ 3.5 คุณสมบัติของชิ้นส่วนของโครงสร้างในตัวอย่างที่ 3	56
ตารางที่ 3.6 ค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกที่จุดวิบัติของโครงสร้าง ในตัวอย่างที่ 3	57

สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่ 1.1	รูปแบบการจำลองทางคณิตศาสตร์ของพฤติกรรมทางโครงสร้าง	59
รูปที่ 2.1	สมมูลย์ของแรงภายในและแรงภายนอก	60
รูปที่ 2.2	การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของชิ้นส่วนย่อยในระบบพิกัดเฉพาะที่	60
รูปที่ 2.3	ความสอดคล้องของการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของชิ้นส่วนและข้อต่อ	
	ก. การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของชิ้นส่วนสอดคล้องกับ X_{AH}	
	ข. การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของชิ้นส่วนสอดคล้องกับ X_{AV}	
	ค. การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของชิ้นส่วนสอดคล้องกับ X_{Ae}	
	ง. การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของชิ้นส่วนสอดคล้องกับ X_{BH}	
	จ. การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของชิ้นส่วนสอดคล้องกับ X_{BV}	
	ฉ. การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของชิ้นส่วนสอดคล้องกับ X_{Be}	61
รูปที่ 2.4	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงในแนวแกนกับแรงตัดสำหรับเหล็กหน้าตัด W	63
รูปที่ 2.5	ลักษณะการโค้งงอของเสา	64
รูปที่ 3.1	ลักษณะของโครงสร้างในตัวอย่างที่ 1	65
รูปที่ 3.2	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับการเปลี่ยนตำแหน่งตั้งแต่จุดหมุนพลาสติก จุดแรกจนถึงจุดสุดท้ายของโครงสร้างในตัวอย่างที่ 1	66
รูปที่ 3.3	ตำแหน่งและลำดับของการเกิดจุดหมุนพลาสติกของโครงสร้าง ในตัวอย่างที่ 1	67
รูปที่ 3.4	ลักษณะของโครงสร้างในตัวอย่างที่ 2	68
รูปที่ 3.5	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับการเปลี่ยนตำแหน่งตั้งแต่จุดหมุนพลาสติก จุดแรกจนถึงจุดสุดท้ายของโครงสร้างในตัวอย่างที่ 2	69
รูปที่ 3.6	ตำแหน่งและลำดับของการเกิดจุดหมุนพลาสติกของโครงสร้าง ในตัวอย่างที่ 2	70

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.7 ลักษณะของโครงสร้างในตัวอย่างที่ 3	71
รูปที่ 3.8 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับการเปลี่ยนตำแหน่งตั้งแต่จุดหมุนพลาสติก จุดแรกจนถึงจุดสุดท้ายของโครงสร้างในตัวอย่างที่ 3	72
รูปที่ 3.9 ตำแหน่งและลำดับของการเกิดจุดหมุนพลาสติกของโครงสร้าง ในตัวอย่างที่ 3	73



สัญลักษณ์

- [A] = เมตริกซ์แปลงจากเวกเตอร์แรงภายในในระบบพิกัด เฉพาะที่
เป็นเวกเตอร์แรงภายนอกของชิ้นส่วนย่อยในระบบพิกัดในวงกว้าง
- [A]^T = ทรานสโพสของเมตริกซ์ [A] = เมตริกซ์แปลงการเปลี่ยนตำแหน่ง
- A = พื้นที่หน้าตัดของชิ้นส่วน
- A_k = พื้นที่หน้าตัดของชิ้นส่วนที่ k
- C = อัตราความขรุขระ
- C_c = $\sqrt{2\pi^2 E / F_y}$
- C_m = สัมประสิทธิ์ตัวลดค่าแรงดัด
- D_i^j = ค่าการเปลี่ยนตำแหน่งที่ข้อต่อ i ในวงรอบการทำงานที่ j
- D_{c_i}^j = ค่าการเปลี่ยนตำแหน่งสะสมที่ข้อต่อ i ในวงรอบการทำงานที่ j
- D_{c_i}^{j-1} = ค่าการเปลี่ยนตำแหน่งสะสมที่ข้อต่อ i ในวงรอบการทำงานที่ j-1
- E = โมดูลัสยืดหยุ่น
- F_a = หน่วยแรงอัดที่ยอมให้
- F.S. = $5/3 + 3/8 C/C_c - 1/8 (C/C_c)^3$
- F_y = กำลังคลากของวัสดุ
- G = โมดูลัสการเฉือน
- I = โมเมนต์อินเนอร์เซีย
- [k] = สติฟเนสเมตริกซ์ของชิ้นส่วนย่อยในระบบพิกัดในวงกว้าง
- [K] = สติฟเนสเมตริกซ์ของโครงสร้าง
- K = สัมประสิทธิ์ความยาวประสิทธิภาพ
- L = ความยาวของชิ้นส่วน
- M = แรงดัดที่ปลายของชิ้นส่วน
- M_{eq} = โมเมนต์สมมูลเสมอเทียบเท่า

- M_p = พลาสติกโมเมนต์ของชิ้นส่วน
 M_{pk} = พลาสติกโมเมนต์ของชิ้นส่วนที่ k
 M_{ik}^j = แรงดัดที่ปลาย i ของชิ้นส่วนที่ k เนื่องจากแรงกระทำ {R} ในวงรอบการทำงานที่ j
 $M_{c ik}^j$ = แรงดัดสะสมที่ปลาย i ของชิ้นส่วนที่ k ในวงรอบการทำงานที่ j
 $M_{c ik}^{j-1}$ = แรงดัดสะสมที่ปลาย i ของชิ้นส่วนที่ k ในวงรอบการทำงานที่ j-1
 n = $\beta AGL^2 / EI$
 P = แรงในแนวแกนของชิ้นส่วน
 P_{cr} = แรงที่ทำให้เกิดการโก่งเดาะ
 P_{crk} = P_{cr} ของชิ้นส่วนที่ k
 P_o = แรงออยเลอร์
 P_{ek} = P_o ของชิ้นส่วนที่ k
 P_k^j = แรงในแนวแกนของชิ้นส่วนที่ k เนื่องจากแรงกระทำ {R} ในวงรอบการทำงานที่ j
 P_{ck}^j = แรงในแนวแกนสะสมของชิ้นส่วนที่ k ในวงรอบการทำงานที่ j
 P_{ck}^{j-1} = แรงในแนวแกนสะสมของชิ้นส่วนที่ k ในวงรอบการทำงานที่ j-1
 P_y = $F_y \cdot A$
 P_{yk} = $F_y \cdot A_k$
{r} = เวกเตอร์การเปลี่ยนตำแหน่งของข้อต่อในระบบ
พิกัดในวงกว้างในระดับของโครงสร้าง
{R} = เวกเตอร์แรงกระทำที่ข้อต่อของโครงสร้าง
r = รัศมีจําเรชั่น
[ES] = สติฟเนสเมตริกซ์ของชิ้นส่วนย่อยในระบบพิกัดเฉพาะที่

- $[S^*_{H1}]$ = สติฟเนสเมตริกซ์ของชิ้นส่วนย่อยที่เปลี่ยนแปลงไปในระบบกักเฉพาะที่ เนื่องจากจุดหมุนพลาสติกเกิดขึ้นที่ข้อต่อที่ 1 ของชิ้นส่วน
- $[S^*_{H2}]$ = สติฟเนสเมตริกซ์ของชิ้นส่วนย่อยที่เปลี่ยนแปลงไปในระบบกักเฉพาะที่ เนื่องจากจุดหมุนพลาสติกเกิดขึ้นที่ข้อต่อที่ 2 ของชิ้นส่วน
- $[S^*_{HB}]$ = สติฟเนสเมตริกซ์ของชิ้นส่วนย่อยที่เปลี่ยนแปลงไปในระบบกักเฉพาะที่ เนื่องจากจุดหมุนพลาสติกเกิดขึ้นทั้งสองข้างของชิ้นส่วน
- $\{SR\}$ = เวกเตอร์แรงภายในที่ข้อต่อของชิ้นส่วนย่อยในระบบกักเฉพาะที่
- $\{W\}$ = เวกเตอร์แรงภายนอกกระทำที่ข้อต่อของชิ้นส่วนย่อยในระบบกักในวงกว้าง
- $\{X\}$ = เวกเตอร์การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของชิ้นส่วนย่อยในระบบกักเฉพาะที่
- $\{X\}$ = เวกเตอร์การเปลี่ยนตำแหน่งของข้อต่อในระบบกักในวงกว้าง
- α^j_c = ค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกสะสมในวงรอบการทำงานที่ j
- α^{j-1}_c = ค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกสะสมในวงรอบการทำงานที่ $j-1$
- α^j_{1k} = ค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกที่ปลาย i ของชิ้นส่วนที่ k ในวงรอบการทำงานที่ j
- α^j_m = ค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกที่น้อยที่สุดในวงรอบการทำงานที่ j
- β = ส่วนกลับของแฟคเตอร์รูปร่าง