4

การคำนวณออกแบบอย่างเหมาะที่สุดสำหรับโครงถักระนาบ

นายสุวัฒน์ ถิรเศรษฐ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พศ. 2532

ISBN 974-576-176-1

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

015811
I10302645

OPTIMUM DESIGN OF PLANE TRUSSES

Mr. Suvat Dhirasedh

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Civil Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1989

ISBN 974-576-176-1

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การคำนวณออกแบบอย่างเหมาะที่สุดสำหรับโครงถักระนาบ

โดย นายสุวัฒน์ ถิรเศรษฐ์

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา ศาสตราจารย์ ดร. ทักษิณ เทพชาตรี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดี บัณฑิตวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์ ดร. ถาวร วัชราภัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร. เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ศาสตราจารย์ ดร. ทักษิณ เทพชาตรี)

.....กรรมการ

(ศาสตราจารย์ วัฒนา ธรรมมงคล)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เริงเดชา รัชตโพธิ์)

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สุวัฒน์ ถิรเศรษฐ์ : การคำนวณออกแบบอย่างเหมาะที่สุดสำหรับโครงถักระนาบ (OPTIMUM DESIGN OF PLANE TRUSSES) อ.ที่ปรึกษา : ศ. ดร. ทักษิณ เทพชาตรี, 77 หน้า.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการพัฒนาวิธีการคำนวณออกแบบอย่างเหมาะที่สุดสำหรับโครงถักระนาบซึ่งรวมพฤติกรรมการโก่งเดาะสำหรับชิ้นส่วนรับแรงอัด โดยใช้เงื่อนไขบังคับหน่วยแรง เงื่อนไขบังคับการเปลี่ยนตำแหน่ง และเงื่อนไขบังคับรอง เป็นขอบเขตในการออกแบบขนาดชิ้นส่วนของโครงถักเหล็ก เพื่อให้ได้น้ำหนักหรือปริมาตรรวมของโครงสร้างที่น้อยที่สุด

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ในส่วนเงื่อนไขบังคับหน่วยแรงและการเปลี่ยนตำแหน่งถูกสร้างมาจากการประมาณค่าแรงและการเปลี่ยนตำแหน่งที่เปลี่ยนแปลงไปต่อพื้นที่หน้าตัดของชิ้นส่วนที่เปลี่ยนแปลงไป โดยประมาณมาจากอันดับแรกของอนุกรมเทเลอร์ จากนั้นจึงใช้กำหนดการเชิงเส้นแก้ปัญหาโดยวิธีซิมเพล็กซ์ได้ค่าตัวแปรออกแบบ

การทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เริ่มตั้งแต่สมมุติขนาดชิ้นส่วน วิเคราะห์โครงสร้าง ปรับขนาดชิ้นส่วนเพื่อให้อยู่ในช่วงที่เป็นไปได้ สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ แก้หาตัวแปรโดยวิธีซิมเพล็กซ์ นำตัวแปรที่ได้ย้อนกลับไปวิเคราะห์โครงสร้าง การทำงานจะซ้ำอยู่อย่างนี้จนกระทั่งคำตอบจะเข้าสู่จุดที่เหมาะที่สุด

งานวิจัยนี้ทำให้สามารถคำนวณออกแบบโครงถักระนาบได้ทุกรูปแบบ ทั้งโครงสร้างดีเทอมิเนตและอินดีเทอมิเนต และจะให้โครงถักระนาบที่ให้ปริมาตรรวมประหยัดลงกว่าการคำนวณออกแบบที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันประมาณ 10-14 % สำหรับโครงถักอินดีเทอมิเนต ส่วนโครงถักดีเทอมิเนตจะให้ประมาตรรวมเท่ากัน

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

ปีการศึกษา 2531 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

SUVAT DHIRASEDH : OPTIMUM DESIGN OF PLANE TRUSSES.
THESIS ADVISOR : PROF. THAKSIN THEPCHATRI, Ph.D. 77 PP.

The development of an optimum design for plane trusses, including buckling effects of compression members, is presented in this thesis. Stress, displacement and side constraints are used as boundary terms to obtain size of members. The least weight or least volume of the structure, on the other hand, is used as an objective term.

In the mathematical model, stress and displacement constraints are generated by estimating changes in bar forces and nodal displacement compared to changes in bar areas. The approximation employs first-order Taylor's series expansion. Simplex algorithm is then used to obtain values of the design variables.

The solution is obtained by first assuming member sizes and then performing a structural analysis. The variables thus obtained are scaled to get feasible values. A mathematical model is then generated and the inequality equations are solved by using the simplex method to get new member sizes. The iterative procedure is applied until the solution converges to an optimal point.

The proposed method can be applied to both determinate and indeterminate plane trusses. For indeterminate plane trusses, the total volume obtained is approximately 10-14 % less than that obtained by the usual design procedure. For determinate plane trusses, however, both methods yield equal total volume.

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

ปีการศึกษา 2531 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงต่อ ศาสตราจารย์ ดร. ทักษิณ เทพชาตรี ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่กรุณาให้คำปรึกษา และเสนอแนะแนวทางการศึกษารายละเอียด ตลอดจนตรวจสอบแก้ไขจนกระทั่งการเขียนวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลงด้วยดี และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงต่อคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วย ศาสตราจารย์ ดร. เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ ศาสตราจารย์ วัฒนา ธรรมมงคล และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เริงเดชา รัชตโพธิ์ ที่ได้กรุณาตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จเรียบร้อย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้หากมีประโยชน์อยู่บ้าง ผู้เขียนขอมอบกับผู้อ่านที่สนใจทุก ๆ ท่าน

สุวัฒน์ ถิรเศรษฐ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญภาพ ..... ญ

สัญญลักษณ์ ..... ฏ

ศัพท์วิทยาการ ..... ฑ

บทที่

1. บทนำ 1
   - 1.1 กล่าวนำ 1
   - 1.2 งานวิจัยที่ผ่านมา 2
   - 1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 4
   - 1.4 สมมุติฐานในการวิเคราะห์ 4
   - 1.5 ขอบเขตของการวิจัย 4
   - 1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัยนี้ 5
2. การคำนวณออกแบบอย่างเหมาะที่สุดสำหรับโครงถักระนาบ 6
   - 2.1 กล่าวนำ 6
   - 2.2 การสร้างฟังก์ชันเป้าหมายและอสมการเงื่อนไขบังคับ 8
   - 2.3 การหาค่าเงื่อนไขบังคับทางพฤติกรรมโครงสร้างเชิงเลข 14
   - 2.4 กรณีโครงถักรับแรงกระทำหลายชุด 30
   - 2.5 กรณีใช้ชิ้นส่วนเหมือน ๆ กัน 31
3. ตัวอย่างการคำนวณออกแบบและการเปรียบเทียบ 34
   - 3.1 กล่าวนำ 34
   - 3.2 ตัวอย่างการคำนวณออกแบบ 34
   - 3.3 การเปรียบเทียบผลลัพธ์กับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ D - TRUSS . 49

หน้า

บทที่

4. สรุปผลและวิจารณ์ 52

4.1 กล่าวนำ 52

4.2 สรุปผลการวิจัย 52

4.3 ข้อเสนอแนะและงานวิจัยต่อเนื่อง 53

เอกสารอ้างอิง 55

ภาคผนวก ก 59

ภาคผนวก ข 70

ประวัติ 77

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่

3.1 การเลือกพื้นที่หน้าตัดในแต่ละรอบการกระทำซ้ำของโครงถักระนาบสี่ชิ้นส่วน 37

3.2 การเปรียบเทียบหน่วยแรงในแต่ละรอบการกระทำซ้ำของโครงถักระนาบสี่ชิ้นส่วน 38

3.3 การเลือกพื้นที่หน้าตัดในแต่ละรอบการกระทำซ้ำของโครงถักระนาบเก้าชิ้นส่วน 40

3.4 การเปรียบเทียบหน่วยแรงในแต่ละรอบการกระทำซ้ำของโครงถักระนาบเก้าชิ้นส่วน 41

3.5 การเลือกพื้นที่หน้าตัดในแต่ละรอบการกระทำซ้ำของโครงถักระนาบยี่สิบหกชิ้นส่วน 43

3.6 การเปรียบเทียบหน่วยแรงในแต่ละรอบการกระทำซ้ำของโครงถักระนาบยี่สิบหกชิ้นส่วน 44

3.7 การเลือกพื้นที่หน้าตัดในแต่ละรอบการกระทำซ้ำของโครงถักระนาบสี่สิบเจ็ดชิ้นส่วน 47

3.8 การเปรียบเทียบหน่วยแรงในแต่ละรอบการกระทำซ้ำของโครงถักระนาบสี่สิบเจ็ดชิ้นส่วน 47

3.9 การเปรียบเทียบพื้นที่หน้าตัดของโครงถักระนาบสี่ชิ้นส่วน 50

3.10 การเปรียบเทียบพื้นที่หน้าตัดของโครงถักระนาบเก้าชิ้นส่วน 50

3.11 การเปรียบเทียบพื้นที่หน้าตัดของโครงถักระนาบยี่สิบหกชิ้นส่วน 51

3.12 การเปรียบเทียบพื้นที่หน้าตัดของโครงถักระนาบสี่สิบเจ็ดชิ้นส่วน 51

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่

2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับพื้นที่หน้าตัด 25

2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับพื้นที่หน้าตัดในช่วงขีดการเคลื่อนตัว 26

2.3 แผนภูมิขั้นตอนการคำนวณ 29

3.1 โครงถักระนาบสี่ชิ้นส่วน 36

3.2 โครงถักระนาบเก้าชิ้นส่วน 38

3.3 โครงถักระนาบยี่สิบหกชิ้นส่วน 42

3.4 โครงถักระนาบสี่สิบเจ็ดชิ้นส่วน 45

ก.1 เงื่อนไขบังคับและฟังก์ชันเป้าหมาย 62

ก.2 แผนภูมิการทำงานของคอมพิวเตอร์ในการแก้ปัญหากำหนดการเชิงเส้น โดยวิธีการซิมเพล็กซ์ 69

ข.1 เลขระดับขั้นความเสรีที่ขั้ว 70

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สัญญลักษณ์

K = สติฟเนสเมตริกซ์ของโครงสร้าง

X = เมตริกซ์การเปลี่ยนตำแหน่งของโครงสร้าง

P = เมตริกซ์ของแรงกระทำ

A = เมตริกซ์สถิตย์ได้มาจากโคซายน์แสดงทิศทางของชิ้นส่วนที่จุดต่อ

A^t = เมตริกซ์การเข้ากันทางเรขาคณิตของโครงสร้าง

S = สติฟเนสเมตริกซ์ของชิ้นส่วนโครงถัก

F = เมตริกซ์ของแรงภายในชิ้นส่วนโครงถัก

Z = ค่าฟังก์ชันเป้าหมาย (ปริมาตรของโครงถัก)

A_i, A_j = พื้นที่หน้าตัดของโครงถักชิ้นส่วนที่ i , j

L_i = ความยาวของชิ้นส่วนที่ i

n = จำนวนชิ้นส่วนทั้งหมดของโครงถัก

F^* = แรงในหน้าตัดที่ถูกเลือกใหม่

F_a^* = แรงที่ยอมให้ใช้ได้ในหน้าตัดที่ถูกเลือกใหม่

F° = แรงที่ได้จากการสมมุติหน้าตัดแรกเริ่ม

f_a = แรงที่ยอมให้ใช้งานได้

A° = พื้นที่หน้าตัดเดิมของชิ้นส่วน

ΔA = ผลต่างระหว่างพื้นที่หน้าตัดใหม่กับพื้นที่หน้าตัดเดิม

ΔF_i = ผลต่างระหว่างแรงใหม่กับแรงเดิมในชิ้นส่วนที่ i

F_i = แรงในชิ้นส่วนที่ i เมื่อเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัด

F_i° = แรงในชิ้นส่วนที่ i เมื่อใช้หน้าตัดเดิม

$\partial F_i / \partial A_j$ = อนุพันธ์ย่อยระหว่างแรงในชิ้นส่วน i เทียบกับพื้นที่หน้าตัด j

ΔA_i = ผลต่างระหว่างพื้นที่หน้าตัดเดิมกับพื้นที่หน้าตัดใหม่ในชิ้นส่วนที่ i

A_i° = พื้นที่หน้าตัดเดิมของชิ้นส่วนที่ i

$(f_i)_a$ = หน่วยแรงที่ยอมให้ใช้ได้ในชิ้นส่วนที่ i

X^* = การเปลี่ยนตำแหน่งใหม่

X_a = การเปลี่ยนตำแหน่งที่ยอมให้เกิดขึ้นได้

X° = การเปลี่ยนตำแหน่งเริ่มแรก

ΔX = เมตริกซ์การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งภายนอกเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงตัวแปรออกแบบ

$\partial X/\partial A_j$ = อนุพันธ์ย่อยระหว่างการเปลี่ยนตำแหน่งเทียบกับพื้นที่หน้าตัด j

$(LB)_i$ = ขีดจำกัดล่างของพื้นที่หน้าตัดชิ้นส่วนโครงถักชิ้นส่วนที่ i

$(UB)_i$ = ขีดจำกัดบนของพื้นที่หน้าตัดชิ้นส่วนโครงถักชิ้นส่วนที่ i

M_L = ขีดจำกัดการเคลื่อนตัว (Move limit)

U_i = สัมประสิทธิ์ตัวคูณกับพื้นที่หน้าตัดเก่าเป็นพื้นที่หน้าตัดใหม่ในชิ้นส่วนที่ i

C_y = จำนวนรอบที่กระทำซ้ำ

ϵ = เมตริกซ์ของการยืดหดตัวของชิ้นส่วน

ΔF = เมตริกซ์ของแรงภายในที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อเปลี่ยนแปลงตัวแปร

ΔS = สัมประสิทธิ์เมตริกซ์การเปลี่ยนตัวแปรออกแบบเพียงตัวเดียวนอกนั้นเป็นศูนย์

$\Delta\epsilon$ = เมตริกซ์การเปลี่ยนแปลงการยืดหดของชิ้นส่วนเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงตัวแปรออกแบบ

ΔF_{ij} = ผลต่างของแรงเก่ากับแรงใหม่ชิ้นส่วน i เมื่อเปลี่ยนพื้นที่หน้าตัดชิ้นส่วนที่ j

ΔP = แรงภายนอกที่เกิดขึ้นเมื่อเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัด

I = เมตริกซ์เอกภาพ (Unity matrix)

f_i = หน่วยแรงที่เกิดขึ้นในชิ้นส่วนเมื่อเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัดใหม่

f_t = หน่วยแรงดึง

f_c = หน่วยแรงอัด

f_p = หน่วยแรงที่ยอมให้เกิดขึ้นได้

f_{pt} = หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ใช้ได้

f_y = หน่วยแรงดึงคลากของเหล็ก

k = สัมประสิทธิ์ความยาวประสิทธิผล

L = ความยาว

r = รัศมีไจเรชั่น

F.S = ค่าความปลอดภัย

C_c = ค่าอัตราส่วนความชลูดที่แบ่งระหว่างช่วงการโก่งเดาะอีลาสติคกับช่วงเลยอีลาสติค

f_{pc} = หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ใช้ได้

f_u = หน่วยแรงอัดออยเลอร์

K_g = สัดส่วนความสัมพันธ์ระหว่างรัศมีไจเรชั่นกับพื้นที่หน้าตัด ($r^2 = K_g A$)

P_u = แรงอัดของออยเลอร์

I_s = โมเมนต์อินเนอร์เชีย

S_i = ความชันของเส้นสัมพันธ์

F_{oi} = ระยะตัดแกนแรง

ΔK_j = ผลต่างระหว่างสติฟเนสเก่ากับสติฟเนสใหม่

X^o_{max} = ค่าการเปลี่ยนตำแหน่งสูงสุดเมื่อใช้พื้นที่หน้าตัดเดิม

X_{max} = ค่าการเปลี่ยนตำแหน่งสูงสุดเมื่อใช้พื้นที่หน้าตัดใหม่

ΔX_{max} = ผลต่างระหว่างการเปลี่ยนตำแหน่งเก่ากับใหม่ที่มีค่าสูงสุด

ΔK_j = สติฟเนสเมตริกซ์ของระบบรวมของโครงสร้างเมื่อเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัดชิ้นส่วน j เพิ่มขึ้น 100%

$\hat{x}$ = ค่าของ $A_i \hat{L}_i$ ที่เป็นคำตอบอย่างเหมาะที่สุด

x^k = ค่าของ $A_i{}^k L_i$ ที่เป็นคำตอบอย่างเหมาะที่สุด

x^{k+1} = ค่าของ $A_i{}^{k+1} L_i$ ที่เป็นคำตอบอย่างเหมาะที่สุด

C = ค่าตรวจสอบการเข้าสู่คำตอบ

ng = จำนวนชุดพื้นที่หน้าตัด

ศัพท์วิทยาการ

ฟังก์ชันเป้าหมาย	Objective function
เงื่อนไขบังคับ	Constraint
ขีดจำกัดการเคลื่อนตัว	Move limit
กำหนดการเชิงเส้น	Linear programming
อนุพันธ์ย่อย	Partial differential
ขั้ว	Node
พิกัดยืดหยุ่น	Elastic limit
เมตริกซ์เอกฐาน	Singular matrix