

193

การวิเคราะห์โครงเหล็กข้อแฉ่งด้วยวิธี อีลาสติก - พลาสติก
โดยพิจารณาผลของ P- Δ และความยาวของชิ้นส่วน



นาย พิเชษฐ ชูฤทธิ

ศูนย์วิทยพัชกร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2539

ISBN 974-633-169-8

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 16892501

ELASTIC - PLASTIC ANALYSIS OF STEEL RIGID FRAMES
CONSIDERING P- Δ AND MEMBER LENGTH EFFECT

Mr.Pichast Choorit

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Civil Engineering

Graduate School

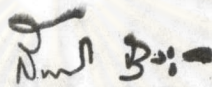
Chulalongkorn University

1996

ISBN 974-633-169-8

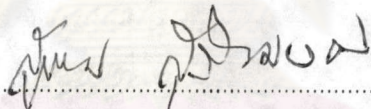
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การวิเคราะห์โครงเหล็กข้อแฉ่งด้วยวิธี อีลาสติก - พลาสติก
โดยพิจารณาผลของ P- Δ และความยาวของชิ้นส่วน
โดย นายพิเชษฐ ชูฤทธิ์
ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา ศาสตราจารย์ ดร.ทักษิณ เทพชาตรี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

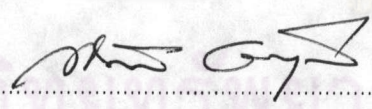


..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. สันติ ฤงสูรพน)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



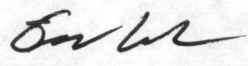
..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุธรรม สุริยะมงคล)



..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ศาสตราจารย์ ดร. ทักษิณ เทพชาตรี)



..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. พูลศักดิ์ เพ็ชรสุข)



..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. วีรพงศ์ เสนจันทร์ฉวีไชย)



##C415146 : MAJOR CIVIL ENGINEERING

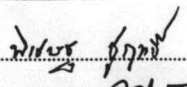
KEY WORD: STEEL RIGID FRAMES / ELASTIC / P- Δ / LENGTH EFFECT
PICHAST CHOORIT : ELASTIC-PLASTIC ANALYSIS OF STEEL RIGID FRAMES
CONSIDERING P- Δ AND MEMBER LENGTH EFFECT. THESIS ADVISOR : PROF.
THAKSIN THEPCHATRI, Ph.D. 49 PP. ISBN 974-633-169-8

This research presents a principle of the first-order elastic-plastic response of plane steel frames including P- Δ effect, moment reversals at plastic hinges and length effect. Reduction of plastic moment capacity due to axial force and in-plane stability effects are considered. The proposed algorithm is equivalent to a simplified second-order elastic-plastic analysis.

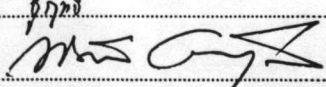
It had been shown here that results obtained from the proposed analysis are agreeable to those from second-order elastic-plastic analysis. The predicted maximum load factors are about 1% different from those obtained by the second-order elastic-plastic analysis. The proposed method, however, is simpler and faster. In addition it is found that the stability of steel rigid frames whose members are mostly bent into double curvature will not significantly be affected by the length of members.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....วิศวกรรมโยธา.....

ลายมือชื่อนิติ..... 

สาขาวิชา.....วิศวกรรมโยธา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... 

ปีการศึกษา.....2538.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....



กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์นี้ ผู้เขียนใคร่ขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. ทักษิณ เทพชาติ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้ความรู้และคำแนะนำต่างๆที่เป็นประโยชน์ในการทำวิทยานิพนธ์เป็นอย่างมาก รวมทั้งได้กรุณาตรวจสอบ และแก้ไขวิทยานิพนธ์ จนสำเร็จลุล่วงไปอย่างสมบูรณ์ และขอกราบขอบพระคุณท่านคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อันประกอบด้วย รองศาสตราจารย์ ดร.สุธรรม สุริยะมงคล อาจารย์ ดร.พุดศักดิ์ เพียรสุขสม และ อาจารย์ ดร.ธีรพงศ์ แสนจันทร์มิไชย ซึ่งได้กรุณาให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ท้ายสุดนี้ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ซึ่งได้ให้โอกาสในการศึกษาเล่าเรียนและกำลังใจตลอดการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

พิเชษฐ ชูฤทธิ์

ศูนย์วิทยพัทธยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญรูป	ฎ
สัญลักษณ์	ฐ
บทที่ 1. บทนำ.....	1
1.1 ความนำ.....	1
1.2 งานวิจัยที่ผ่านมา.....	2
1.3 งานวิจัยที่กำลังจะศึกษาต่อไป	4
1.4 วัตถุประสงค์	5
1.5 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัย.....	5
1.6 ขอบข่ายงานวิจัย	5
บทที่ 2. วิธีวิเคราะห์.....	7
2.1 ความนำ.....	7
2.2 สมมุติฐาน.....	9
2.3 การวิเคราะห์โครงสร้าง.....	9
2.4 การพิจารณารวมผลของ P- Δ และความยาวชิ้นส่วน	13
2.5 เงื่อนไขในการเกิดจุดหมุนพลาสติก	19
2.6 การพิจารณารวมผลของการย้อนกลับของโมเมนต์ ณ จุดหมุนพลาสติก	21
2.7 การคำนวณค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุก	22
2.8 การคำนวณค่าผลลัพท์สะสม.....	24
2.9 การเปลี่ยนแปลงสติเฟนสของชิ้นส่วนย่อย.....	25
2.10 การตรวจสอบความมีเสถียรภาพของโครงสร้าง.....	28

2.11 หลักการและวิธีการวิเคราะห์.....	28
บทที่ 3. ผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบ.....	30
3.1 การวิเคราะห์เปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ผ่านมา.....	30
3.2 การวิเคราะห์ตัวอย่างที่ความยาวของชิ้นส่วนมีผลต่อกำลังของโครงสร้าง	43
บทที่ 4. สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	45
4.1 สรุปผล.....	45
4.2 ข้อเสนอแนะ.....	46
รายการอ้างอิง.....	47
ประวัติผู้เขียน.....	49

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1	คุณสมบัติของชิ้นส่วนของโครงสร้างในตัวอย่างที่ 1.....	32
ตารางที่ 3.2	แสดงผลการวิเคราะห์ ตัวอย่างที่ 1	32
ตารางที่ 3.3	เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับงานวิจัยที่ผ่านมา ของโครงสร้างตัวอย่างที่ 1	32
ตารางที่ 3.4	คุณสมบัติของชิ้นส่วนของโครงสร้างในตัวอย่างที่ 2.....	35
ตารางที่ 3.5	แสดงผลการวิเคราะห์ ตัวอย่างที่ 2	36
ตารางที่ 3.6	เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับงานวิจัยที่ผ่านมา ของโครงสร้างตัวอย่างที่ 2	37
ตารางที่ 3.7	คุณสมบัติของชิ้นส่วนของโครงสร้างในตัวอย่างที่ 3.....	39
ตารางที่ 3.8	แสดงผลการวิเคราะห์ ตัวอย่างที่ 3	40
ตารางที่ 3.9	เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับงานวิจัยที่ผ่านมา ของโครงสร้างตัวอย่างที่ 3	41
ตารางที่ 3.10	คุณสมบัติของชิ้นส่วนของโครงสร้างในตัวอย่างที่ 4.....	43
ตารางที่ 3.11	แสดงผลการวิเคราะห์ ตัวอย่างที่ 4	44
ตารางที่ 3.12	เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับงานวิจัยที่ผ่านมา ของโครงสร้างตัวอย่างที่ 4	44

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สารบัญรูป

รูปที่ 2.1	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและการเปลี่ยนรูปร่าง ของโครงข้อแข็งระนาบ.....	8
รูปที่ 2.2	ชั้นส่วนโครงข้อแข็งระนาบ (ก) ระบบโคออร์ดิเนตพิกัดเฉพาะที่	10
	(ข) ระบบโคออร์ดิเนตพิกัดในวงกว้าง	10
รูปที่ 2.3	แสดงลักษณะการเสียรูปของชั้นส่วนในโครงสร้าง (ก) การเสียรูปของชั้นส่วนโดยรวม.....	14
	(ข) การเสียรูปที่ปลายชั้นส่วน.....	14
	(ค) การเสียรูปภายในชั้นส่วน.....	14
รูปที่ 2.4	แสดงการพิจารณาแรงเฉือนเทียบเท่า	15
รูปที่ 2.5	ชั้นส่วนที่รับแรงดัดร่วมกับแรงในแนวแกน	16
รูปที่ 2.6	กราฟแสดงค่าโมเมนต์สูงสุดในชั้นส่วนเทียบกับแรงกระทำภายใน	18
รูปที่ 2.7	กราฟแสดงเงื่อนไขของการเกิดจุดหมุนพลาสติก สำหรับหน้าตัด W	19
รูปที่ 2.8	กราฟแสดงเงื่อนไขของการเกิดจุดหมุนพลาสติก สำหรับหน้าตัดสี่เหลี่ยม	20
รูปที่ 2.9	แสดงการพิจารณาย้อนกลับของโมเมนต์ ณ จุดหมุนพลาสติก	22
รูปที่ 2.10	แสดงชั้นส่วนที่มีจุดหมุนพลาสติกที่ตำแหน่งต่างๆ (ก) จุดหมุนพลาสติกเกิดที่ข้อต่อซ้ายมือ.....	25
	(ข) จุดหมุนพลาสติกเกิดที่ข้อต่อขวามือ	25
	(ค) จุดหมุนพลาสติกเกิดภายในชั้นส่วน.....	25
	(ง) จุดหมุนพลาสติกเกิดที่ข้อต่อซ้ายมือและภายในชั้นส่วน	25
	(จ) จุดหมุนพลาสติกเกิดที่ข้อต่อขวามือและภายในชั้นส่วน	25
	(ฉ) จุดหมุนพลาสติกเกิดที่ข้อต่อทั้งสองข้าง.....	25

รูปที่ 3.1	ลักษณะของโครงสร้างในตัวอย่างที่ 1	31
รูปที่ 3.2	ลักษณะของโครงสร้างในตัวอย่างที่ 2	34
รูปที่ 3.3	ลักษณะของโครงสร้างในตัวอย่างที่ 3	38
รูปที่ 3.4	ลักษณะของโครงสร้างในตัวอย่างที่ 4	43



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สัญลักษณ์



- α = $\frac{6EI}{L^2 GA_r}$
 β = แฟคเตอร์รูปร่าง (form factor)
 = 1.14 สำหรับหน้าตัดเหล็ก W
 = 1.20 สำหรับหน้าตัดเหล็ก สี่เหลี่ยมผืนผ้า
 Δ = ค่าการเปลี่ยนตำแหน่งหรือการเคลื่อนที่ของจุดต่อ (joint) ของโครงข้อแข็ง
 δ = ระยะโก่งตัวภายในชิ้นส่วน
 θ = มุมที่กระทำของชิ้นส่วนย่อยในระบบพิกัดเฉพาะที่เมื่อเทียบกับระบบพิกัดในวงกว้าง ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา
 ν = อัตราส่วนปัวซอง (Poisson's ratio)
 = 0.3 สำหรับเหล็ก
 λ_i = ค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกเมื่อเกิดจุดหมุนพลาสติก i จุด
 $\lambda_{i+1, n+1}$ = ค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกเมื่อเกิดจุดหมุนพลาสติก i+1 จุดโดยอาศัยการประมาณจากโพลีโนเมียลดีกรี n
 λ_c^j = ค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกทุกสะสมในวงรอบการทำงานที่ j
 λ_c^{j-1} = ค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกทุกสะสมในวงรอบการทำงานที่ j-1
 $\Delta\lambda_{n+1}$ = ค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกที่เพิ่มขึ้นจากเดิมที่มีจุดหมุนพลาสติก i+1 จุดเป็น i+1 จุดโดยอาศัยการประมาณจากโพลีโนเมียลดีกรี n
 $[a]$ = เมตริกซ์แปลงการเปลี่ยนตำแหน่งจากระบบพิกัดในวงกว้างไปเป็นระบบพิกัดเฉพาะที่
 $[a]^T$ = ทรานสโพสของเมตริกซ์ $[a]$
 A = พื้นที่หน้าตัดของชิ้นส่วน
 A_r = พื้นที่ลดลงใช้สำหรับคำนวณความเครียดเฉือน
 = $\frac{A}{\beta}$
 D_{ci}^j = ค่าการเปลี่ยนตำแหน่งสะสมที่ข้อต่อ i ในวงรอบการทำงานที่ j
 D_{ci}^{j-1} = ค่าการเปลี่ยนตำแหน่งสะสมที่ข้อต่อ i ในวงรอบการทำงานที่ j-1
 D_i^j = ค่าการเปลี่ยนตำแหน่งที่ข้อต่อ i ในวงรอบการทำงานที่ j

- E = โมดูลัสยืดหยุ่น
 f = ตัวประกอบรูปร่าง (Shape factor)
 = 1.14 สำหรับหน้าตัด W
 = 1.50 สำหรับหน้าตัดสี่เหลี่ยม
 F_y = หน่วยแรงคลากของวัสดุ
 $[FEM]$ = เวกเตอร์แรงยึดแน่นปลายชิ้นส่วนในระบบพิกัดเฉพาะที่
 G = โมดูลัสเฉือน
 = $\frac{E}{2(1+\nu)}$
 I = โมเมนต์อินเนอร์เซีย
 $[k_e]$ = สติฟเนสเมตริกซ์ของชิ้นส่วนย่อยในระบบพิกัดเฉพาะที่
 $[\bar{k}_e]$ = สติฟเนสเมตริกซ์ของชิ้นส่วนย่อยในระบบพิกัดในวงกว้าง
 $[K]$ = สติฟเนสเมตริกซ์ของโครงข้อแข็งที่ประกอบด้วยชิ้นส่วน m ชิ้นส่วน
 L = ความยาวของชิ้นส่วน
 M = โมเมนต์ของชิ้นส่วน
 M_{cik}^j = แรงดัดสะสมที่ปลาย i ของชิ้นส่วน k ในวงรอบการทำงานที่ j
 M_{max} = โมเมนต์สูงสุดภายในชิ้นส่วนเนื่องจากผลของความยาวชิ้นส่วน (P- δ Effect)
 M_p = พลาستيكโมเมนต์ของชิ้นส่วน
 = $F_y \cdot Z$
 P = แรงแนวแกนของชิ้นส่วน
 P_{cr} = แรงแนวแกนวิกฤตของชิ้นส่วน
 P_{ck}^j = แรงแนวแกนสะสมของชิ้นส่วน k ในวงรอบการทำงานที่ j
 P_y = แรงแนวแกนที่ทำให้ชิ้นส่วนคลาก
 = $F_y \cdot A$
 $[R]$ = เวกเตอร์แรงกระทำในระบบพิกัดวงกว้างซึ่งประกอบด้วยแรงกระทำที่ข้อต่อและแรงยึดแน่นปลายของชิ้นส่วน
 $[R']$ = แรงเฉือนเทียบเท่าส่วนที่เพิ่มเนื่องจากผลของการเสียรูปที่ปลายชิ้นส่วน(P- Δ Effect)
 S = หน้าตัดโมดูลัส
 $\{S\}$ = เวกเตอร์แรงภายในที่จุดข้อต่อของชิ้นส่วนในระบบพิกัดเฉพาะที่
 $\{\bar{S}\}$ = เวกเตอร์แรงภายในที่จุดข้อต่อของชิ้นส่วนในระบบพิกัดในวงกว้าง

- $\{v\}$ = เวกเตอร์การเปลี่ยนตำแหน่งที่จุดข้อต่อของชิ้นส่วนในระบบพิกัดเฉพาะที่
 $\{\bar{v}\}$ = เวกเตอร์การเปลี่ยนตำแหน่งที่จุดข้อต่อของชิ้นส่วนในระบบพิกัดในวงกว้าง
 V = แรงเฉือนของชิ้นส่วน
 Z = พลาستيกโมเมนต์ของหน้าตัด



ศูนย์วิทยพัรพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย