

การโค้งงอแบบคด-บิดของคานหน้าตัดเปิดแบบหนึ่งบาง

นายสมชาย นิลนากุลภาพ



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2535

ISBN 974-581-572-1

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

018514

117404100

FLEXURAL-TORSIONAL BUCKLING OF BEAMS  
WITH THIN WALLED OPEN SECTIONS

Mr.Somchai Pattananupap

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

Graduate School  
Chulalongkorn University

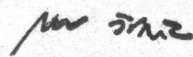
1992

ISBN 974-581-572-1

หัวข้อวิทยานิพนธ์      การโค้งงอแบบตัด-บิดของคานหน้าตัดเปิดแบบผนังบาง  
โดย                              นายสมชาย พัฒนภาพ  
ภาควิชา                              วิศวกรรมโยธา  
อาจารย์ที่ปรึกษา              ศาสตราจารย์ ดร.เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ

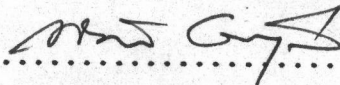
---

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

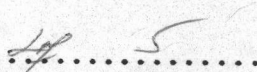


..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
( ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชรากัย )

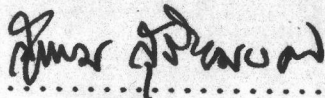
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



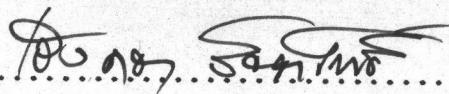
..... ประธานกรรมการ  
( ศาสตราจารย์ ดร.ทักษิณ เทพชาตรี )



..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
( ศาสตราจารย์ ดร.เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ )



..... กรรมการ  
( รองศาสตราจารย์ ดร.สุธรรม สุริยะมงคล )



..... กรรมการ  
( ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เวียงเดชา รัชตไฉนี้ )



พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

สมชาย พัฒนานภาพ : การโก่งงอแบบดัด-บิด ของคานหน้าตัดเปิดแบบผนังบาง (FLEXURAL - TORSIONAL BUCKLING OF BEAMS WITH THIN WALLED OPEN SECTIONS)

อ.ที่ปรึกษา : ศ.ดร.เอกสิทธิ์ ลีมสุวรรณ, 68 หน้า. ISBN 974-581-572-1

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาวิธีวิเคราะห์หาค่าแรงโก่งงอวิกฤติของคานหน้าตัดเปิดแบบผนังบาง โดยการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ซึ่งใช้วิธีการรวมสติฟเนสโดยตรง จากหลักการของงานเสมือนและใช้เทคนิคของไฟไนท์เอลิเมนต์ ที่พัฒนาโดย A.Hasekawa และคณะ เพื่อใช้ในการศึกษาปัญหาเสถียรภาพของคานแบบผนังบางที่มีพฤติกรรมการโก่งงอเป็นแบบเชิงเส้น โดยการสมมติค่าแรงเริ่มต้นให้กระทำกับโครงสร้างแล้วนำไปวิเคราะห์หาค่าแรงภายในที่เกิดขึ้นหลังจากนั้นจะถูกนำไปสร้างเป็นสติฟเนสเรขาคณิต การวิเคราะห์หาค่าเจาะจงโดยวิธีทำซ้ำจะได้ค่าเจาะจงที่น้อยที่สุด ซึ่งจะเป็นค่าตัวคูณประกอบสำหรับหาค่าแรงโก่งงอวิกฤติที่เกิดขึ้น

จากตัวอย่างการวิเคราะห์ พบว่า วิธีวิเคราะห์ที่เสนอสามารถให้ผลลัพธ์ที่รวดเร็วและเชื่อถือได้ เมื่อเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากการแกสมการเชิงอนุพันธ์ โดยมีค่าความแตกต่างประมาณ 1-10 เปอร์เซ็นต์ สำหรับกรณีค่าแรงโก่งงอวิกฤติที่เกิดจากผลของน้ำหนักกระทำในระนาบของคาน และมีค่าความแตกต่างประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ สำหรับกรณีหน้าตัดคานรับน้ำหนักตามแนวแกนเพียงอย่างเดียว

ภาควิชา ..... วิศวกรรมโยธา  
สาขาวิชา ..... วิศวกรรมโยธา  
ปีการศึกษา ..... 2534

ลายมือชื่อนิสิต ..... *Dave*  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ..... *4-5*  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

## C015319 : MAJOR CIVIL ENGINEERING

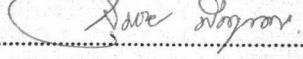
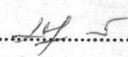
KEY WORD : FLEXURAL-TORSIONAL BUCKLING/THIN WALLED OPEN SECTIONS

SOMCHAI PATTANANUPAP : FLEXURAL-TORSIONAL BUCKLING OF BEAMS WITH THIN WALLED OPEN SECTIONS. THESIS ADVISOR : PROF.EKASIT LIMSUWAN, Ph.D., 68 PP. ISBN 974-581-527-1

This research represents an analysis method for flexural-torsional buckling of beams with thin walled open sections. A linear buckling computer program has been developed to determine the critical buckling load. The formulation of direct stiffness has been carried out by using the virtual work principal and finite element techniques modified from Hasekawa et al. to study the bifurcation buckling problem. The geometric stiffness was established by assuming initial external forces to obtain the internal force. The eigenvalue problem was solved by the method of inverse iteration the lowest eigenvalue thus obtained a multiplier for the critical load.

The results of the analysis are in satisfactory condition and agree well with the closed form solutions of the differential equations. The errors has found to be less than 10 percent for critical loads and less than 1 percents for buckling loads of monosymmetric cross sections due to axial force.

ภาควิชา ..... วิศวกรรมโยธา .....  
สาขาวิชา ..... วิศวกรรมโยธา .....  
ปีการศึกษา ..... 2534 .....

ลายมือชื่อนิสิต .....  .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....  .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาพร้อม .....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ ศาสตราจารย์ ดร. เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ ความรู้ ตลอดจนข้อคิดเห็นต่างๆ อันเป็นประโยชน์อย่างมากในการทำวิทยานิพนธ์ รวมทั้งได้กรุณาตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อย และขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อันประกอบด้วย ศาสตราจารย์ ดร. ทักษิณ เทพชาตรี รองศาสตราจารย์ ดร. สุธรรม สุริยมงคล และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เริงเดชา รัชตโพธิ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ท้ายนี้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ บิดา - มารดา ซึ่งได้ให้โอกาสในการศึกษาเล่าเรียนและกำลังใจแก่ผู้เขียนเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ .....	ฉ
สารบัญ .....	ช
รายการตารางประกอบ .....	ฅ
รายการรูปภาพประกอบ .....	ฉ
สัญลักษณ์ .....	ค
รายการภาคผนวก .....	ฌ
บทที่	
1. บทนำ .....	1
1.1 ความนำ .....	1
1.2 งานวิจัยที่ผ่านมา .....	2
1.3 วัตถุประสงค์ .....	4
1.4 ขอบข่ายงานวิจัย .....	4
1.5 ขั้นตอน และวิธีการดำเนินงานวิจัย .....	4
2. ทฤษฎีที่ใช้ในการวิเคราะห์ .....	6
2.1 ความนำ .....	6
2.2 ข้อสมมติฐาน .....	7
2.3 ลักษณะและพฤติกรรมของคานผนังบาง .....	7
2.4 การสร้างสมการเมตริกซ์ของคานหน้าตัดเปิดแบบผนังบาง .....	10
2.5 การหาค่าแรงโก่งงอวิกฤติ .....	16
3. ตัวอย่าง และผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบ .....	19
3.1 ความนำ .....	19
3.2 ตัวอย่างที่ 1 .....	19
3.3 ตัวอย่างที่ 2 .....	22
3.4 ตัวอย่างที่ 3 .....	24
3.5 ตัวอย่างที่ 4 .....	24

4 สรุปผลการวิจัย และ ข้อเสนอแนะ .....	26
เอกสารอ้างอิง .....	28
ตารางประกอบ .....	30
รูปภาพประกอบ .....	44
ภาคผนวก .....	56
ประวัติผู้เขียน .....	68



รายการตารางประกอบ

	หน้า
ตารางที่ (1.1) แผนภูมิแสดงขั้นตอนการคำนวณ .....	31
ตารางที่ (3.1) ค่าตัวประกอบปรับแก้โมเมนต์วิกฤติโค้งงอสำหรับคานที่มีจุดรองรับ ธรรมดาตามวิธีการของ Trahair .N.S [18].....	33
ตารางที่ (3.2) คุณสมบัติของหน้าตัดตัวอย่างที่ 1 .....	34
ตารางที่ (3.3) เปรียบเทียบค่าแรงวิกฤติโค้งงอในตัวอย่างที่ 1 กับค่าจริง.....	35
ตารางที่ (3.4) คุณสมบัติของหน้าตัดตัวอย่างที่ 2.....	36
ตารางที่ (3.5) ค่าแรงโค้งงอวิกฤติจากแรงตามแนวแกนกระทำผ่านจุดศูนย์กลางมวลของ หน้าตัดชนิดต่างๆตามตัวอย่างที่ 2 เปรียบเทียบกับวิธีการอื่นๆ และลักษณะการโค้งงอ.....	37
ตารางที่ (3.6) คุณสมบัติอื่นๆที่ใช้ในตัวอย่างที่ 1 , 2 ,3 และ 4.....	38
ตารางที่ (3.7) ผลของค่าแรงวิกฤติโค้งงอจากตำแหน่งของแรงกระทำตามแนวแกน.....	39
ตารางที่ (3.8) ค่าแรงโค้งงอเทียบกับอัตราส่วน $t/a$ ของคานตัวอย่าง 4.1.....	40
ตารางที่ (3.9) ค่าแรงโค้งงอเทียบกับอัตราส่วน $b/a$ ของคานตัวอย่าง 4.2.....	41
ตารางที่ (3.10) ค่าแรงโค้งงอเทียบกับอัตราส่วน $b/a$ ของคานตัวอย่าง 4.3.....	42
ตารางที่ (3.11) ค่าแรงโค้งงอเทียบกับอัตราส่วน $c/a$ ของคานตัวอย่าง 4.4.....	43

รายการรูปภาพประกอบ

	หน้า
รูปที่ (1.1)	คานงัดหน้าตัดเปิดแบบผนังบาง.....45
รูปที่ (2.1)	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนัก - การเคลื่อนที่ กรณีรับแรงในระนาบ เกิดการโก่งงอด้านข้าง.....45
รูปที่ (2.2)	การหาพื้นที่ของส่วนใด ๆ บนหน้าตัด.....46
รูปที่ (2.3)	ตำแหน่งต่างๆบนหน้าตัดคาน.....46
รูปที่ (2.4)	การเคลื่อนที่ของจุดใด ๆ บนหน้าตัด.....47
รูปที่ (2.5)	แรงและการเคลื่อนที่ที่เกิดบนหน้าตัดคานแต่ละชั้น.....47
รูปที่ (3.1)	ลักษณะของสภาพจุดรองรับและน้ำหนักกระทำที่กระทำบนคานตัวอย่างที่ 1....48
รูปที่ (3.2)	ลักษณะการโก่งงอที่เกิดขึ้นบนคานตัวอย่างที่ 1.....49
รูปที่ (3.3)	หน้าตัดผนังบางชนิดต่างๆ ในตัวอย่างที่ 2.....50
รูปที่ (3.4)	การแบ่งหน้าตัดเป็นชิ้นส่วนย่อยเพื่อคำนวณคุณสมบัติของหน้าตัด.....51
รูปที่ (3.5)	ตำแหน่งต่างๆบนหน้าตัดเพื่อใช้คำนวณคุณสมบัติของหน้าตัด.....51
รูปที่ (3.6)	ลักษณะจุดรองรับและแรง P ที่กระทำที่ C.G. ในตัวอย่างที่ 2.....51
รูปที่ (3.7)	ขนาดของหน้าตัดคานสมมาตรแกนเดียวรับแรงเยื้องศูนย์กลางในตัวอย่างที่ 3.....52
รูปที่ (3.8)	ผลของตำแหน่งของแรงกระทำเยื้องศูนย์กลางบนแกนสมมาตร.....52
รูปที่ (3.9)	ลักษณะของหน้าตัดที่แปรเปลี่ยนขนาด และความยาวในตัวอย่างที่ 4.....53
รูปที่ (3.10)	กราฟความสัมพันธ์ ระหว่างน้ำหนักวิกฤติกับอัตราส่วน $t/a$ ของคานแคบ....54
รูปที่ (3.11)	กราฟความสัมพันธ์ ระหว่างน้ำหนักวิกฤติกับอัตราส่วน $b/a$ ของคาน รูปตัว ไอ.....54
รูปที่ (3.12)	กราฟความสัมพันธ์ ระหว่างน้ำหนักวิกฤติกับอัตราส่วน $b/a$ ของคาน รูปตัว ซี.....55
รูปที่ (3.13)	กราฟความสัมพันธ์ ระหว่างน้ำหนักวิกฤติกับอัตราส่วน $c/a$ ของคาน รูปตัว ซี มีขอบ.....55

## สัญลักษณ์

A	=	พื้นที่หน้าตัด
A , B	=	เวกเตอร์ของฟังก์ชันประมาณค่าในช่วง
a	=	ความลึกของคาน
b	=	ความกว้างของหน้าตัดคาน
c	=	ขอบงอ
$C_T$	=	โมเมนต์ของแรงบิดที่ปลายชิ้นส่วน
[d]	=	เวกเตอร์ของการเคลื่อนที่ที่ปลายชิ้นส่วนคาน
E	=	โมดูลัสยืดหยุ่นของชิ้นส่วน
[F]	=	เวกเตอร์ของแรงภายนอกที่กระทำกับคาน.
G	=	โมดูลัสการเฉือนของชิ้นส่วน
h	=	ความสูงของหน้าตัดคาน
$I_{yy}$	=	โมเมนต์อินเนอร์เซียรอบแกน y
$I_{zz}$	=	โมเมนต์อินเนอร์เซียรอบแกน z
$I_{ww}$	=	สัมประสิทธิ์ของการบิดเบี้ยว
J	=	ค่าคงที่ St. Venant
K	=	สตีเฟนเนส เมตริกซ์
[ $K_E$ ]	=	สตีเฟนเนส ของคาน
[ $K_G$ ]	=	สตีเฟนเนส เชิงเรขาคณิต
L	=	ความยาวคาน
$L_{cr}$	=	ความยาววิกฤติ
$M_x$	=	แรงบิด
$M_y$	=	แรงดัดรอบแกน y
$M_z$	=	แรงดัดรอบแกน z
$M_w$	=	โมเมนต์เนื่องจากผลการบิดเบี้ยว
$M_{cr}$	=	โมเมนต์ตัดโค้งงอวิกฤติ
n, s	=	พิกัด ในแนวเส้นสัมผัสของหน้าตัด
$N_1 - N_0$	=	ฟังก์ชันของการประมาณค่าในช่วง

P	=	แรงในแนวแกน
$P_{cr}$	=	ค่าแรงโค้งงอวิกฤติ
T	=	แรงบิด
t	=	ความหนาของหน้าตัดคาน
x, y, z	=	ระบบพิกัดฉาก
$y_s, z_s$	=	พิกัดของจุดศูนย์กลางแรงเฉือน
$y_c, z_c$	=	พิกัดของจุดศูนย์กลางมวล
w	=	น้ำหนักบรรทุกสม่ำเสมอ
u, v, w	=	การเคลื่อนที่ในทิศทางพิกัดฉาก x, y, z
$\gamma$	=	อัตราส่วนระหว่างความเครียดด้านข้างต่อความเครียดในแนวแกน (Poisson's Ratio)
$\sigma_{xx}$	=	หน่วยแรงเริ่มต้น
$\beta_y, \beta_z, \beta_w, r_s^2$	=	คุณสมบัติของการสมมาตรของหน้าตัด
$\rho$	=	ระยะตั้งฉากจากจุดศูนย์กลางมวลถึงจุดสัมผัสผิว
$\rho_o$	=	ระยะตั้งฉากจากจุดศูนย์กลางแรงเฉือนถึงจุดสัมผัสผิว
$\lambda$	=	ค่าตัวคูณประกอบ
$\phi$	=	มุมการบิดเทียบกับแกน X

ตัวห้อยท้าย

c	=	อ้างอิงกับจุดศูนย์กลางมวลของหน้าตัด
i, j	=	ปลายของชิ้นส่วน
s	=	อ้างอิงกับจุดศูนย์กลางแรงเฉือน

ตัวห้อยบน

0	=	เทียบกับจุดเริ่มต้น
1	=	เทียบกับสภาวะสมดุล
2	=	เทียบกับสภาวะหลังจากสมดุล
T	=	ทรานส์โพส เมตริกซ์

## รายการภาคผนวก

	หน้า
ภาคผนวก ก. การหาค่าคุณสมบัติที่สำคัญของคานหน้าตัดเปิดแบบผนังบาง .....	57
ภาคผนวก ข. สติฟเนสเมตริกซ์ของคาน .....	60
ภาคผนวก ค. ตัวอย่างการใส่ข้อมูลและผลลัพธ์จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ .....	62