

การวิเคราะห์โครงเหล็กข้อแฉ่งด้วยวิธี อีลาสติก-พลาสติก
สำหรับน้ำหนักบรรทุกทุกแบบเป็นจุด และ แบบแผ่กระจายสม่ำเสมอ



นาย ประมวล หาดขุนทด

ศูนย์วิทยทรัพยากร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

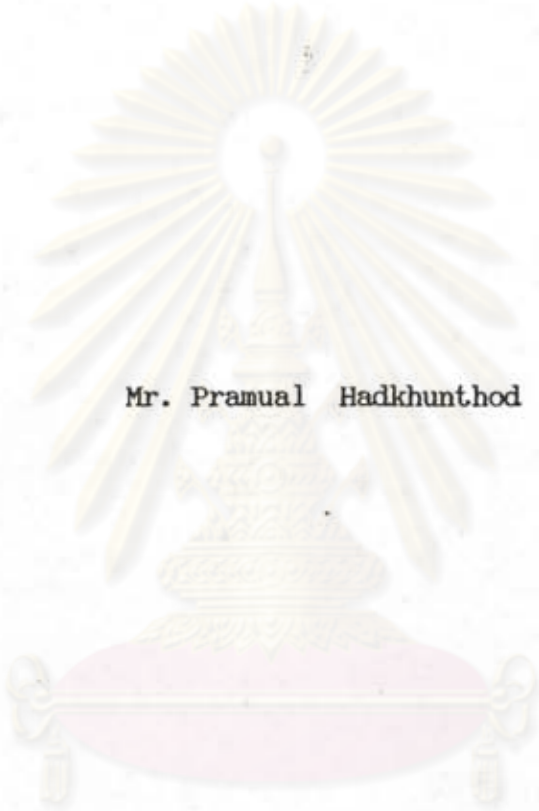
พ.ศ. 2534

ISBN 974-579-317-5

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

017307

Elastic-Plastic Analysis of Steel Rigid Frames
Under Concentrated and Uniformly Distributed Loads



Mr. Pramual Hadkhunthod

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering
Department of Civil Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1991

ISBN 974-579-317-5

ประมวล หาดขุนทด : การวิเคราะห์โครงสร้างเหล็กข้อแข็งด้วยวิธี อีลาสติก-พลาสติก สำหรับ
น้ำหนักบรรทุกแบบเป็นจุด และ แบบแผ่กระจายสม่ำเสมอ (ELASTIC-PLASTIC ANALYSIS
OF STEEL RIGID FRAMES UNDER CONCENTRATED AND UNIFORMLY DISTRIBUTED
LOADS) อาจารย์ที่ปรึกษา : ศาสตราจารย์ ดร. ทักษิณ เทพชาตรี, 85 หน้า.
ISBN 974-579-317-5

งานวิจัยนี้ ได้เสนอหลักการในการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีอีลาสติก-พลาสติก ที่ใช้ในการ
วิเคราะห์อันดับแรก เมื่อมีน้ำหนักบรรทุกภายนอกกระทำทั้งน้ำหนักบรรทุกแบบเป็นจุดและแบบแผ่กระจาย
สม่ำเสมอ โดยคำนึงถึงผลของแรงในแนวแกนและการเปลี่ยนตำแหน่งที่มีผลต่อค่าของแรงตัด จากสมการ
ความสัมพันธ์ระหว่างแรงในแนวแกนต่อแรงตัดของ AISC (1) ในการกำหนดเงื่อนไขของการเกิดจุด
หมุนพลาสติกที่มีต่อกำลังของวัสดุและต่อความมีเสถียรภาพในระนาบของโครงสร้างเหล็กข้อแข็ง ทุกขั้นตอนของ
ขั้นตอนการวิเคราะห์ เพื่อหาจุดหมุนพลาสติกนั้นจะต้องคำนวณหาสถิติฟเนสเมตริกซ์รวมทั้งโครงสร้างใหม่ อัน
เนื่องจากจุดหมุนพลาสติกที่เกิดขึ้นใหม่เมื่อเกิดจุดหมุนพลาสติกมากพอจนทำให้โครงสร้างวิบัติ สามารถ
ตรวจสอบได้จากค่าของเทอมในแนวแกนของสถิติฟเนสเมตริกซ์รวมเป็นศูนย์ และตัวประกอบของแรงภายใน
นอกสะสมสูงสุดจะหาได้โดยการรวมตัวประกอบของแรงในทุกขั้นตอนของขั้นตอนการดังกล่าวข้างต้น

จากผลการวิจัยแสดงได้ว่า หลักการวิเคราะห์โครงสร้างเหล็กข้อแข็งด้วยวิธี อีลาสติก-พลาสติก
สามารถนำมาใช้ได้เพราะผลการวิเคราะห์ที่ได้จะให้ค่าเป็นขอบเขตล่าง กล่าวคือจากการศึกษาของตัว
อย่างในงานวิจัยนี้จะให้ค่าแรงปฏิกิริยาของโครงสร้างต่ำกว่าการวิเคราะห์โครงสร้าง ด้วยวิธีอีลาสติก-
พลาสติก ที่ใช้กับการวิเคราะห์อันดับที่สองประมาณ 3-10 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น แต่มีความยุ่งยากและ
ซับซ้อนน้อยกว่า



ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา 2533

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

PRAMUAL HADKHUNTHOD : ELASTIC-PLASTIC ANALYSIS OF STEEL RIGID
FRAMES UNDER CONCENTRATED AND UNIFORMLY DISTRIBUTED LOADS.

THESIS ADVISOR : PROF. THAKSIN THEPCHATRI, Ph.D. 85 PP.

ISBN 974-579-317-5

This thesis presented the principle of the first-order elastic-plastic analysis including the interaction between axial force and bending moment. Both concentrated and uniformly distributed loadings can be considered in the analysis. 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. A step-by-step algorithm is used in locating plastic hinges. The structural stiffness is recalculated everytime a new plastic hinge is formed. The structure collapses when enough plastic hinges are formed which causes the singularity in the structural stiffness. Maximum load factor, therefore, is the summation of all the load factor computed at every step in the analysis.

It has been shown that the proposed method is an effective method in solving elastic-plastic problem of steel rigid frames. The result yields the lower bound value. From the examples studied in this thesis, predicted maximum load factors are about 3-10% less than those obtained by the second-order elastic-plastic analysis. The proposed method, however, consumes less computational effort.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา 2533

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม



กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์นี้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. ทักษิณ เทพชาตรี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้ความรู้และคำแนะนำต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ในระหว่างการทำวิทยานิพนธ์ รวมทั้งความกรุณาตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปอย่างสมบูรณ์ และขอกราบขอบพระคุณ ท่านคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อันประกอบด้วย ศาสตราจารย์ ดร. เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ ศาสตราจารย์ วัฒนา ชรรรมงคล และรองศาสตราจารย์ ดร. การุญ จันทรางศุ ซึ่งได้กรุณาให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ท้ายสุดนี้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ บิดา - มารดา ซึ่งได้ให้โอกาสในการศึกษาเล่าเรียน และกำลังใจแก่ผู้วิจัยตลอดการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จการศึกษา

ประมวล หาดขุนทด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญรูป	ฎ
คำย่อและคำอธิบายสัญลักษณ์	ฏ
บทที่ 1. บทนำ	1
1.1 ความนำ	1
1.2 งานวิจัยที่ผ่านมา	2
1.3 งานวิจัยที่กำลังจะศึกษาต่อไป	4
1.4 วัตถุประสงค์	5
1.5 ขั้ตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย	5
1.6 ขอบข่ายงานวิจัย	6
บทที่ 2. ทฤษฎีการวิเคราะห์	7
2.1 ความนำ	7
2.2 สมมุติฐาน	7
2.3 การวิเคราะห์โครงสร้าง	8
2.4 หลักการและวิธีทางอิลาสติก-พลาสติก	14
2.5 การคำนวณหาค่าตัวประกอบแรงภายนอก	17

2.6	การเปลี่ยนแปลงของสตีเฟนเนสของชั้นส่วนย่อยเมื่อเกิดจุดหมุนพลาสติกชั้น	20
2.6.1	เมตริกซ์ความแข็งของชั้นส่วนที่มีจุดข้อต่อทางซ้ายมือเป็นจุดหมุนพลาสติก (Left Plastic Hinge)	20
2.6.2	เมตริกซ์ความแข็งของชั้นส่วนที่มีจุดข้อต่อทางขวามือเป็นจุดหมุนพลาสติก (Right Plastic Hinge)	21
2.6.3	เมตริกซ์ความแข็งของชั้นส่วนที่มีจุดข้อต่อทางขวามือและซ้ายมือเป็นจุดหมุนพลาสติก (Both Plastic Hinge)	22
2.6.4	เมตริกซ์ความแข็งของชั้นส่วนที่มีจุดหมุนพลาสติกอยู่ภายใน (Internal Plastic Hinge)	22
2.7	พิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ของความยาวประสิทธิผล (k)	23
2.8	การตรวจสอบความมีเสถียรภาพของโครงสร้าง	24
2.9	คุณลักษณะพิเศษของวิธีการทางอีลาสติก-พลาสติก	24
บทที่ 3.	ผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบ	26
3.1	แสดงผลการวิเคราะห์และการเปรียบเทียบตัวอย่างที่ 3.1	26
3.2	แสดงผลการวิเคราะห์และการเปรียบเทียบตัวอย่างที่ 3.2	35
บทที่ 4.	สรุปผลและข้อเสนอแนะ	47
4.1	สรุปผล	47
4.2	ข้อเสนอแนะ	49
เอกสารอ้างอิง		50



ภาคผนวก	53
ภาคผนวก ก. ระบบของแรงยึดแน่น	53
ภาคผนวก ข. แผนภาพขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม	58
ภาคผนวก ค. หลักการแก้สมการที่มีค่าสัมบูรณ์	60
ภาคผนวก ง. นิยมผลลัพธ์จากโปรแกรมของตัวอย่างที่ 1	65
ภาคผนวก จ. นิยมผลลัพธ์จากโปรแกรมของตัวอย่างที่ 2	72
ภาคผนวก ฉ. ตัวคูณแปลงหน่วยจากระบบอังกฤษเป็นระบบเอสไอ	82
ประวัติผู้เขียน	85



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 แสดงคุณสมบัติของชิ้นส่วนของโครงเหล็กข้อแฉ่ง รูปที่ 3.1	28
ตารางที่ 3.2 แสดงผลลัพธ์จากโปรแกรมของแรงรูปแบบที่ 1 รูปที่ 3.3	30
ตารางที่ 3.3 แสดงผลลัพธ์จากโปรแกรมของแรงรูปแบบที่ 2 รูปที่ 3.5	31
ตารางที่ 3.4 แสดงผลลัพธ์จากโปรแกรมของแรงรูปแบบที่ 3 รูปที่ 3.7	32
ตารางที่ 3.5 เปรียบเทียบค่าของตัวประกอบแรงภายนอกที่จุดวิบัติของ โครงสร้าง ในรูปที่ 3.1	34
ตารางที่ 3.6 แสดงคุณสมบัติของชิ้นส่วนของโครงเหล็กข้อแฉ่งรูปที่ 3.10	37
ตารางที่ 3.7 แสดงผลลัพธ์จากโปรแกรมของแรงรูปแบบที่ 1 รูปที่ 3.12	40
ตารางที่ 3.8 แสดงผลลัพธ์จากโปรแกรมของแรงรูปแบบที่ 2 รูปที่ 3.14	42
ตารางที่ 3.9 แสดงผลลัพธ์จากโปรแกรมของแรงรูปแบบที่ 3 รูปที่ 3.16	44
ตารางที่ 3.10 เปรียบเทียบค่าของตัวประกอบแรงภายนอกที่จุดวิบัติของ โครงสร้าง ในรูปที่ 3.10	46

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่ 1.1	กราฟสมมติฐานแบบจำลองพฤติกรรมของโครงสร้าง	3
รูปที่ 2.1	แรงภายนอก (ในระบบรวม)	8
รูปที่ 2.2	ทิศทางการเปลี่ยนตำแหน่ง (ในระบบรวม)	8
รูปที่ 2.3	แรงภายในชิ้นส่วนและการเปลี่ยนตำแหน่ง (ในระบบเฉพาะที่)	9
รูปที่ 2.4	ความสัมพันธ์ของแรงภายในและการเปลี่ยนตำแหน่งในระบบเฉพาะที่ของ- ชิ้นส่วนย่อย	10
รูปที่ 2.5	แสดงการเปลี่ยนตำแหน่งในระบบรวมของชิ้นส่วนย่อย	12
รูปที่ 2.6	พิจารณาข้อต่อใดข้อต่อหนึ่งที่เป็นจุดปลายร่วมกันของชิ้นส่วน	13
รูปที่ 2.7	กราฟเงื่อนโซ่ของการเกิดจุดหมุนพลาสติก	15
รูปที่ 2.8	ชิ้นส่วนที่มีจุดหมุนพลาสติกเกิดที่ข้อต่อทางซ้ายมือ	20
รูปที่ 2.9	ชิ้นส่วนที่มีจุดหมุนพลาสติกเกิดที่ข้อต่อทางขวามือ	21
รูปที่ 2.10	ชิ้นส่วนที่มีจุดหมุนพลาสติกที่จุดข้อต่อทั้งทางซ้ายมือและทางขวามือ	22
รูปที่ 2.11	ชิ้นส่วนที่เกิดจุดหมุนพลาสติกอยู่ภายใน	22
รูปที่ 3.1	ลักษณะโครงเหล็กข้อแฉ่งของตัวอย่างที่ 3.1	28
รูปที่ 3.2	ตำแหน่งและลำดับของการเกิดจุดหมุนพลาสติกของงานวิจัยที่ผ่านมาของ โครงสร้างรูปที่ 3.1	29
รูปที่ 3.3	แรงรูปแบบที่ 1 แรงแบบเป็นจุดเทียบเท่าแบ่งชิ้นส่วนออกเป็นสองส่วน	30
รูปที่ 3.4	ลำดับของการเกิดจุดหมุนพลาสติกตามแรงรูปแบบที่ 1 ในงานวิจัยนี้	30
รูปที่ 3.5	แรงรูปแบบที่ 2 แรงแบบเป็นจุดเทียบเท่าแบ่งชิ้นส่วนออกเป็นสามส่วน	31
รูปที่ 3.6	ลำดับของการเกิดจุดหมุนพลาสติกตามแรงรูปแบบที่ 2 ในงานวิจัยนี้	31
รูปที่ 3.7	แรงรูปแบบที่ 3 แรงแบบแผ่กระจายสม่ำเสมอ	32
รูปที่ 3.8	ลำดับของการเกิดจุดหมุนพลาสติกตามแรงรูปแบบที่ 3 ในงานวิจัยนี้	32
รูปที่ 3.9	กราฟการโก่งตัวสูงสุดต่อความสูงกับค่าของตัวประกอบแรงภายนอกสะสม ของโครงเหล็กข้อแฉ่งรูปที่ 3.1	33

รูปที่ 3.10	ลักษณะโครงเหล็กข้อแฉ่งของตัวอย่างที่ 3.2	36
รูปที่ 3.11	ตำแหน่งและลำดับของการเกิดจุดหมุนพลาสติกของงานวิจัยที่ผ่านมาของ โครงสร้างรูปที่ 3.10	38
รูปที่ 3.12	แรงรูปแบบที่ 1 แรงแบบเป็นจุดที่ขบเท่าแบ่งชั้นส่วนออกเป็นสองส่วน	39
รูปที่ 3.13	ลำดับของการเกิดจุดหมุนพลาสติกตามแรงรูปแบบที่ 1 ในงานวิจัยนี้	39
รูปที่ 3.14	แรงรูปแบบที่ 2 แรงแบบเป็นจุดที่ขบเท่าแบ่งชั้นส่วนออกเป็นสามส่วน	41
รูปที่ 3.15	ลำดับของการเกิดจุดหมุนพลาสติกตามแรงรูปแบบที่ 2 ในงานวิจัยนี้	41
รูปที่ 3.16	แรงรูปแบบที่ 3 แรงแบบแผ่กระจายสม่ำเสมอ	43
รูปที่ 3.17	ลำดับของการเกิดจุดหมุนพลาสติกตามแรงรูปแบบที่ 3 ในงานวิจัยนี้	43
รูปที่ 3.18	กราฟการโก่งตัวสูงสุดต่อความสูงกับค่าของตัวประกอบแรงภายนอกสะสม ของโครงเหล็กข้อแฉ่งรูปที่ 3.10	45

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สัญลักษณ์

- $[a_m]$ = เมตริกซ์แปลงระบบของชิ้นส่วนจากระบบรวมไปเป็นระบบเฉพาะที่
- A = พื้นที่หน้าตัดรวมของชิ้นส่วน
- A_r = พื้นที่ลดลงที่ใช้สำหรับคำนวณความเครียดเฉือน
- C = อัตราส่วนความขรุขระ
- C_m = สัมประสิทธิ์ตัวลดค่าของแรงดัดสำหรับ โครงข้อแข็งที่ไม่มีค้ำยัน
- E = โมดูลัสยืดหยุ่น
- $\{F_o\}^m$ = เวกเตอร์ของแรงยึดแน่นของชิ้นส่วนที่พิจารณา
- F_u = หน่วยแรงที่ยอมให้ของวัสดุ
- F_y = กำลังคลากของวัสดุ
- G = โมดูลัสเฉือน
- I = ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัด
- j = รอบของการพิจารณาการเกิดจุดหมุนพลาสติก
- k = สัมประสิทธิ์ของความยาวประสิทธิผลขึ้นอยู่กับสภาพรองรับที่ปลายทั้งสองของชิ้นส่วน
- $[k_m]$ = สติเฟเนสเมตริกซ์ของแต่ละชิ้นส่วนในระบบเฉพาะที่
- $[K]$ = สติเฟเนสเมตริกซ์รวมของทุกชิ้นส่วนในโครงสร้าง
- $[K]^m$ = สติเฟเนสเมตริกซ์ของแต่ละชิ้นส่วนในระบบรวม
- L = ความยาวของชิ้นส่วนที่พิจารณา
- M = แรงดัดที่จุดใด ๆ ของชิ้นส่วนที่พิจารณา
- M_j = ค่าของแรงดัดที่เกิดขึ้นจริงในการวิเคราะห์ ที่ใช้ในการคำนวณหาจุดหมุนพลาสติกจุดที่ j ในแต่ละชิ้นส่วน
- M_p = พลาสติกโมเมนต์

$$\sum_{i=0}^{j-1} M_i = \text{ค่าของแรงดัดที่เกิดขึ้นรวมสะสมของทุกรอบ ก่อนที่จะเกิดจุดหมุนพลาสติกจุดที่ } j$$

P = แรงในแนวแกนของชิ้นส่วน

$\{P\}$ = เวกเตอร์ของแรงภายนอกกระทำที่จุดข้อต่อ

P_o = แรงของออกเซอร์ตามแนวแกน

P_j = ค่าของแรงในแนวแกนที่เกิดขึ้นจริงในการวิเคราะห์ ที่ใช้คำนวณหาจุดหมุนพลาสติกที่ j ในแต่ละชิ้นส่วน

$$\sum_{i=0}^{j-1} P_i = \text{ค่าของแรงในแนวแกนรวมสะสมของทุกรอบก่อนที่จะเกิดจุดหมุนพลาสติกจุดที่ } j$$

P_{cr} = น้ำหนัก โด่รงงของชิ้นส่วนเป็นสัดส่วนกับความขลุคเมื่อ ไม่มีแรงดัดกระทำ

P_v = แรงในแนวแกนเพียงอย่างเดีขวที่ทำให้ชิ้นส่วนคลาก

r = รัศมีใจเวรชิ้น

$\{r\}^m$ = เวกเตอร์ของการเปลี่นตำแหน่งของชิ้นส่วนที่พิจารณาในระบบเฉพาะที่

$\{S\}^m$ = เวกเตอร์ของแรงภายในของชิ้นส่วนใด ๆ

$\{U\}$ = เวกเตอร์ของการเปลี่นตำแหน่งที่จุดข้อต่อในระบบรวม

$\{U\}^m$ = เวกเตอร์ของการเปลี่นตำแหน่งที่จุดข้อต่อในระบบรวมที่สัมพันธ์กับชิ้นส่วนที่พิจารณา

Z = พลาสติก โมดูลัสของหน้าตัด

β = ตัวประกอบรูปร่าง

θ = มุมที่กระทำของชิ้นส่วนในระบบเฉพาะที่ที่มีต่อระบบรวมเมื่อวัดทวน เข็มนาฬิกา

λ_j = ค่าตัวประกอบแรงภายนอกที่ต้องการทราบค่า เพื่อทำให้เกิดจุดหมุนพลาสติกที่ j ซึ่งเป็นค่าที่น้อยที่สุดจากแต่ละชิ้นส่วน

v = ค่าอัตราส่วนบิวชอง