

การวิเคราะห์ไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิต ของโครงข้อแข็งระนาบ
ด้วยไมโครคอมพิวเตอร์

นาย สมชาย ตั้งจิตเพิ่มพูน



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2531

ISBN 974-569-153-4

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

014371

๑๙๗๕

GEOMETRICALLY NONLINEAR ANALYSIS OF PLANE FRAMES

BY MICROCOMPUTER

Mr. Somchai Tungchitpermkwamdee

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Civil Engineering

Graduate School

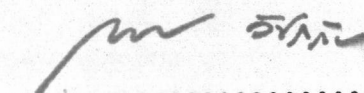
Chulalongkorn University

1988

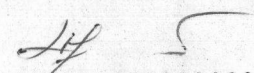
ISBN 974-569-153-4

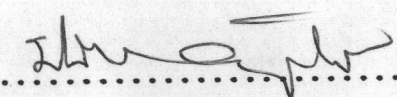
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การวิเคราะห์ไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิต ของโครงสร้างแข็งระนาบ
ด้วยไมโครคอมพิวเตอร์
โดย นาย สมชาย ตั้งจิตเพิ่มพูน
ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา ศาสตราจารย์ ดร.ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

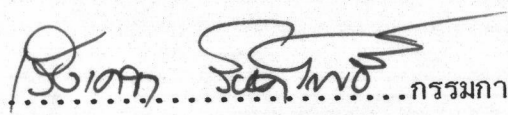

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วิชัยภักย์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


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


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ศาสตราจารย์ ดร.ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์)


..... กรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.ทักษิณ เทนชาตรี)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เริ่งเดชา รัชตโพธิ์)



สมชาย ตั้งจิตเพิ่มความดี : การวิเคราะห์ไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิต ของโครงข้อแข็งระนาบ
ด้วยไมโครคอมพิวเตอร์ (GEOMETRICALLY NONLINEAR ANALYSIS OF PLANE FRAMES
BY MICROCOMPUTER) อ.ที่ปรึกษา : ศ. ดร. บดินทร ลักคณประสิทธิ์, 69 หน้า

โครงสร้างบางชนิดที่มีความชลูด (slender) หรือมีความอ่อน (flexibility) มากเช่น สะพานช่วงยาว หอสูงโทรคมนาคม (telecommunication tower) จะเกิดการเคลื่อนที่มากภายใต้ น้ำหนักบรรทุกทุกกระทำ โดยที่โครงสร้างอาจจะยังอยู่ในช่วงอีลาสติก การวิเคราะห์โครงสร้างดังกล่าว โดยใช้วิธีวิเคราะห์เชิงเส้น จะให้ผลลัพธ์ที่คลาดเคลื่อนไปพอสมควร การวิจัยนี้จึงได้ศึกษาการวิเคราะห์ ไม่เชิงเส้นโดยพิจารณาเฉพาะพฤติกรรมไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิต (geometric nonlinearity) ในการคำนวณหาสตีฟเนสของแต่ละชิ้นส่วน ใช้วิธีการของ Jennings ซึ่งสร้างสมการในพิกัดของออยเลอร์ (Euler coordinates) โดยการสมมุติการโก่งตัวของชิ้นส่วนคานอยู่ในรูปพหุนามกำลังสาม เนื่องจากโปรแกรมการวิเคราะห์โครงสร้างประเภทนี้ในต่างประเทศมีราคาแพง และมักเป็นโปรแกรม ทั่วไพบัฒนาใหญ่ใช้กับเครื่องหลัก (mainframe) ซึ่งไม่สะดวกสำหรับการใช้งานในสำนักงานออกแบบ ทั่วไพบัฒนา ในงานวิจัยนี้จึงมุ่งที่จะสร้างโปรแกรมสำหรับการวิเคราะห์ไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิต เพื่อใช้กับ เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะเป็ประโยชน์อย่างยิ่งต่อการวิเคราะห์ออกแบบโครงสร้างที่มีความ สำคัญ

จากตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์ซึ่งมีคานยื่น โครงข้อแข็งพอร์ทอล และคานโค้ง พบว่าได้ผล ลัพท์ที่ใกล้เคียงกับการวิจัยอื่น ๆ ที่ผ่านมามาก โดยที่ค่าการเคลื่อนที่ก่อนเกิดการสูญเสียเสถียรภาพผิด พลาดเพียง 3 % ถึงแม้ว่าในช่วงที่โครงสร้างเกิดการสูญเสียเสถียรภาพ จะไม่สามารถติดตามผลของ การเคลื่อนที่ได้ก็ตาม แต่หลังจากนั้นเมื่อโครงสร้างมีสตีฟเนสคืนกลับมา ก็สามารถให้คำตอบที่ใกล้เคียง เหมือนเดิม ทั้งนี้โครงสร้างจำลองที่ใช้ต้องแบ่งจำนวนเอลเมนต์ (element) ให้ละเอียดพอประมาณ และขึ้นน้ำหนักบรรทุกกระทำก็ต้องมีขนาด ไม่โตเกินไป

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

ปีการศึกษา 2530

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

SOMCHAI TUNGCHITPERMKWAMDEE : GEOMETRICALLY NONLINEAR ANALYSIS OF
PLANE FRAMES BY MICROCOMPUTER. THESIS ADVISOR : PROF. DR.
PANITAN LUKKUNAPRASIT, Ph.D. 69 pp.

Some types of structures which are very slender or flexible such as long span bridges, telecommunication towers, undergo large deflection with the material still stressed in the elastic range. Linear analyses of these structures would not suffice, and sufficiently inaccurate solutions would be obtained. In this research only the geometrically nonlinear behavior is considered. The tangent stiffness of the straight beam element developed by Jennings in Euler coordinates is employed, with the deflection shape assumed to be a third order polynomial. Since existing nonlinear analysis programmes abroad are expensive and are usually large general purpose programmes which are not suitable for use in typical design offices, this research was aimed at developing a geometric nonlinear analysis programme, for use on microcomputers, which would be useful for analyses and designs of important structures.

From the analyses of example problems of a cantilever beam, a portal frame and two arches, it is found that the solutions obtained in this study are in good agreement with those by other researchers. The deflection of structures, prior to the occurrence of instability, differ by about 3 % from the accurate values. Although the post-buckling load-deflection curve cannot be traced, but after the stiffness of structure is regained, quite accurate results are still obtained, provided that the structural model used contains sufficient number of elements and also the size of the load step is small enough.

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา 2530

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของศาสตราจารย์ ดร.ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ของการวิจัยมาด้วยดีตลอด ตลอดจนได้ให้ความกรุณาตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อย และเนื่องจากการวิจัยนี้ได้อาศัยเครื่องมือคอมพิวเตอร์ของการท่าเรือแห่งประเทศไทย จึงขอขอบพระคุณการท่าเรือแห่งประเทศไทยมา ณ ที่นี้ด้วย

ทำยนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อันประกอบด้วย ศาสตราจารย์ ดร.เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ ศาสตราจารย์ ดร.ทักษิณ เทพชาติวี และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เริงเดชา รัชตโพธิ์ ที่ได้กรุณาตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จเรียบร้อย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ญ
คำอธิบายสัญลักษณ์ และคำย่อ.....	ฎ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
ภูมิหลังงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	2
วัตถุประสงค์และขอบเขตการวิจัย.....	4
2. สติเฟเนสของชิ้นส่วน.....	5
พิกัดของออยเลอร์.....	5
พิกัดของลากรานจ์.....	6
สติเฟเนสของชิ้นส่วนคานและการแปลงพิกัด.....	6
3. การวิเคราะห์ไม่เชิงเส้น.....	12
วิธีทำซ้ำโดยตรง.....	13
วิธีนิวตัน ราวสัน.....	14
วิธีเพิ่มทีละขั้น.....	15
ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้.....	17
4. โปรแกรมไมโครคอมพิวเตอร์.....	18
การป้อนข้อมูล.....	18
การประมวลผล.....	19
การแสดงผล.....	22

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5. ตัวอย่างการวิเคราะห์.....	23
คานย่น.....	23
โครงสร้างเชิงฟอร์ทอล.....	26
คานโค้งที่มีน้ำหนักบรรทุกทุกอย่างสมมาตร.....	29
คานโค้งที่มีน้ำหนักบรรทุกทุกอย่างไม่สมมาตร.....	32
6. บทสรุป.....	34
ข้อเสนอแนะ.....	35
เอกสารอ้างอิง.....	36
ภาคผนวก ก.	40
ภาคผนวก ข.	41
ภาคผนวก ค.	56
ประวัติผู้เขียน.....	69

สารบัญตาราง

ตารางที่

หน้า

5.1	แสดงผลการวิเคราะห์สำหรับคานยื่น (ตัวอย่างที่ 1) เปรียบเทียบกับการวิจัยอื่น ๆ.....	24
5.2	แสดงผลการวิเคราะห์สำหรับโครงข้อแข็งพอร์ทอล (ตัวอย่างที่ 2) เมื่อน้ำหนักกระทำ $P = 4522$ หน่วย.....	27
5.3	แสดงผลการวิเคราะห์สำหรับคานโค้งที่มีน้ำหนักบรรทุก อย่างสมมาตร (ตัวอย่างที่ 3) เมื่อน้ำหนักกระทำ $P = 1400$ หน่วย.....	30

สารบัญภาพ

รูปที่

หน้า

1.1	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่กระทำ การเคลื่อนที่.....	2
2.1	รูปทรงของชั้นส่วนคาน AB ในพิกัดของออยเลอร์ (ϕ_1, ϕ_2, δ) พิกัดของลากรางจ์ ($u_1, v_1, \dots, \theta_2$) และพิกัดของโครงสร้าง (q_1, q_2, \dots, q_6).....	5
2.2	ชั้นส่วนคานเมื่อเกิดการโก่งตัวเนื่องจากแรงดัด.....	6
2.3	แสดงระบบของแรงในแกน xy และแกน $x^* y^*$	9
3.1	การวิเคราะห์ไม่เชิงเส้นด้วยวิธีทำซ้ำโดยตรง.....	13
3.2	การวิเคราะห์ไม่เชิงเส้นด้วยวิธี นิวตัน ราวสัน.....	14
3.3	การวิเคราะห์ไม่เชิงเส้นด้วยวิธี นิวตัน ราวสันที่ปรับปรุงใหม่..	15
3.4	การวิเคราะห์ไม่เชิงเส้นด้วยวิธีเพิ่มทีละขั้น.....	16
4.1	แผนภูมิแสดงขั้นตอนการวิเคราะห์โดยสังเขป.....	20
4.1	แผนภูมิแสดงขั้นตอนการวิเคราะห์โดยสังเขป (ต่อ).....	21
5.1	คานยื่น (ตัวอย่างที่ 1).....	25
5.2	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่กระทำกับการเคลื่อนที่สำหรับ คานยื่น (ตัวอย่างที่ 1).....	25
5.3	โครงข้อแข็งพอร์ทอล (ตัวอย่างที่ 2).....	28
5.4	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่กระทำกับการเคลื่อนที่สำหรับ โครงข้อแข็งพอร์ทอล (ตัวอย่างที่ 2).....	28
5.5	คานโค้งที่มีน้ำหนักบรรทุกอย่างสมมาตร (ตัวอย่างที่ 3).....	31
5.6	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่กระทำกับการเคลื่อนที่ สำหรับ คานโค้งที่มีน้ำหนักบรรทุกอย่างสมมาตร (ตัวอย่างที่ 3).....	31
5.7	คานโค้งที่มีน้ำหนักบรรทุกอย่างไม่สมมาตร (ตัวอย่างที่ 4)....	33

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่

หน้า

5.8	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่กระทำกับการเคลื่อนที่ สำหรับ คานโค้งที่มีน้ำหนักบรรทุกอย่างไม่สมมาตร (ตัวอย่างที่ 4).....	33
ก-1	แสดงทิศทางบวกของแรงกระทำและการเคลื่อนที่ของข้อต่อ.....	40
ก-2	แสดงทิศทางบวกของแรงภายในชิ้นส่วน.....	40

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

[A]	=	เมตริกซ์การแปลงระหว่างพิกัดของออยเลอร์ กับพิกัดของชิ้นส่วน
[B]	=	สติเฟเนสเมตริกซ์ที่เพิ่มขึ้นในพิกัดของชิ้นส่วน
{D}	=	เวกเตอร์ของการเคลื่อนที่ของโครงสร้างในพิกัดของโครงสร้าง
{ΔD}	=	เวกเตอร์ของการเคลื่อนที่ของโครงสร้างที่เพิ่มขึ้นในพิกัดของโครงสร้าง
{d}	=	เวกเตอร์ของการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนในพิกัดของโครงสร้าง
{d'}	=	เวกเตอร์ของการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนในพิกัดของชิ้นส่วน
{d*}	=	เวกเตอร์ของการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนในพิกัดของออยเลอร์
[K]	=	สติเฟเนสเมตริกซ์ของโครงสร้าง
[K _u]	=	สติเฟเนสเมตริกซ์จากเส้นคอร์ดของโครงสร้าง
[K _v]	=	สติเฟเนสเมตริกซ์จากเส้นสัมผัสของโครงสร้าง
[k]	=	สติเฟเนสเมตริกซ์ของชิ้นส่วนในพิกัดของออยเลอร์
[k _v]	=	สติเฟเนสเมตริกซ์จากเส้นสัมผัสของชิ้นส่วนในพิกัดของโครงสร้าง
L	=	ความยาวของชิ้นส่วน
ΔL	=	การหดสั้นของชิ้นส่วนในแนวเส้นคอร์ดเนื่องจากการโก่งตัว
M ₁	=	แรงดัดที่ปลายของชิ้นส่วน
P	=	แรงในแนวแกนของชิ้นส่วน ในพิกัดของออยเลอร์
{q ₁ }	=	การเคลื่อนที่ที่ปลายของชิ้นส่วน ในพิกัดของโครงสร้าง
{R}	=	เวกเตอร์ของแรงกระทำภายนอกของโครงสร้าง ในพิกัดโครงสร้าง
{ΔR}	=	เวกเตอร์ของแรงกระทำภายนอกของโครงสร้างที่เพิ่มขึ้น ในพิกัดโครงสร้าง
{ΔR _c }	=	เวกเตอร์ของแรงกระทำที่ขาดสมดุลของโครงสร้าง ในพิกัดโครงสร้าง
{s}	=	เวกเตอร์ของแรงกระทำที่ปลายของชิ้นส่วน ในพิกัดโครงสร้าง
{s'}	=	เวกเตอร์ของแรงกระทำที่ปลายของชิ้นส่วน ในพิกัดของชิ้นส่วน
{s*}	=	เวกเตอร์ของแรงกระทำที่ปลายของชิ้นส่วน ในพิกัดของออยเลอร์

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

[T]	=	เมตริกซ์การแปลงระหว่างพิกัดของชิ้นส่วน กับพิกัดของโครงสร้าง
X, Y	=	ระบบพิกัดของโครงสร้าง
x, y	=	ระบบพิกัดของชิ้นส่วน
x^*, y^*	=	ระบบพิกัดของออยเลอร์
u, v, θ	=	การเคลื่อนที่ที่ปลายของชิ้นส่วน ในพิกัดของชิ้นส่วน
δ, ϕ	=	การเคลื่อนที่ที่ปลายของชิ้นส่วน ในพิกัดของออยเลอร์
$\{\phi_p\}$	=	การหมุนตัวที่ปลายของชิ้นส่วน เนื่องจากแรงโมเมนต์แกน วัดเทียบกับแกน x^*