

การวิเคราะห์อินทิลาสติกอันดับที่สองของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก
โดยคำนึงถึงผลของการไอบรัด

นาย เกรียงศักดิ์ กอจันทร์



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2542

ISBN 974-334-637-6

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A SECOND-ORDER INELASTIC ANALYSIS OF REINFORCED CONCRETE FRAMES
CONSIDERING CONFINEMENT EFFECTS

Mr. Kriangsak Kochan

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

Department of Civil Engineering

Faculty of Engineering

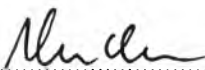
Chulalongkorn University

Academic Year 1999


ISBN 974-334-637-6

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การวิเคราะห์อินทิลาสติกอันดับที่สองของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก
โดยค้ำนึ่งถึงผลของการโอบรัด
โดย นายเกรียงศักดิ์ กอจันทร์
ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา ศาสตราจารย์ ดร.ทักษิณ เทพชาตรี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต


..... คณะบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.ปนิธาน ลักคณะประสิทธิ์)


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


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เจงเดชา รัชตโพธิ์)

เกรียงศักดิ์ กอจันทร์ : การวิเคราะห์หอนอนิลาสติกอันดับที่สองของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กโดยคำนึงถึงผลของการโอบรัด(A SECOND-ORDER INELASTIC ANALYSIS OF REINFORCED CONCRETE FRAMES CONSIDERING CONFINEMENT EFFECTS)
อ.ที่ปรึกษา : ศ.ดร.ทักษิณ เทพชาตรี, 66 หน้า. ISBN 974-334-637-6

งานวิจัยนี้เสนอหลักการวิเคราะห์หอนอนิลาสติกอันดับที่สองของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กโดยคำนึงถึงผลของการโอบรัดคอนกรีตของเหล็กปลอก ความไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิตขององค์อาคารถูกพิจารณาโดยใช้สติฟเนสเมตริกซ์ที่มีลักษณะแปรเปลี่ยนแบบพาราโบล่าตลอดความยาวขององค์อาคารและคำนึงถึงผลของแรงในแนวแกน ส่วนความไม่เชิงเส้นทางวัสดุจะพิจารณาจากวิธีวิเคราะห์หน้าตัด การแก้สมการเชิงเส้นหลายตัวแปรใช้วิธีนิวตัน-ราฟสันและเมตริกซ์สติฟเนสสัมพัทธ์ การตรวจสอบการลู่เข้าหาคำตอบกระทำโดยการตรวจสอบค่ายูคลิเดียนนอร์มให้ได้ต่ำกว่าค่าที่กำหนด และใช้วิธีเพิ่มน้ำหนักขึ้นเรื่อยๆจนเสถียรภาพของโครงสร้างหมดไป

จากตัวอย่างที่ทำการศึกษา พบว่าโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้นตามวิธีการที่เสนอสามารถวิเคราะห์หาค่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุดได้ในระดับประมาณร้อยละ 80 เมื่อเทียบกับผลการทดสอบที่ผ่านมา นอกจากนี้โปรแกรมยังสามารถแสดงผลค่าการกระจัดและค่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุดได้สูงขึ้นเมื่อพิจารณาผลของการโอบรัดของเหล็กปลอกหรือเมื่อลดระยะห่างของเหล็กปลอกลง ดังนั้นจึงสามารถนำโปรแกรมนี้ไปใช้ในการคาดคะเนพฤติกรรมเบื้องต้นของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กได้ ซึ่งจะช่วยให้ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายแทนการทดสอบจริง

ภาควิชา.....วิศวกรรมโยธา.....
สาขาวิชา.....วิศวกรรมโยธา.....
ปีการศึกษา.....2542.....

ลายมือชื่อนิสิต.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

3970138121 : MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEY WORD :

SECOND-ORDER / INELASTIC ANALYSIS / CONFINEMENT / CONCRETE FRAME

KRIANGSAK KOCHAN : A SECOND-ORDER INELASTIC ANALYSIS OF REINFORCED
CONCRETE FRAMES CONSIDERING CONFINEMENT EFFECTS.

THESIS ADVISOR : PROF. THAKSIN THEPCHATRI, Ph.D. 66 pp.

ISBN 974-334-637-6

This research presents a principle of second-order inelastic analysis of reinforced concrete frames considering confinement effects. Geometrical nonlinearity of the member is considered by including axial force effects in formulating the member stiffness matrix. This stiffness matrix has a parabolic variation over the length of the member. Material nonlinearity, due to cracking effects, is solved by the method of section analysis. Newton-Raphson method using tangent stiffness approach then is used to solve simultaneous nonlinear equations. Convergence is accomplished by specifying Euclidian norms to be smaller than the convergence criteria required. The direct increment method is used in each analysis until the structure is unstable.

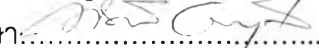
From selected examples, results obtained from the present analysis yielded maximum loads at about 80 percent of those obtained from tests. In addition, the adopted computer program shows higher values of structural displacement and maximum load when confinement effects or reduction of tie spacings are considered in the analysis. Therefore, the program can be used to predict preliminary behaviors of reinforced concrete frames, which will help in reducing the time and the cost when compare with the testing method.

ภาควิชา.....วิศวกรรมโยธา.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมโยธา.....

ปีการศึกษา.....2542.....

ลายมือชื่อนิสิต..........

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..........

กิตติกรรมประกาศ



ในการทำวิจัยนี้ ผู้เขียนขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.ทักษิณ เทพชาตรี ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้ให้คำแนะนำ และให้ความรู้ที่เป็นประโยชน์ ตลอดระยะเวลาการทำวิทยานิพนธ์ รวมถึงการตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์ จนสำเร็จลุล่วงไปอย่างสมบูรณ์ ขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบไปด้วย ศาสตราจารย์ ดร.ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เริงเดชา รัชตโพธิ์ ซึ่งให้คำแนะนำ ตรวจสอบ แก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ได้ให้โอกาสในการศึกษา ม.ร.ว.สุขุมพันธ์ บริพัตร และมูลนิธิจุฬามณี-พันธุ์ทิพย์ ที่ได้ให้การสนับสนุนในการศึกษาเล่าเรียน ตลอดจนเพื่อนๆที่ได้ให้กำลังใจตลอดการทำวิทยานิพนธ์

เกรียงศักดิ์ กอจันทร์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ญ
สัญลักษณ์.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ความนำ.....	1
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	2
งานที่ทำในงานวิจัยนี้.....	4
วัตถุประสงค์.....	5
ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย.....	5
ขอบข่ายการวิจัย.....	6
บทที่ 2 ทฤษฎี และแนวคิด.....	7
ความนำ.....	7
สมมุติฐานที่ใช้.....	7
สถิติฟเนสขององค์อาคารในกรณีที่องค์อาคารมีพฤติกรรมแบบอิลาสติก.....	9
การรวมสถิติฟเนส.....	16
การวิเคราะห์แบบไม่เชิงเส้น.....	18
การโอบรัดคอนกรีตของเหล็กปลอก.....	22
การวิเคราะห์ความไม่เชิงเส้นทางวัสดุโดยวิธีวิเคราะห์หน้าตัด.....	26
สรุปขั้นตอนการวิเคราะห์อินอิลาสติกอันดับที่สองของโครงข้อแข็งคอนกรีต-เสริมเหล็กโดยคำนึงถึงผลของการโอบรัด.....	32

	หน้า
บทที่ 3 ขั้นตอน และวิธีการวิจัย	37
ความนำ	37
องค์ประกอบของโปรแกรมคอมพิวเตอร์	37
ขั้นตอนการก่อนการประมวลผล	38
ขั้นตอนการประมวลผล	40
ขั้นตอนหลังการประมวลผล	40
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผล	41
ความนำ	41
รายงานการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลตัวอย่างที่ 1	42
รายงานการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลตัวอย่างที่ 2	47
บทที่ 5 สรุปผล และข้อเสนอแนะ	53
สรุปผล	53
ข้อเสนอแนะ	54
รายการอ้างอิง	55
ภาคผนวก	57
ภาคผนวก ก. การหาสถิติฟิเนสเชิงเส้นตัดแปลงและไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิต	58
ภาคผนวก ข. ตัวอย่าง Input และ Output	63
ประวัติผู้เขียน	66

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติขององค์อาคาร ตัวอย่างที่ 1.....	43
ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์เมื่อแบ่งย่อยขึ้นส่วน ตัวอย่างที่1.....	43
ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมา ตัวอย่างที่ 1.....	44
ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์เมื่อระยะห่างของเหล็กค้ำรอบเปลี่ยนแปลง ตัวอย่างที่1.....	45
ตารางที่ 4.5 คุณสมบัติขององค์อาคารตัวอย่างที่ 2.....	49
ตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์เมื่อแบ่งย่อยขึ้นส่วน ตัวอย่างที่ 2.....	49
ตารางที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมา ตัวอย่างที่ 2.....	50
ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์เมื่อระยะห่างของเหล็กค้ำรอบเปลี่ยนแปลง ตัวอย่างที่2.....	51

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดของคอนกรีต.....	8
รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดของเหล็กเสริม.....	8
รูปที่ 2.3 คุณสมบัติขององค์อาคาร.....	9
รูปที่ 2.4 องค์อาคารภายใต้แรงกระทำและการกระจัด.....	9
รูปที่ 2.5 องค์อาคารวางในระบบพิกัดในวงกว้าง.....	16
รูปที่ 2.6 วิธีเพิ่มที่ละชั้นแบบธรรมดา.....	19
รูปที่ 2.7 วิธีนิวตัน-กราฟเส้น.....	19
รูปที่ 2.8 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของคอนกรีตเมื่อรับแรงอัดในแนวแกน.....	22
รูปที่ 2.9 หน่วยแรงที่กระทำแบบสามแกน.....	23
รูปที่ 2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ k_1 กับแรงดันด้านข้าง f_1	24
รูปที่ 2.11 การกระจายแรงดันด้านข้างของเสาสี่เหลี่ยมจัตุรัสเนื่องจากการไอบรัด.....	25
รูปที่ 2.12 การกระจายความเครียด-การกระจายหน่วยแรงของหน้าตัดคอนกรีต เสริมเหล็ก.....	29
รูปที่ 2.13 แผนภูมิสายงานของขั้นตอนการวิเคราะห์ความไม่เชิงเส้นทางวัสดุโดยวิธี วิเคราะห์หน้าตัด.....	31
รูปที่ 2.14 การวิเคราะห์อันดับที่สอง.....	32
รูปที่ 2.15 แผนภูมิขั้นตอนการวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้.....	35
รูปที่ 2.15 (ต่อ)แสดงแผนภูมิขั้นตอนการวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้.....	36
รูปที่ 3.1 แผนภูมิขั้นตอนการทำการวิเคราะห์.....	39
รูปที่ 4.1 ลักษณะโครงสร้างและแรงกระทำตัวอย่างที่ 1.....	42
รูปที่ 4.2 ลักษณะโครงสร้างจำลองตัวอย่างที่ 1.....	42
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับการกระจัดทางด้านข้างที่จุดสูงสุด เปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมา ตัวอย่างที่ 1.....	44
รูปที่ 4.4 ลักษณะโครงสร้างและแรงกระทำตัวอย่างที่ 2.....	47
รูปที่ 4.5 ลักษณะโครงสร้างจำลองตัวอย่างที่ 2.....	47
รูปที่ 4.5 (ต่อ)ลักษณะโครงสร้างจำลองตัวอย่างที่ 2.....	48

	หน้า
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับการกระจัดทางด้านข้าง เปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมา ตัวอย่างที่ 2.....	50
รูปที่ ก.1 ค่าสถิติเฟนสขององค์อาคาร	59

สัญลักษณ์

A_c	พื้นที่หน้าตัดประสิทธิภาพ
$[a]$	เมตริกซ์แปลง(Transform matrix)
A_s	พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริม
A_{st}	พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมตามขวาง 1 ขา
b	ความกว้างของหน้าตัด
C_c	แรงอัดในแนวแกนของคอนกรีต
C_t	แรงดึงในแนวแกนของคอนกรีต
d	ตำแหน่งของเหล็กเสริม
$\{d\}$	เวกเตอร์ของการกระจัดในระบบพิกัดเฉพาะที่
E	ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น
E_c	ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต
E_s	ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็ก
f'_c	กำลังอัดประลัยของคอนกรีต
f'_{cc}	กำลังอัดประลัยของคอนกรีตเมื่อพิจารณาผลของการโอบรัด
f_r	หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ของคอนกรีต
f_s	หน่วยแรงของเหล็ก
f_y	หน่วยแรงคลากของเหล็ก
f_{yt}	หน่วยแรงคลากของเหล็กเสริมตามขวาง
f_l	แรงดันด้านข้างเฉลี่ยเนื่องจากการโอบรัด
f_{le}	แรงดันด้านข้างเฉลี่ยเทียบเท่าเนื่องจากการโอบรัด
f_{lex}	แรงดันด้านข้างเฉลี่ยเทียบเท่าเนื่องจากการโอบรัดในทิศทาง x
f_{ley}	แรงดันด้านข้างเฉลี่ยเทียบเท่าเนื่องจากการโอบรัดในทิศทาง y
I	โมเมนต์ความเฉื่อย

kd	ความถี่ของแกนสะเทินจากผิวรับแรงอัดของคอนกรีต
$[K]$	เมตริกซ์สติฟเนสของโครงสร้าง
$[k_m]$	เมตริกซ์สติฟเนสเชิงเส้นดัดแปลง
$[k_G]$	เมตริกซ์สติฟเนสไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิต
$[K_{global}]_i$	เมตริกซ์สติฟเนสขององค์อาคาร i ในระบบพิกัดวงกว้าง
$[K(r)]$	เมตริกซ์สติฟเนสขององค์อาคารที่คำนึงถึงผลของแรงในแนวแกนต่อค่าสติฟเนสของโมเมนต์และแรงเฉือนในระบบพิกัดวงกว้าง
$[k(d)]$	เมตริกซ์สติฟเนสขององค์อาคารที่คำนึงถึงผลของแรงในแนวแกนต่อค่าสติฟเนสของโมเมนต์และแรงเฉือนในระบบพิกัดเฉพาะที่
L	ความยาว
M	โมเมนต์
P	แรงในแนวแกน
$\{Q\}$	เวกเตอร์ของแรงคงค้าง (Unbalanced force vector)
$\{R\}$	เวกเตอร์ของแรงกระทำในระบบพิกัดในวงกว้าง
$\{r\}$	เวกเตอร์ของการกระจัดในระบบพิกัดในวงกว้าง
r_i	การกระจัดที่ degree of freedom i
$\{S\}$	เวกเตอร์ของแรงกระทำในระบบพิกัดเฉพาะที่
S_i	ผลรวมของแรงอัดและแรงดึงในแนวแกนของเหล็ก
S_i	แรงที่ปลาย degree of freedom i ขององค์อาคาร
t	ความถี่ของหน้าตัด

u	การกระจัดในแนวแกน
U	พลังงานความเครียด
v	การกระจัดในแนวเฉือน
V	พลังงานศักย์
ϕ	ความโค้ง
ϵ	ความเครียด
ϵ_0	ความเครียดของคอนกรีตเมื่อหน่วยแรงอัดของคอนกรีตมีค่าสูงสุด
$\epsilon_{0.85}$	ความเครียดของคอนกรีตเมื่อหน่วยแรงอัดของคอนกรีตมีค่าร้อยละ 85 ของหน่วยแรงอัดคอนกรีตสูงสุด
ϵ_1	ความเครียดของคอนกรีตที่พิจารณาผลของการโอบรัดเมื่อหน่วยแรงอัดของคอนกรีตที่มีค่าสูงสุด
ϵ_{20}	ความเครียดของคอนกรีตที่พิจารณาผลของการโอบรัดเมื่อหน่วยแรงอัดของคอนกรีตมีค่าร้อยละ 20 ของหน่วยแรงอัดคอนกรีตสูงสุด
ϵ_{85}	ความเครียดของคอนกรีตที่พิจารณาผลของการโอบรัดเมื่อหน่วยแรงอัดของคอนกรีตมีค่าร้อยละ 85 ของหน่วยแรงอัดคอนกรีตสูงสุด
ϵ_{tr}	ความเครียดสูงสุดที่ยอมให้ของคอนกรีตเนื่องจากแรงดึง
ϵ_y	ความเครียดของเหล็กเสริมที่หน่วยแรงคลาก
π	พลังงานศักย์รวม
σ	หน่วยแรง