

การวิเคราะห์อีลาสติก-พลาสติก อันดับที่สองของโครงเหล็กข้อแฉ่ง

นาย วินัย แก้วกุลทล



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2538

ISBN 974 - 632 - 527 - 2

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

SECOND-ORDER ELASTIC-PLASTIC ANALYSIS OF RIGID STEEL FRAMES

Mr. Winai Gaewgoontol



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Civil Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1995

ISBN 974 - 632 - 527 - 2

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การวิเคราะห์หี้อีลาสติก-พลาสติก อันดับที่สองของโครงเหล็กข้อแฉ่ง
โดย นาย วินัย แก้วกุลทล
ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา ศาสตราจารย์ ดร. ทักษิณ เทพชาตรี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

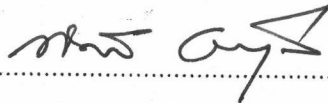


.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. สันติ อังสุวรรณ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



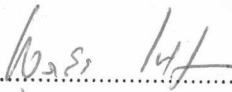
.....ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ)



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



.....กรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. วินิต ช่อวิเชียร)



.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร. พงศ์ศักดิ์ เพ็ชรสุสม)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

วินัย แก้วกุลทล : การวิเคราะห์อีลาสติก-พลาสติกอันดับที่สองของโครงเหล็กข้อแฉ่ง
(SECOND-ORDER ELASTIC-PLASTIC ANALYSIS OF RIGID STEEL FRAMES)

อาจารย์ที่ปรึกษา : ศ. ดร. ทักษิณ เทพชาติ, 120 หน้า. ISBN 974-632-527-2

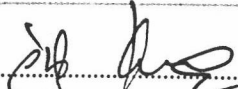
งานวิจัยนี้ เสนอหลักการวิเคราะห์อีลาสติก-พลาสติกอันดับที่สองของโครงเหล็กข้อแฉ่ง
เมตริกซ์สติฟเนสสร้างจากองค์อาคารคาน-เสาโดยใช้ทฤษฎีการเปลี่ยนตำแหน่งมีค่าน้อย โดยคำนึงถึงผล
ของแรงในแนวแกนในรูปของฟังก์ชันเสถียรภาพ การแก้สมการไม่เชิงเส้นหลายตัวแปรใช้วิธีนิวตัน-แรฟสัน
และเมตริกซ์สติฟเนสสัมผัส การตรวจสอบการลู่เข้าสู่คำตอบกระทำโดยการตรวจสอบค่ายูคลิดเทียบนอร์ม
ให้ได้ค่าต่ำกว่าค่าที่กำหนด และได้คำนึงถึงความสามารถในการรับโมเมนต์พลาสติกที่ลดลง เนื่องจากผลของ
แรงในแนวแกนตามความสัมพันธ์ที่เสนอโดย AISC

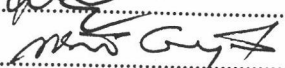
ผลการวิจัยพบว่าการวิเคราะห์ตามวิธีการที่เสนอ ให้ค่าการวิเคราะห์ที่ใกล้เคียงกับงานวิจัย
ที่ผ่านมา ค่าตัวประกอบนำนักบรรทุกประลัยที่วิเคราะห์ได้มีค่าเบี่ยงเบนจากอดีตในระดับประมาณร้อยละ 5
นอกจากนี้วิธีการที่เสนอยังสามารถใช้วิเคราะห์โครงเหล็กข้อแฉ่งได้ 4 วิธีได้แก่ การวิเคราะห์อีลาสติก
อันดับที่หนึ่ง การวิเคราะห์อีลาสติกอันดับที่สอง การวิเคราะห์อีลาสติก-พลาสติกอันดับที่หนึ่งและการ
วิเคราะห์อีลาสติก-พลาสติกอันดับที่สอง

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

ปีการศึกษา 2538

ลายมือชื่อนิติ 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

##C415349 : MAJOR CIVIL ENGINEERING
KEY WORD: SECOND-ORDER/ELASTIC-PLASTIC/STEEL FRAMES

WINAI GAEWGOONTOL : SECOND - ORDER ELASTIC - PLASTIC ANALYSIS OF
RIGID STEEL FRAMES THESIS ADVISOR : PROF. THAKSIN THEPCHATRI, Ph.D.
120 pp. ISBN 974-632-527-2

This research presents a principle of second-order elastic-plastic analysis of rigid steel frames. Beam-column member stiffness using small displacement theory include axial force is formulated in the form of stability functions. Newton-Raphson method using tangent stiffness approach, then is used for solving simultaneous nonlinear equations. Convergence is accomplished by specifying Euclidian norms to be smaller than convergence criteria required. Direct increment method is used for elastic-plastic analysis. Plastic moment capacity reduced due to the presence of axial force is considered by using AISC proposed expressions.

Results obtained from the presented analysis have shown to be in close agreement with the existing results. Proposed predicted ultimate load factor are about 5 percent deviated from the others. The proposed method, however, is very handy for analysis of rigid steel frames in 4 alternatives approaches, i.e., first-order elastic, second-order elastic, first-order elastic-plastic and second-order elastic-plastic analysis.

ภาควิชา.....วิศวกรรมโยธา.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมโยธา.....

ปีการศึกษา.....2538.....

ลายมือชื่อนิติ..... .....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... .....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์นี้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. ทักษิณ เทพชาติ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้ให้คำแนะนำ และความรู้ที่เป็นประโยชน์ตลอดระยะเวลาการทำวิทยานิพนธ์ รวมถึงการตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปอย่างสมบูรณ์ขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์อันประกอบด้วยศาสตราจารย์ ดร.เอกสิทธิ์ ลีมสุวรรณ ศาสตราจารย์ ดร. วินิต ช่อวิเชียร และอาจารย์ ดร. พูลศักดิ์ เพียรสุขุม ซึ่งได้ให้คำแนะนำและตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ซึ่งได้ให้โอกาสในการศึกษาเล่าเรียนและเป็นกำลังใจตลอดการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

วินัย แก้วกุลทล

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฌ
สารบัญรูป	ญ
สัญลักษณ์.....	ฒ
บทที่ 1 บทนำ	1
ความนำ	1
ความเป็นมา	2
งานที่ทำในงานวิจัยนี้	4
วัตถุประสงค์	4
ขั้นตอน และวิธีการดำเนินการวิจัย	5
บทที่ 2 ทฤษฎี และแนวคิด	6
ความนำ	6
สมมุติฐาน	8
สตีเฟนสขององค์อาคาร	8
การรวมสตีเฟนส	10
การวิเคราะห์อันดับที่สอง โดยวิธีของนิวตัน - แรพสัน	12
การแก้สมการโดยวิธีการกำจัดแบบเกาซีวิธี Active Column และวิธีการเก็บข้อมูล แบบ Skyline	14
การเกิดจุดหมุนพลาสติก	16
ผลของแรงในแนวแกนต่อค่าโมเมนต์พลาสติก (Mp) และการ ย้อนกลับของโมเมนต์	18

	หน้า
การเปลี่ยนแปลงเมตริกซ์สติเฟเนสของชั้นสวนเมื่อเกิดจุดหมุนพลาสติก.....	19
การวิเคราะห์อีลาสติก - พลาสติกอันดับที่สอง	23
บทที่ 3 ขั้นตอน และวิธีการวิจัย	26
ความนำ	26
องค์ประกอบของโปรแกรมคอมพิวเตอร์	26
ขั้นตอนการก่อนการประมวลผล	28
ขั้นตอนการประมวลผล	28
ขั้นตอนหลังการประมวลผล	29
บทที่ 4 รายงานการวิเคราะห์ และเปรียบเทียบผล	30
ความนำ.....	30
รายงานการวิเคราะห์ และเปรียบเทียบผลตัวอย่างที่1	31
รายงานการวิเคราะห์ และเปรียบเทียบผลตัวอย่างที่2	40
รายงานการวิเคราะห์ และเปรียบเทียบผลตัวอย่างที่3	44
บทที่ 5 สรุปผล และข้อเสนอแนะ.....	52
สรุปผล.....	52
ข้อเสนอแนะ.....	53
รายการอ้างอิง.....	54
ภาคผนวก	56
ภาคผนวก ก การหาฟังก์ชันเสถียรภาพ	57
ภาคผนวก ข Listing ของโปรแกรมคอมพิวเตอร์	68
ภาคผนวก ค ตัวอย่าง Input และ Output.....	113
ประวัติผู้เขียน	120

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.1 ขนาดขององค์อาคารในโครงสร้าง ตัวอย่างที่ 1.....	33
ตารางที่ 4.2(ก) คุณสมบัติขององค์อาคาร(เสาค) ตัวอย่างที่ 1.....	34
ตารางที่ 4.2(ข) คุณสมบัติขององค์อาคาร(คาน) ตัวอย่างที่ 1.....	35
ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมา ตัวอย่างที่ 1.....	36
ตารางที่ 4.4 คุณสมบัติขององค์อาคาร ตัวอย่างที่ 2.....	41
ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมา ตัวอย่างที่ 2.....	41
ตารางที่ 4.6 คุณสมบัติขององค์อาคาร ตัวอย่างที่ 3.....	45
ตารางที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมา ตัวอย่างที่ 3.....	45
ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างการวิเคราะห์อันดับที่หนึ่ง และอันดับที่สองตัวอย่างที่ 3.....	48
ตารางที่ 4.9 เปรียบเทียบตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกประลัยที่ได้จากการวิเคราะห์ อีลาสติก-พลาสติกอันดับที่สอง,อีลาสติก-พลาสติกอันดับที่หนึ่ง, อีลาสติกอันดับที่สองและอีลาสติกอันดับที่หนึ่ง ตัวอย่างที่ 3	48

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 พฤติกรรมของโครงระนาบในรูปของความสัมพันธ์ ของน้ำหนักบรรทุก และการเปลี่ยนตำแหน่ง	7
รูปที่ 2.2 องค์อาคารภายใต้แรงกระทำและการเปลี่ยนตำแหน่ง	8
รูปที่ 2.3 องค์อาคารวางในระบบโคออดิเนตโกลบอล	10
รูปที่ 2.4 การวิเคราะห์อันดับที่สองใช้นิวตัน - แรพสัน	14
รูปที่ 2.5 การกระจายของหน่วยแรง และการเกิดจุดหมุนพลาสติก	16
รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ของโมเมนต์กับการโก่งของหน้าตัดใด ๆ	17
รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ของความสามารถในการรับพลาสติกโมเมนต์ กับแรงในแนวแกนสำหรับหน้าตัดรูปตัว I รอบแกนเอก.....	18
รูปที่ 2.8 องค์อาคารเมื่อเกิดจุดหมุนพลาสติกที่ปลาย	20
รูปที่ 2.9 การวิเคราะห์อีลาสติก - พลาสติกอันดับที่สอง	23
รูปที่ 3.1 แผนภูมิขั้นตอนการทำการวิเคราะห์	27
รูปที่ 4.1 ลักษณะโครงสร้างและแรงกระทำตัวอย่างที่ 1.....	32
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกกับอัตราส่วนการเปลี่ยนตำแหน่ง ในแนวราบเทียบกับความสูงเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมาตัวอย่างที่ 1.....	37
รูปที่ 4.3 ลำดับการเกิดจุดหมุนพลาสติกเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมา ตัวอย่างที่ 1.....	38
รูปที่ 4.4 ลักษณะโครงสร้างและแรงกระทำตัวอย่างที่ 2.....	40
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกกับอัตราส่วนการเปลี่ยนตำแหน่ง ในแนวราบเทียบกับความสูงเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมาตัวอย่างที่ 2.....	42
รูปที่ 4.6 ลำดับการเกิดจุดหมุนพลาสติกเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมา ตัวอย่างที่ 2.....	43
รูปที่ 4.7 ลักษณะโครงสร้างและแรงกระทำตัวอย่างที่ 3.....	44
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกกับอัตราส่วนการเปลี่ยนตำแหน่ง ในแนวราบเทียบกับความสูงเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมาตัวอย่างที่ 3.....	46
รูปที่ 4.9 ลำดับการเกิดจุดหมุนพลาสติกเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมา ตัวอย่างที่ 3.....	47



หน้า

รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกกับอัตราส่วนการเปลี่ยนตำแหน่ง
 ในแนวราบเทียบกับความสูงเปรียบเทียบระหว่างการวิเคราะห์อีลาสติกอันดับที่หนึ่ง
 , อีลาสติกอันดับที่สอง, อีลาสติก-พลาสติกอันดับที่หนึ่ง และอีลาสติก-พลาสติก
 อันดับที่สองตัวอย่างที่ 3..... 49

รูปที่ 4.11 ลำดับการเกิดจุดหมุนพลาสติกเปรียบเทียบระหว่างการวิเคราะห์อันดับที่หนึ่งกับ
 การวิเคราะห์อันดับที่สอง ตัวอย่าง 3..... 50

สัญลักษณ์

A	พื้นที่หน้าตัด
[a]	เมตริกซ์แปลง (Transformation Matrix)
[D]	เมตริกซ์ทะแยง
f	หน่วยแรง
f_y	หน่วยแรงคลาก
I	โมเมนต์ของความเฉื่อย
[K]	เมตริกซ์สติฟเนสของโครงสร้าง
$[K_e]^i$	เมตริกซ์สติฟเนสขององค์อาคาร i ใน โคออดิเนตโกลบอล
$[K(r)]$	เมตริกซ์สติฟเนสขององค์อาคารที่คำนึงถึง ผลของแรงในแนวแกนต่อค่าสติฟเนสของ โมเมนต์และแรงเฉือนในโคออดิเนต โกลบอล
$[K(v)]$	เมตริกซ์สติฟเนสขององค์อาคารที่คำนึงถึง ผลของแรงในแนวแกนต่อค่าสติฟเนสของ โมเมนต์และแรงเฉือนในโคออดิเนต ประจำตัว
L	- ความยาว - เมตริกซ์สามเหลี่ยมล่าง
M	โมเมนต์
M_a	โมเมนต์ที่ปลาย a ขององค์อาคาร
M_p	โมเมนต์พลาสติก
M_y	โมเมนต์คลาก
P	แรงในแนวแกน
P_y	แรงคลาก
{Q}	เวกเตอร์ของแรงคงค้าง (Unbalanced Force Vector)

$\{R\}$	เวกเตอร์ของแรงกระทำ ในโคออดิเนตโกลบอล
$\{r\}$	เวกเตอร์ของการเปลี่ยนตำแหน่งในโคออดิเนตโกลบอล
r_i	การเปลี่ยนตำแหน่งที่ d.o.f. i
S	- แรงเฉือน - เมตริกซ์สามเหลี่ยมบน
$\{s\}$	เวกเตอร์ของแรงกระทำในโคออดิเนต ประจำตัว
s_i	แรงที่ปลายที่ dof i ขององค์อาคาร
e	การเปลี่ยนตำแหน่งในแนวแกน
v	การเปลี่ยนตำแหน่งในแนวเฉือน
$\{v\}$	เวกเตอร์ของการเปลี่ยนตำแหน่ง ในโคออดิเนตประจำตัว
Z_p	โมดูลัสพลาสติก
Φ_i	ฟังก์ชันเสถียรภาพ(Stability Functions)
θ	มุมหมุน
λ	ตัวประกอบน้ำหนักบรรทุก