

การคำนวณออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดสำหรับโครงถักเหล็กในระนาบ
โดยใช้วิธีอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม



นายบรรณาด แซ่มสุวรรณ

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

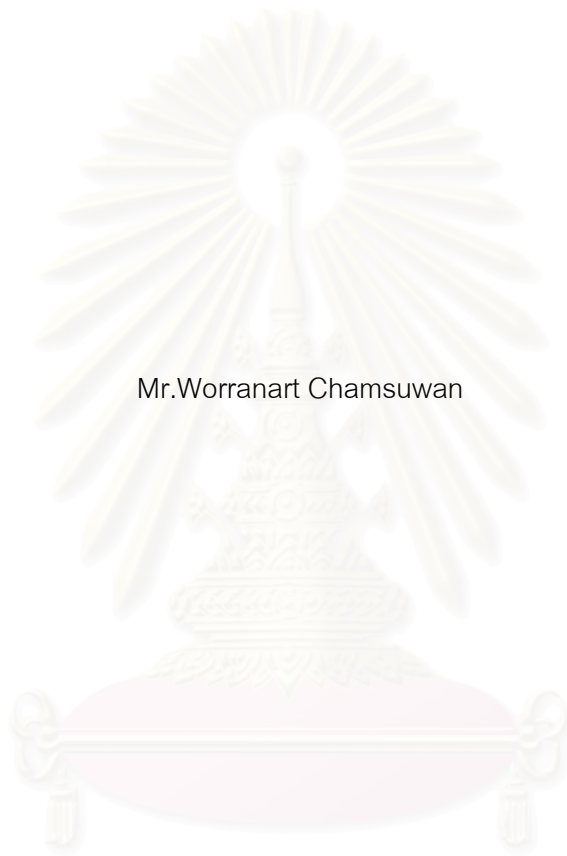
ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-17-3969-9

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

OPTIMUM DESIGN OF PLANE STEEL TRUSSES
USING GENETIC ALGORITHM

Mr.Worranart Chamsuwan



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Civil Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2005


ISBN 974-17-3969-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การคำนวณออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดสำหรับโครงถักเหล็ก ในระนาบ โดยใช้วิธีอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม
โดย	นาย วรนาถ แซ่มสุวรรณ
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา	ศาสตราจารย์ ดร.ทักษิณ เทพชาตรี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต


..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.ติเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เวียงเดชา รัชตโพธิ์)


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


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีรพงศ์ เสนจันทร์ฉมิไชย)



สถาบันวิศวกรรมโยธา
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วรรณาด แซ่มสุวรรณ : การคำนวณออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดสำหรับ โครงงัดเหล็กในระนาบ โดยวิธีอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม. (OPTIMUM DESIGN OF PLANE STEEL TRUSSES USING GENETIC ALGORITHM) อ. ที่ปรึกษา : ศาสตราจารย์ ดร.ทักษิณ เทพชาติ , 61 หน้า. ISBN 974-17-3969-9.

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและพัฒนาการคำนวณออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุด สำหรับ โครงงัดเหล็กที่มีพฤติกรรมทั้งแบบเชิงเส้น และ ไม่เชิงเส้นด้วยวิธีอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม โดยพิจารณาการออกแบบของค้ำอาคารเหล็กจากหน่วยแรงที่เกิดขึ้น การโก่งเดาะขององค์อาคาร และอัตราส่วนความชะลูดวิธีที่ใช้ในการออกแบบของค้ำอาคารเหล็กนั้นใช้วิธีกำลังที่ยอมให้ (allowable strength design) AISC/ASD 2005 และวิธีตัวคูณกำลังด้านทานและน้ำหนักบรรทุก (load and resistance factor design) AISC/LRFD 2005 ซึ่งในการออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดนี้ มีการใช้ปริมาตรของเหล็กทั้งหมดที่ใช้โครงงัดนี้เป็นค่าเป้าหมาย (fitness value) หากโครงงัดนี้มีค่าเป้าหมายน้อยที่สุด และสามารถรับน้ำหนักบรรทุกที่กระทำได้ตามมาตรฐานการออกแบบจะถือว่าโครงงัดชุดนั้นเป็นโครงงัดที่มีความประหยัดที่สุด

จากผลงานวิจัยนี้พบว่า การวิเคราะห์โครงสร้างโดยพิจารณาพฤติกรรมแบบเชิงเส้น และ ไม่เชิงเส้นนั้นจะให้แรงที่เกิดขึ้นในองค์อาคารต่างกันอยู่เล็กน้อยขึ้นอยู่กับรูปร่างของโครงสร้างนั้นๆ หากโครงสร้างที่ทำการวิเคราะห์มีความสูงหรือความชะลูดมาก ก็จะทำให้ผลที่ได้จากการวิเคราะห์แบบไม่เชิงเส้นสูงกว่าแบบเชิงเส้นอยู่บ้าง แต่หากโครงสร้างมีความสูงหรือความชะลูดต่ำจะให้ผลการวิเคราะห์ที่ได้จากการพิจารณาพฤติกรรมไม่เชิงเส้นไม่ต่างจากการวิเคราะห์แบบเชิงเส้น ในส่วนของการออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดด้วยวิธีอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมนั้น จะเห็นว่าวิธีการดังกล่าวสามารถประยุกต์กับการออกแบบโครงสร้างได้อย่างดี จากตัวอย่างที่ทำการศึกษพบว่า การออกแบบที่ได้จะให้โครงสร้างที่มีขนาดเล็กและเบาถึง 20-30% เมื่อเปรียบเทียบกับ การออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดโดยวิธีงานสมมติ และยังคงไว้ซึ่งความแข็งแรง และปลอดภัยตามมาตรฐานการออกแบบ

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา 2548

ลายมือชื่อนิติศ 
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา 

4570515021 : MAJOR CIVIL ENGINEERING/STRUCTURAL ENGINEERING

KEY WORD: OPTIMUM / TRUSSES DESIGN / NONLINEAR / GENETIC ALGORITHM / STEEL DESIGN

WORRANART CHAMSUWAN : OPTIMUM DESIGN OF PLANE STEEL TRUSSES
USING GENETIC ALGORITHM. THESIS ADVISOR : PROF.THAKSIN THEPCHATRI,
Ph.D. 61 pp. ISBN 974-17-3969-9

The aim of this research is to establish the optimal solutions for linear and nonlinear plane steel trusses employing genetic algorithm. The design criteria utilized in this study are stresses, bucking and slenderness ratio. The standard codes used for structural design are the allowable strength design (AISC/ASD 2005) and the load and resistance factor design (AISC/LRFD 2005). The fitness value utilized herein is the total volume of steel used for a plane truss. Therefore the objective function is to seek the minimum weight (volume) of the structure under the constraint that meets the AISC standard.

From the research, it may be summarized that the optimal solutions including nonlinear effects are nominally different from those without considering the nonlinear behavior depending on the structural shapes. The nonlinear effect is evidently noticed when the structures have high slenderness ratio. Conversely, for structures with small slenderness ratio, the behavior of nonlinearity becomes insignificant. From this study, the results obtained from the proposed method not only meet the AISC code requirements but also exhibit 20-30% reduction in total weight of structures comparing with that obtained from the virtual work method.

Department CIVIL ENGINEERING
Field of study CIVIL ENGINEERING
Academic year 2005

Student's signature.....*Worranart Chamsuwan*
Advisor's signature.....*Thaksin Thepchatri*

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงต่อ ศาสตราจารย์ ดร.ทักษิณ เทพชาตรี ที่ให้คำปรึกษาและ
ข้อเสนอแนะแนวทางการวิจัยและรายละเอียดในส่วนต่างๆ ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วย
ศาสตราจารย์ ดร.เริงเดชา รัชตโพธิ์ ที่เป็นประธานกรรมการตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์จนถึงให้
คำปรึกษาจนกระทั่งการเขียนวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลงด้วยดี ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ธีร
พงศ์ เสนจันทร์ดิไชย ที่กรุณาสละเวลามาเป็นกรรมการตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
ขอขอบพระคุณ ดร.นเรศ ลิ้มสัมพันธ์เจริญ ที่ได้ให้ความรู้เกี่ยวกับการออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุด
ด้วยวิธีอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมจนสามารถทำงานวิจัยนี้ให้สำเร็จเรียบร้อย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ญ
สัญลักษณ์.....	ฎ
ศัพท์วิชาการ.....	ฏ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 กล่าวนำ.....	1
1.2 งานวิจัยที่ผ่านมา.....	2
1.3 วัตถุประสงค์.....	4
1.4 ขอบเขตงานวิจัย.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและแนวคิด	
2.1 กล่าวนำ.....	6
2.2 สมมติฐานในการออกแบบ.....	7
2.3 การวิเคราะห์แบบไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิต(Geometric Nonlinear Analysis).....	7
2.4 การออกแบบโครงสร้างเหล็กตามมาตรฐาน AISC/ASD และ AISC/LRFD.....	8
2.5 การออกแบบที่เหมาะสมที่สุด.....	15
บทที่ 3 เทคนิคการแก้สมการไม่เชิงเส้นและวิธีการปรับเปลี่ยนอัตโนมัติที่ใช้ในงานวิจัย	
3.1 กล่าวนำ.....	21
3.2 เทคนิคการทำซ้ำ(Incremental-Iterative Solution Technique).....	22
3.3 วิธีการปรับเปลี่ยน(Adaptive Scheme).....	25
3.4 การลดตัวคูณการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักบรรทุกอัตโนมัติ(Automatic Time Step Reduction).....	26
3.5 การตรวจสอบการเข้าสู่คำตอบของการแก้สมการไม่เชิงเส้น.....	27
บทที่ 4 ตัวอย่างการคำนวณออกแบบและเปรียบเทียบ	
4.1 กล่าวนำ.....	28
4.2 ตัวอย่างการคำนวณออกแบบและผลลัพธ์.....	28

4.3 ตัวอย่างที่ 2.....	29
4.4 ตัวอย่างที่ 3.....	35
4.5 ตัวอย่างที่ 4.....	42
4.6 ตัวอย่างที่ 5.....	47
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผล	
5.1 กล่าวนำ.....	53
5.2 ผลที่ได้จากงานวิจัย.....	53
5.3 สรุปผลงานวิจัย.....	55
5.4 ข้อเสนอแนะและงานวิจัยต่อเนื่อง.....	56
รายการอ้างอิง.....	57
ภาคผนวก.....	59
ภาคผนวก ก.....	60
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	61

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่	หน้า
2.1 ตัวอย่างของการสืบสกุล(reproduction).....	16
2.2 ตัวอย่างของการสืบสกุล(reproduction) ตัวอย่างที่ 1.....	18
4.1 ข้อมูลเบื้องต้นตัวอย่างที่ 2.....	30
4.2 ข้อมูลแรงกระทำตัวอย่างที่ 2.....	30
4.3 ข้อมูลชิ้นส่วนตัวอย่างที่ 2.....	30
4.4 เปรียบเทียบการเปลี่ยนตำแหน่งของโครงสร้างจากการวิเคราะห์แบบเชิงเส้นและไม่เชิงเส้น ระหว่างผลงานวิจัยนี้ และจากโปรแกรม SAP2000 ตัวอย่างที่ 2.....	30
4.5 เปรียบเทียบแรงภายในของโครงสร้างจากการวิเคราะห์แบบเชิงเส้นและไม่เชิงเส้นระหว่าง ผลงานวิจัยนี้ และจากโปรแกรม SAP2000 ตัวอย่างที่ 2.....	32
4.6 ข้อมูลเบื้องต้นตัวอย่างที่ 3.....	35
4.7 ข้อมูลแรงกระทำตัวอย่างที่ 3.....	36
4.8 ข้อมูลชิ้นส่วนตัวอย่างที่ 3.....	36
4.9 สรุปเปรียบเทียบผลการออกแบบด้วยกำหนด AISC/ASD 2005 และ AISC/LRFD 2005 กับโปรแกรมผลงานวิจัยที่ผ่านมาตัวอย่างที่ 3.....	40
4.10 ข้อมูลเบื้องต้นตัวอย่างที่ 4.....	43
4.11 ข้อมูลแรงกระทำตัวอย่างที่ 4.....	43
4.12 ข้อมูลชิ้นส่วนตัวอย่างที่ 4.....	44
4.13 สรุปเปรียบเทียบผลการออกแบบด้วยกำหนด AISC/ASD 2005 กับโปรแกรมผลงานวิจัย ที่ผ่านมาตัวอย่างที่ 4.....	46
4.14 ข้อมูลเบื้องต้นตัวอย่างที่ 5.....	48
4.15 ข้อมูลแรงกระทำตัวอย่างที่ 5.....	48
4.16 ข้อมูลชิ้นส่วนตัวอย่างที่ 5.....	49
4.17 สรุปเปรียบเทียบผลการออกแบบด้วยกำหนด AISC/ASD 2005 และ AISC/LRFD 2005 กับโปรแกรมผลงานวิจัยที่ผ่านมาตัวอย่างที่ 5.....	51

รูปที่	หน้า
2.1 ภาพสมการที่มีจุดสูงสุดหลายจุด.....	15
2.2 ภาพการผสมข้ามพันธุข้อมูล.....	17
2.3 กราฟค่าเป้าหมายในแต่ละยุคข้อมูลของตัวอย่างที่ 1.....	20
3.1 วิธีนิวตัน-ราฟสันที่ดัดแปลงแล้ว(modified Newton-Raphson iterations).....	22
4.1 โครงถักตัวอย่างที่ 2.....	29
4.2 โครงถักตัวอย่างที่ 3.....	35
4.3 กราฟค่าเป้าหมาย(fitness) ที่ได้จากจำนวนชุดข้อมูลต่างๆ.....	37
4.4 กราฟค่าเป้าหมาย(fitness) ในแต่ละยุคข้อมูล(generation) ของตัวอย่างที่ 3.....	39
4.5 โครงถักตัวอย่างที่ 4.....	42
4.6 กราฟค่าเป้าหมาย(fitness) ในแต่ละยุคข้อมูล(generation) ของตัวอย่างที่ 4.....	45
4.7 โครงถักตัวอย่างที่ 5.....	47
4.8 กราฟค่าเป้าหมาย(fitness) ในแต่ละยุคข้อมูล(generation) ของตัวอย่างที่ 5.....	50
ก.1 แผนภูมิสายงานการวิเคราะห์และออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุด.....	60

สัญลักษณ์

A	=	เนื้อที่หน้าตัดขององค์อาคาร
A_e	=	เนื้อที่หน้าตัดสุทธิประสิทธิภาพ
A_g	=	เนื้อที่หน้าตัดทั้งหมด
E	=	ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของวัสดุ
F_e	=	หน่วยแรงของออยเลอร์
F_y	=	หน่วยแรงที่จุดคลาก
$\{F_{int}\}$	=	เวกเตอร์ของแรงภายใน
$\{F_{ext}\}$	=	เวกเตอร์ของแรงภายนอก
$\{\Delta F_{ext}\}$	=	เวกเตอร์ของผลต่างของแรงภายนอก
$\{F_I\}$	=	เวกเตอร์ของแรงภายนอกที่ใช้อ้างอิง
i	=	จำนวนกลุ่มชิ้นส่วน
I	=	โมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัด
j	=	จำนวนชิ้นส่วนในแต่ละกลุ่ม
J_d	=	จำนวนการทำซ้ำเพื่อเข้าสู่สมมูลที่ต้องการ
J_{i-1}	=	จำนวนการทำซ้ำเพื่อเข้าสู่สมมูลที่ใช้จากการทำซ้ำในรอบที่ผ่านมา
K	=	สัมประสิทธิ์ความยาวประสิทธิภาพ
$[K_e]$	=	เมตริกซ์สติฟเนสยืดหยุ่นเชิงเส้น (elastic stiffness matrix)

$[K_g]$	=	เมตริกซ์สติฟเนสยืดหยุ่นไม่เชิงเส้นลำดับที่สอง (geometric stiffness matrix)
$[K_i]$	=	เมตริกซ์สติฟเนสสัมผัสเริ่มต้น
L	=	ความยาวขององค์อาคาร
P_a	=	หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ในแนวแกน
P_i	=	แรงในแนวแกน
Q_i	=	ตัวคูณความต้านทาน
r	=	รัศมีใจเรชัน
R_a	=	น้ำหนักบรรทุกทุกที่กระทำกับองค์อาคาร
R_n	=	ค่ากำลังต้านทานขององค์อาคาร
T_a	=	แรงดึงที่ยอมให้
T_u	=	กำลังรับแรงดึงในแนวแกน
U	=	ค่าสัมประสิทธิ์ลดกำลัง
$\{\Delta U\}$	=	เวกเตอร์ผลต่างของการกระจัด
$\{\delta\}$	=	เวกเตอร์การกระจัด (total displacements vector)
$\{\delta_i\}$	=	เวกเตอร์การกระจัดสัมผัส
$\{\Delta\delta\}$	=	เวกเตอร์การกระจัดส่วนที่เปลี่ยน (incremental displacements vector)
$\{\Delta\delta_R\}$	=	เวกเตอร์การกระจัดคงค้าง (residual displacements vector)

λ = ค่าอัตราส่วนความละเอียด

Ω = ตัวคูณค่าความปลอดภัย

γ = ตัวคูณน้ำหนักบรรทุก

ϕ = ตัวคูณความต้านทาน



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศัพท์วิทยาการ

การกลายพันธุ์	Mutation
การโปรแกรมแบบไม่เชิงเส้น	Nonlinear programming
การผสมข้ามพันธุ์	Crossover
การวิเคราะห์แบบไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิต	Geometrically nonlinear analysis
การวิเคราะห์แบบไม่เชิงเส้นทางวัสดุ	Material nonlinear analysis
การสืบสกุล	Reproduction
การออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุด	Optimum design
ความหนาแน่นของพลังงาน	Strain energy density
ค่าเป้าหมาย	Fitness value
จุดขีดจำกัด	Limit point
จุดเหมาะสมที่สุด	Optimum point
พลังงานศักย์เฮสเซียน	Hessian potential energy
ยุคข้อมูล	Generation
ระดับขั้นความเสรี	Degree of freedom
วิธีควบคุมน้ำหนักบรรทุก	Load control method
สภาพความแข็งของจุดต่อ	Rigidity of joint
เสถียรภาพเชิงตัวเลข	Numerical stability
เส้นทางความสมดุล	Equilibrium path

อัตราส่วนความชะลูด

Slenderness ratio

อัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม

Genetic algorithm



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1. กล่าวนำ

ในการออกแบบโครงสร้างนั้น มีจุดประสงค์หลักให้โครงสร้างที่ออกแบบนั้นเป็นโครงสร้างที่ดีคือ มีรูปแบบที่เหมาะสมกับการใช้งาน และขนาดขององค์อาคาร ประหยัด ทั้งยังสามารถรับน้ำหนักบรรทุกขณะใช้งานได้อย่างปลอดภัย

การออกแบบโครงสร้างประเภทโครงถักนั้น โดยทั่วไปจะทำการสุ่มเลือกขนาดของแต่ละองค์อาคารมาก่อน แล้วจึงทำการวิเคราะห์โครงสร้างทั้งหมด จากนั้นจึงพิจารณาหาหน้าหนักบรรทุกที่กระทำกับแต่ละองค์อาคาร และตรวจสอบความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของแต่ละองค์อาคาร และทำการปรับขนาดองค์อาคารด้วยวิธีลองผิดลองถูก (trial and error) จนกระทั่งได้โครงสร้างที่สามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้ตามต้องการ ทว่าโครงสร้างซึ่งออกแบบด้วยวิธีนี้ อาจไม่ใช่โครงสร้างที่ประหยัดสูงสุด หากต้องการทำให้โครงสร้างประหยัดที่สุด จะต้องลองผิดลองถูกใหม่และเปรียบเทียบกับขนาดเดิมขององค์อาคาร วิธีดังกล่าวอาจกินเวลานานกว่าจะได้คำตอบ ดังนั้นเพื่อหลีกเลี่ยงการออกแบบโดยวิธีนี้ จึงเกิดแนวคิดของการออกแบบที่เหมาะสมที่สุด (optimum design) ขึ้นเพื่อให้การออกแบบเป็นไปอย่างมีระบบแน่นอน และได้คำตอบที่ดีที่สุด

แนวคิดในการออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุด ได้มีการพิจารณามาตั้งแต่ปี 1983 และพัฒนาต่อมาจนถึงปัจจุบัน โดยทั่วไปการออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดนั้น จะใช้หลักการแก้สมการ ซึ่งจะทำได้โดยการปรับสมการที่มีเงื่อนไขให้เป็นสมการที่ไม่มีเงื่อนไข โดยการรวมสมการจุดมุ่งหมายและสมการเงื่อนไขให้อยู่ในสมการเดียวกัน เรียกว่า “ฟังก์ชันลากรองจ์” หลังจากนั้นจึงทำการหาจุดต่ำสุดจากสมการลากรองจ์โดยวิธีเชิงตัวเลข ซึ่งการหาจุดต่ำสุดจากสมการลากรองจน์ั้นมีความซับซ้อนและจะให้สมการที่หาคำตอบได้ยาก จึงได้มีการนำเสนอวิธอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม (genetic algorithm) มาใช้ในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของสมการ เนื่องจากวิธีนี้สามารถหาคำตอบของสมการได้ง่ายและไม่ซับซ้อนเมื่อเทียบกับวิธีอื่นๆ

การใช้เทคนิคการออกแบบที่เหมาะสมที่สุด ทำให้ได้โครงสร้างน้ำหนักเบาและรับน้ำหนักบรรทุกได้อย่างปลอดภัย อย่างไรก็ตามหากโครงสร้างเกิดการโก่งตัวมาก การวิเคราะห์โครงสร้างแบบเชิงเส้นจะให้ผลที่ต่างจากพฤติกรรมจริงมาก ดังนั้นเพื่อให้ทราบถึงพฤติกรรมอันแท้จริงของโครงสร้าง

ภายใต้น้ำหนักบรรทุกที่กระทำ จึงสมควรใช้การวิเคราะห์แบบไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิต (geometric nonlinear analysis) ในกรณีดังกล่าว

1.2. งานวิจัยที่ผ่านมา

Knot^[4] ได้เสนอวิธีการออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุด โดยใช้ความเสถียรเป็นเกณฑ์ในการออกแบบ ซึ่งพิจารณาจากรูปแบบของการจัดมากกว่าหนึ่งรูปแบบ และได้มีการคำนึงถึงพฤติกรรมไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิตด้วยวิธีนิวตันราฟสัน (Newton-Raphson's method)

Knot และ Kamat^[5] ได้เสนอวิธีการออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุด เพื่อให้ได้โครงสร้างที่มีน้ำหนักน้อยที่สุด ด้วยการคำนึงถึงพฤติกรรมแบบไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิต โดยหาน้ำหนักวิกฤตแบบไม่เชิงเส้นจากจุดที่มีพลังงานศักย์เฮสเซียน (Hessian potential energy) ที่มีค่าเป็นลบ และในการวิเคราะห์ข้ามี่เกณฑ์ว่าที่จุดเหมาะสมที่สุดคือจุดที่องค์อาคารทุกองค์อาคารมีความหนาแน่นของพลังงานความเครียด (strain energy density) เท่ากันในทุกองค์อาคาร

Sedaghati และ Tabarrok^[18] ได้เสนอการออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดสำหรับโครงถักในระนาบที่มีพฤติกรรมไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิต โดยใช้เงื่อนไขของความมีเสถียรภาพของโครงสร้าง ซึ่งใช้การหาค่าตอบของระบบสมการแบบไม่เชิงเส้นด้วยวิธีควบคุมการกระจัด (displacement control) และสามารถหาจุดขีดจำกัดได้ (limit point) ในการวิเคราะห์ข้ามี่เกณฑ์ว่าที่จุดเหมาะสมที่สุด คือจุดที่องค์อาคารทุกองค์อาคารมีความหนาแน่นของพลังงานความเครียด (strain energy density) เท่ากันในทุกองค์อาคาร โดยไม่พิจารณาการโก่งเดาะขององค์อาคาร และไม่พิจารณาเสถียรภาพนอกระนาบของโครงสร้าง

วีรพงษ์ ไชยสถิตวานิช^[12] ได้เสนอการออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดสำหรับโครงสร้างเหล็กแบบโครงถักระนาบที่มีพฤติกรรมไม่เชิงเส้น โดยใช้วิธีงานสมมติเพื่อหาดัชนีความไว เพื่อบ่งบอกว่าองค์อาคารใดควรปรับลด/เพิ่ม ขนาดขององค์อาคารเป็นเท่าใด และได้คำนึงถึงพฤติกรรมการโก่งเดาะเนื่องจากการตัดขององค์อาคารรับแรงอัด และการกระจัดไม่เกินค่าที่ยอมรับได้ การปรับขนาดขององค์อาคารจะใช้วิธีการปรับดัชนีความไวของทุกองค์อาคารให้มีค่าเท่ากัน หรือจนกระทั่งคำตอบเข้าสู่จุดที่เหมาะสมที่สุด จากนั้นจึงนำไปตรวจสอบการรับน้ำหนักบรรทุกทุกในแนวแกนตามมาตรฐาน AISC

ธนพล บัวมงคล^[13] ได้เสนอการออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดสำหรับโครงหลังคาเหล็กแบบโครงถักช่วงยาวที่มีพฤติกรรมไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิต โดยมีเงื่อนไขของเสถียรภาพในระนาบ และการวิเคราะห์ข้ามมีเกณฑ์ว่าที่จุดเหมาะสมที่สุดคือจุดที่องค์อาคารมีความหนาแน่นของพลังงานความเครียดเท่ากันในทุกองค์อาคาร และหลังจากนั้นจึงทำการพิจารณาตรวจสอบเสถียรภาพนอกระนาบของโครงสร้าง และการค้ำยันที่ตำแหน่งต่างๆ เพื่อป้องกันการสูญเสียเสถียรภาพนอกระนาบ

Kalyanmoy Deb, Surendra Gulati^[19] ได้เสนอการออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุด เพื่อให้ได้โครงสร้างเหล็กที่มีน้ำหนักน้อยที่สุด โดยคำนึงเพียงพฤติกรรมเชิงเส้นทางเรขาคณิต ซึ่งการหาโครงสร้างเหล็กที่มีน้ำหนักน้อยที่สุดจะหาได้จากวิธีการออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดด้วยวิธีอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม และใช้น้ำหนักของโครงสร้างทั้งหมดเป็นค่าเป้าหมาย (fitness value) และปรับแก้ขนาดหน้าตัดจนกระทั่งน้ำหนักรวมของโครงสร้างนั้นลู่เข้า ซึ่งขนาดของหน้าตัดขององค์อาคารนั้นเป็นค่าต่างๆ ไม่ได้มาจากตารางเหล็กที่ใช้ทั่วไป

Fuat Erbatur และคณะ^[20] ได้เสนอการออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดสำหรับโครงสร้างเหล็กด้วยวิธีเชิงพันธุกรรม ซึ่งในการปรับขนาดหน้าตัดขององค์อาคารนั้น จะเลือกหน้าตัดขององค์อาคารจากตารางเหล็ก โดยที่ชนิดของเหล็กที่ใช้จะพิจารณาหน้าตัดเฉพาะหน้าตัดรูปตัวไอ (I-Section) และมีน้ำหนักของโครงสร้างทั้งหมดเป็นค่าเป้าหมาย

จะเห็นได้ว่าการออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุด ที่นำมาพัฒนาเพื่อนำมาใช้ในการออกแบบโครงสร้างนั้นมีหลากหลายวิธีมาก ซึ่งในแต่ละวิธีนั้นมีข้อดีและข้อเสียต่างกัน ดังนั้นจึงควรเลือกวิธีที่เหมาะสมกับปัญหาที่จะมาทำการออกแบบ เพื่อประยุกต์ให้เหมาะสมกับงานที่ทำการศึกษา ในทางเศรษฐศาสตร์ได้มีการนำวิธีอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมมาใช้ในการออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดกันอย่างแพร่หลาย ซึ่งผลที่ได้จะเห็นว่ามีความแม่นยำสูง จึงได้เริ่มมีการนำวิธีอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมมาประยุกต์ใช้กับงานโครงสร้าง ในงานวิจัยนี้จึงได้มีการนำวิธีอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมนี้มาใช้ในการออกแบบโครงถักเหล็ก และคำนึงถึงการก่อสร้างจริงซึ่งใช้มาตรฐานการออกแบบ AISC/ASD และ AISC/LRFD เป็นเงื่อนไขในการออกแบบ โดยการวิเคราะห์นั้นจะทำการวิเคราะห์ทั้งแบบเชิงเส้น และไม่เชิงเส้น และในการวิเคราะห์แบบไม่เชิงเส้นนั้นจะพิจารณาด้วยวิธีการควบคุมน้ำหนัก (load control)

1.3. วัตถุประสงค์

- 1.) ศึกษาแนวทางการออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดของโครงถักเหล็ก ที่มีพฤติกรรมเชิงเส้นและไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิต ซึ่งได้คำนึงถึงการจัดกลุ่มขององค์อาคาร
- 2.) ศึกษาผลของพฤติกรรมแบบไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิตที่มีต่อโครงสร้าง รวมทั้งเปรียบเทียบผลที่ได้จากการออกแบบโดยใช้วิธีการวิเคราะห์แบบเชิงเส้นและไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิต
- 3.) ศึกษาการออกแบบด้วยวิธี ASD [AISC 2005]
- 4.) ศึกษาการออกแบบด้วยวิธี LRFD [AISC 2005]
- 5.) สร้างโปรแกรมสำหรับไมโครคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ และออกแบบโครงถักเหล็ก เพื่อหาความเหมาะสมที่สุดของน้ำหนักโครงสร้าง ที่สามารถใช้งานออกแบบได้จริง

1.4. ขอบเขตงานวิจัย

งานวิจัยนี้จะวิเคราะห์โครงสร้างแบบเชิงเส้นและไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิต โดยวิธีรวมสติฟเนสโดยตรง (direct stiffness method) เพื่อหาแรงภายในและการเปลี่ยนตำแหน่งของโครงถัก และมีการคำนึงโครงถักที่มีคุณสมบัติต่อไปนี้

- 1.) โครงถักมีฐานรองรับ (support) เป็นฐานรองรับชนิดหมุน (hinged support) หรือฐานรองรับชนิดลูกกลิ้ง (roller support) เท่านั้น ไม่รวมไปถึงฐานรองรับชนิดยึดแน่น (fixed support) และฐานรองรับชนิดสปริง (spring support)
- 2.) ระดับขั้นความเสรี (degree of freedom) จะพิจารณาเพียงการเคลื่อนที่ในระนาบเท่านั้น (in-plane translation) ไม่พิจารณาระดับขั้นความเสรีที่เป็นการหมุน (rotational degree of freedom) การบิดเบี้ยวออกระนาบ (warping degree of freedom) และแรงภายในจะพิจารณาเพียงผลของแรงตามแนวแกนเท่านั้น
- 3.) การโก่งเดาะจะพิจารณาเพียงการโก่งเดาะในระนาบเนื่องจากการดัดเท่านั้น (bending buckling) ไม่คำนึงถึงผลของการโก่งเดาะเฉพาะที่ (local buckling) และไม่พิจารณาการโก่งเดาะเนื่องจากการบิด (torsional buckling)
- 4.) ไม่พิจารณาผลของการเชื่อมศูนย์ที่จุดต่อ และผลของรูเจาะในองค์อาคาร
- 5.) ไม่พิจารณาผลของหน่วยแรงคงค้าง (residual stress) ขององค์อาคาร จะพิจารณาเพียงแต่ผลของหน่วยแรงคงค้างตามมาตรฐานการออกแบบของ AISC เท่านั้น
- 6.) การวิเคราะห์โครงสร้างจะวิเคราะห์แบบไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิต (geometric nonlinear analysis) เท่านั้น จะไม่พิจารณาถึงความไม่เชิงเส้นของวัสดุ (material nonlinear analysis)

7.) การออกแบบของค้ำอาคารจะทำตามมาตรฐาน AISC 2005

โดยในงานวิจัยนี้จะเน้นไปที่ที่สามารถนำมาใช้กับงานออกแบบโครงสร้างที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานได้จริง และคำนึงถึงข้อจำกัดตามข้อกำหนดในมาตรฐาน สามารถออกแบบได้อย่างประหยัด และปลอดภัย ครอบคลุมกรณีที่เกิดภาวะวิกฤตได้ถึง 4 กรณีคือ

ข้อกำหนดโดยวิธีกำลังที่ยอมให้ AISC/ASD 2005

กรณีที่ 1 DL

กรณีที่ 2 DL+LL

กรณีที่ 3 $0.75(DL+LL+WL)$

กรณีที่ 4 $0.75(DL+WL)$

กรณีที่ 5 $0.75(DL-WL)$

ข้อกำหนดโดยวิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก AISC/LRFD 2005

กรณีที่ 1 1.4DL

กรณีที่ 2 1.2DL+1.6LL

กรณีที่ 3 1.2DL+0.5LL+1.3WL

กรณีที่ 4 0.9DL+1.3WL

กรณีที่ 5 0.9DL-1.3WL

โดยที่ DL = น้ำหนักบรรทุกคงที่

LL = น้ำหนักบรรทุกจร

WL = น้ำหนักบรรทุกเนื่องจากแรงลม

ศูนย์วิจัยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทฤษฎีและแนวคิด

2.1. กล่าวนำ

ในการวิเคราะห์โครงสร้างทั่วไป เพื่อหาการตอบสนองของโครงสร้างต่อน้ำหนักบรรทุก จะสมมติว่าการเปลี่ยนตำแหน่งหรือการโก่งตัวของโครงสร้างมีค่าน้อยมาก เมื่อเทียบกับขนาดของโครงสร้าง ทำให้การวิเคราะห์โครงสร้างนั้นสามารถใช้การวิเคราะห์แบบเชิงเส้นที่มีความแม่นยำเพียงพอแล้ว แต่ในกรณีที่โครงสร้างมีความสูงมากๆ หรือมีความขรุขระมาก ซึ่งจะทำให้เกิดการเปลี่ยนตำแหน่งมากขึ้นตาม ดังนั้นการวิเคราะห์แบบเส้นตรง (linear analysis) นั้นจะให้ค่าที่ผิดพลาดอยู่มาก เนื่องจากยังไม่เป็นพฤติกรรมที่แท้จริงของโครงสร้าง ดังนั้นการเปลี่ยนตำแหน่งที่ถูกต้องสามารถหาได้จาก การวิเคราะห์แบบไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิต (geometric nonlinear analysis) โดยสมมติว่าการเปลี่ยนตำแหน่งมีค่ามาก และความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนตำแหน่ง และความเค้นไม่เป็นเส้นตรง สำหรับการแก้ปัญหาจะเริ่มจากการสร้างเมตริกซ์สติฟเนสของโครงสร้าง จากนั้นจึงใช้การวิเคราะห์ซ้ำ ซึ่งในการวิเคราะห์โดยทั่วไปนั้นจะมีหลักการวิเคราะห์อยู่หลากหลายวิธี แต่ในงานวิจัยนี้เราจะเลือกใช้วิธีการของนิวตัน-ราฟสัน ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากจะให้คำตอบที่ลู่เข้าอย่างรวดเร็วและให้ค่าที่ถูกต้องเชื่อถือได้

และสำหรับการออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดก็เช่นกัน ในปัจจุบันการออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดที่นำมาใช้ในงานออกแบบโครงสร้างนั้นได้มีการศึกษากันมาหลากหลายวิธีเช่น วิธีเกรเดียนต์ (gradient method) ซึ่งจะเห็นว่าผลที่ได้จากวิธีเหล่านี้ให้ค่าที่มีความแม่นยำพอสมควรแต่จะมีความผิดพลาดบ้าง ในบางปัญหา งานวิจัยนี้จึงได้มีการนำเสนอหลักการอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม (genetic algorithm) มาใช้ในการออกแบบโครงสร้าง เพื่อให้ได้ความแข็งแรงของโครงสร้างตามที่ต้องการตามข้อกำหนดของมาตรฐาน 2 ข้อกำหนด คือ

1. ข้อกำหนดโดยวิธีกำลังที่ยอมให้ (allowable strength design, ASD) AISC 2005
2. ข้อกำหนดโดยวิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก (load and resistance factor design, LRFD) AISC 2005

2.2. สมมติฐานในการออกแบบ

1. การถ่ายแรงของแต่ละองค์อาคารจะพิจารณาเพียงผลของแรงตามแนวแกนเท่านั้น โดยสมมติให้จุดต่อมีลักษณะเป็นข้อต่อหมุน (hinge)
2. น้ำหนักที่กระทำกับโครงสร้างให้กระทำที่จุดต่อเท่านั้น
3. ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดของวัสดุมีพฤติกรรมเป็นเส้นตรง (material linear analysis)
4. องค์อาคารทุกชิ้นส่วนอยู่ในแนวเส้นตรง (perfectly straight)
5. ในการออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดสำหรับข้อกำหนด AISC/LRFD 2005 นั้นจะไม่พิจารณาการปรับแก้กลับของการเปลี่ยนตำแหน่งเนื่องจากตัวคูณค่าความปลอดภัย

2.3. การวิเคราะห์แบบไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิต (Geometric Nonlinear Analysis)

ความไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิตเกิดขึ้นได้ถึงแม้ว่าโครงสร้างจะมีความเครียดน้อย (small strain) หรือวัสดุเป็นแบบเชิงเส้นก็ตาม ทั้งนี้เนื่องจากผลของการหมุน (finite rotation) จึงจำเป็นที่จะต้องเขียนสมการสมดุลที่จุดต่อจากเรขาคณิตของโครงสร้างในสภาพสุดท้าย การแก้ระบบสมการไม่เชิงเส้นด้วยการประมาณแบบเชิงเส้น (linear approximation) ทำให้สมดุลของโครงสร้างในแต่ละขั้นตอนไม่แม่นยำ ดังนั้นในแต่ละขั้นตอนต้องทำการทำซ้ำเพื่อให้ได้สมดุลที่ใกล้เคียงกับสมดุลแม่นยำ โดยใช้สูตรของลากรองจ์ที่ปรับปรุงแล้ว (updated Lagrangian formulation) สมการสมดุลจะเขียนในรูปของเมตริกซ์ได้เป็น

$$([K_e] + [K_g])\{\Delta U\} = \{\Delta F_{ext}\} \quad (2-1)$$

โดยที่ $[K_e]$ = เมตริกซ์สติฟเนสยืดหยุ่นเชิงเส้น (elastic stiffness matrix)

$[K_g]$ = เมตริกซ์สติฟเนสยืดหยุ่นไม่เชิงเส้นลำดับที่สอง (geometric stiffness matrix)

$\{\Delta F_{ext}\}$ = เวกเตอร์ของผลต่างของแรงภายนอก

$\{\Delta U\}$ = เวกเตอร์ผลต่างของการกระจัด

โดยที่
$$[K_e] = \frac{AE}{L} \begin{bmatrix} [S] & -[S] \\ -[S] & [S] \end{bmatrix} \quad (2-2)$$

$$[K_g] = \frac{F_x}{L} \begin{bmatrix} [I] & -[I] \\ -[I] & [I] \end{bmatrix} \quad (2-3)$$

และ
$$[S] = \begin{bmatrix} l^2 & ml & nl \\ lm & m^2 & nm \\ ln & mn & n^2 \end{bmatrix}, l = \cos \theta_x, m = \cos \theta_y, n = \cos \theta_z \quad (2-4)$$

$$[I] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2-5)$$

โดยที่ F_x = แรงแนวแกนภายในมีเครื่องหมายเป็นบวกเมื่อเป็นแรงดึง และตรงข้ามเป็นลบเมื่อเป็นแรงอัด

L = ความยาวขององค์อาคาร

A = พื้นที่หน้าตัดขององค์อาคาร

E = ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของวัสดุ

$\theta_x, \theta_y, \theta_z$ = มุมที่วัดจากแกน x,y,z ของระบบพิกัดตามลำดับ

การแก้ระบบสมการแบบไม่เชิงเส้นจะใช้วิธีนิวตันราฟสัน (Newton-Raphson scheme) โดยการควบคุมน้ำหนักบรรทุก (load control)

2.4. การออกแบบโครงสร้างเหล็กตามมาตรฐาน AISC/ASD และ AISC/LRFD

แรงอัดและแรงดึงที่ได้จากการวิเคราะห์โครงสร้างจะถูกนำมาออกแบบตามข้อกำหนด เพื่อให้องค์อาคารสามารถรับแรงได้อย่างปลอดภัยตามมาตรฐานของแต่ละข้อกำหนด ซึ่งในงานวิจัยนี้จะเสนอแนวทางในการออกแบบ 2 ข้อกำหนด คือ AISC/ASD และ AISC/LRFD

2.4.1. วิธีกำลังที่ยอมให้ (Allowable Strength Design, ASD) ของ AISC 2005

วิธี ASD นี้ใช้หลักการของกำลังที่ยอมให้ของหน้าตัดขององค์อาคาร และมีตัวคูณความปลอดภัยที่เหมาะสม โดยสามารถเขียนสมการได้ดังนี้

กำลังที่ต้องการ \leq กำลังที่ใช้ในการออกแบบ

$$\sum R_a \leq R_n / \Omega \quad (2-6)$$

โดยที่ R_a = น้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อองค์อาคาร

R_n = ค่ากำลังต้านทานขององค์อาคาร

Ω = ตัวคูณความปลอดภัย (safety factor)

ในการออกแบบต้องพิจารณาจัดรวมน้ำหนักหรือแรงกระทำต่างๆ เพื่อให้ได้น้ำหนักบรรทุกใช้งานสูงสุดที่กระทำต่อโครงสร้างดังนี้

กรณีที่ 1 DL (2-7)

กรณีที่ 2 DL+LL (2-8)

กรณีที่ 3 0.75(DL+LL+WL) (2-9)

กรณีที่ 4 0.75(DL+WL) (2-10)

กรณีที่ 5 0.75(DL-WL) (2-11)

โดยที่ DL = น้ำหนักบรรทุกคงที่

LL = น้ำหนักบรรทุกจร

WL = น้ำหนักบรรทุกเนื่องจากลม

2.4.1.1. องค์อาคารรับแรงดึง

สมมติให้หน่วยแรงดึงรับแรงดึงกระจายตลอดทั้งหน้าตัดขององค์อาคาร จะหาค่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่องค์อาคารรับได้คือ

$$T_a = \frac{F_y A_g}{\Omega} \quad (2-12)$$

โดยที่ T_a = แรงดึงที่ยอมให้
 F_y = หน่วยแรงที่จุดคราก
 A_g = เนื้อที่หน้าตัดทั้งหมด
 Ω_c = ค่าสัมประสิทธิ์ความปลอดภัย = 1.67

2.4.1.2. องค์อาคารรับแรงอัด

หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ขององค์อาคารจะมีค่าขึ้นอยู่กับอัตราส่วนความชะลูดขององค์อาคาร

$$\lambda = \frac{KL}{r} \quad (2-13)$$

โดยที่ λ = อัตราส่วนความชะลูด
 K = สัมประสิทธิ์ความยาวประสิทธิผล
 L = ความยาวอิสระที่ไม่มีการยึดด้านข้าง
 r = รัศมีไจเรชัน

การพิจารณาออกแบบเสานั้นจะทำการพิจารณาออกเป็น 2 ช่วง คือเสาที่มีพฤติกรรมในช่วงอีลาสติก และไม่อีลาสติก โดยมีเกณฑ์ที่ใช้แบ่งช่วงพฤติกรรมของเสาคือช่วงที่ $f_{cr} = F_y / 2$ ซึ่งจะทำให้ได้

$$\lambda_c = 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (2-14)$$

2.4.1.2.1. หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ในช่วงอีลาสติก

เมื่อ $\lambda \geq \lambda_c$ เสาจะมีพฤติกรรมการโก่งเดาะในช่วงอีลาสติก ซึ่งสามารถหาหน่วยแรงอัดที่ยอมให้ได้จากสมการออยเลอร์

$$P_a = \left(0.658^{\frac{F_y}{F_c}} \right) \frac{F_y A_g}{\Omega_c} \quad (2-15)$$

โดยที่ P_a = แรงอัดที่ยอมให้

$$F_e = \text{หน่วยแรงของออยเลอร์} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2}$$

A_g = เนื้อที่หน้าตัดทั้งหมด

Ω_c = ค่าสัมประสิทธิ์ความปลอดภัย = 1.67

2.4.1.2.2. หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ในช่วงไม้อีลาสติก

เมื่อ $\lambda < \lambda_c$ เสาจะมีพฤติกรรมการโก่งเคาะในช่วงไม้อีลาสติก ซึ่งสามารถหาหน่วยแรงอัดที่ยอมให้ได้จากโค้ง SSRC

$$P_a = \frac{0.877 F_e A_g}{\Omega_c} \quad (2-16)$$

โดยที่ P_a = แรงอัดที่ยอมให้

$$F_e = \text{หน่วยแรงของออยเลอร์} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2}$$

A_g = เนื้อที่หน้าตัดทั้งหมด

Ω_c = ค่าสัมประสิทธิ์ความปลอดภัย = 1.67

2.4.1.3. อัตราส่วนความชะลูด

อัตราส่วนความชะลูดเป็นข้อกำหนดอย่างต่ำไม่ให้องค์อาคารมีความชะลูดเกินไป จนเกิดการโก่งเคาะในระนาบ สำหรับองค์อาคารที่รับแรงอัดอัตราส่วนความชะลูดต้องไม่เกิน 200 และสำหรับองค์อาคารที่รับแรงดึงอัตราส่วนความชะลูดต้องไม่เกิน 300

2.4.2. วิธีคำนวณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก (Load and Resistance Factor Design, LRFD) ของ AISC 2005

วิธี LRFD นี้ใช้หลักการของภาวะสุดขีด โดยมีสัดส่วนความปลอดภัยที่เหมาะสม จากการเทียบเคียงกำลังรับน้ำหนักบรรทุกโครงสร้าง ขณะที่โครงสร้างนั้นอยู่ในสภาวะที่ใกล้จะวิบัติ เขียนสมการได้ดังนี้

กำลังที่ต้องการ \leq กำลังที่ใช้ในการออกแบบ

$$\sum \gamma_i Q_i \leq \phi R_n \quad (2-17)$$

โดยที่ Q_i = น้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อองค์อาคาร

γ_i = ตัวคูณน้ำหนักบรรทุก (load factor)

R_n = ค่ากำลังต้านทานขององค์อาคาร

ϕ = ตัวคูณความต้านทาน (resistance factor)

ค่าตัวคูณน้ำหนักบรรทุก (load factor) ประเภทต่างๆที่กำหนดไว้ดังนี้

$$1.4DL \quad (2-18)$$

$$1.2DL+1.6LL+0.5(LL_r \text{ หรือ } SL \text{ หรือ } RL) \quad (2-19)$$

$$1.2DL+1.6(LL_r \text{ หรือ } SL \text{ หรือ } RL)+(0.5LL \text{ หรือ } 0.8WL) \quad (2-20)$$

$$1.2DL+1.3WL+0.5LL+0.5(LL_r \text{ หรือ } SL \text{ หรือ } RL) \quad (2-21)$$

$$1.2DL+1.0E+0.5LL+0.2SL \quad (2-22)$$

$$0.9DL \pm (1.3WL \text{ หรือ } 1.0EL) \quad (2-23)$$

โดยที่ DL = น้ำหนักบรรทุกคงที่

LL = น้ำหนักบรรทุกจร

LL_r = น้ำหนักบรรทุกจรบนหลังคา

RL = น้ำหนักบรรทุกเนื่องจากฝน

SL = น้ำหนักบรรทุกเนื่องจากหิมะ

WL = น้ำหนักบรรทุกเนื่องจากลม

EL = น้ำหนักบรรทุกเนื่องจากแรงแผ่นดินไหว

สำหรับประเทศไทยนั้น อิทธิพลของน้ำหนักที่กระทำกับโครงสร้างโดยมากจะมาจาก DL, LL, LL_r และ WL ดังนั้นจึงเลือกพิจารณากรณีที่ทำให้เกิดแรงภายในองค์อาคารมากที่สุด สำหรับงานวิจัยนี้ ได้ใช้การรวมน้ำหนักบรรทุก 4 กรณี ดังนี้

$$\text{กรณีที่ 1} \quad 1.4DL \quad (2-24)$$

$$\text{กรณีที่ 2} \quad 1.2DL+1.6LL \quad (2-25)$$

$$\text{กรณีที่ 3} \quad 1.2DL+0.5LL+1.3WL \quad (2-26)$$

$$\text{กรณีที่ 4} \quad 0.9DL \pm 1.3WL \quad (2-27)$$

2.4.2.1. องค์กรรับแรงดึง

สมมติให้หน่วยแรงดึงรับแรงดึงกระจายตลอดทั้งหน้าตัดขององค์กรรับแรงดึง จะหาค่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่องค์กรรับได้คือ

$$T_u \leq \phi_t T_n = 0.90 F_y A_g \quad (2-28)$$

โดยที่ ϕ_t = ค่าตัวคูณลดสำหรับแรงดึง

T_n = กำลังรับแรงดึงในแนวแกน

F_y = หน่วยแรงที่จุดคราก

A_g = เนื้อที่หน้าตัดทั้งหมด

2.4.2.2. องค์กรรับแรงอัด

หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ขององค์กรจะมีค่าขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ความชะลูดขององค์กร

$$\lambda = \frac{KL}{r} \quad (2-29)$$

โดยที่ λ = อัตราส่วนความชะลูด

K = สัมประสิทธิ์ความยาวประสิทธิผล

L = ความยาวอิสระที่ไม่มีการยึดด้านข้าง

r = รัศมีไจเรชัน

การพิจารณาออกแบบเสานั้นจะทำการพิจารณาออกเป็น 2 ช่วง คือเสาที่มีพฤติกรรมในช่วงอีลาสติก และไม่อีลาสติก โดยมีเกณฑ์ที่ใช้แบ่งช่วงพฤติกรรมของเสา คือ $\lambda_c = 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$

2.4.2.2.1. หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ในช่วงอีลาสติก

เมื่อ $\lambda \geq \lambda_c$ เสาจะมีพฤติกรรมการโก่งเดาะในช่วงอีลาสติก ซึ่งสามารถหาหน่วยแรงอัดวิกฤตได้จากสมการ

$$P_u = \phi_c \left(0.658^{F_y/F_e} \right) F_y A_g \quad (2-30)$$

โดยที่ P_u = แรงอัดประลัย

$$F_e = \text{หน่วยแรงของออยเลอร์} = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2}$$

A_g = เนื้อที่หน้าตัดทั้งหมด

ϕ_c = ตัวคูณความต้านทาน = 0.90

2.4.2.2.2. หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ในช่วงไม่อีลาสติก

เมื่อ $\lambda < \lambda_c$ เสาจะมีพฤติกรรมการโก่งเดาะในช่วงอินอีลาสติก ซึ่งสามารถหาหน่วยแรงอัดวิกฤตได้จากสมการ

$$P_u = \phi_c 0.877 F_e A_g \quad (2-31)$$

โดยที่ P_u = แรงอัดประลัย

$$F_e = \text{หน่วยแรงของออยเลอร์} = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2}$$

A_g = เนื้อที่หน้าตัดทั้งหมด

ϕ_c = ตัวคูณความต้านทาน = 0.90

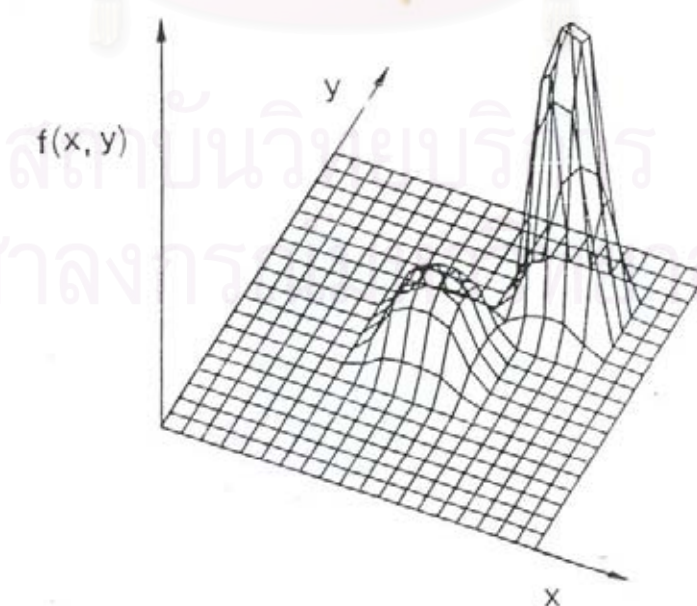
2.4.2.3. อัตราส่วนความชะลูด

อัตราส่วนความชะลูดเป็นข้อกำหนดอย่างต่ำไม่ให้องค์อาคารมีความชะลูดเกินไป จนเกิดการโก่งเดาะในระนาบ สำหรับองค์อาคารที่รับแรงอัดอัตราส่วนความชะลูดต้องไม่เกิน 200 และสำหรับองค์อาคารที่รับแรงดึงอัตราส่วนความชะลูดต้องไม่เกิน 300

2.5. การออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุด

การออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดด้วยวิธีอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม (genetic algorithm) เป็นหลักการของการออกแบบอย่างเหมาะสม ซึ่งจะลดปัญหาต่างๆที่เคยพบเจอจากวิธีอื่นๆลง ซึ่งวิธีอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมนี้ต่างจากการออกแบบอย่างเหมาะสมทั่วไปคือ

1. การออกแบบด้วยวิธีอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมจะทำงานด้วยรหัสซึ่งได้จากตัวแปรต้น มิใช่ตัวแปรต้นเอง
2. การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมหาจากการสุ่มค่าจากหลายจุด มิใช่จุดเดียว
3. การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม ใช้การเปรียบเทียบจากค่าที่ได้จากฟังก์ชันวัตถุประสงค์ มิใช่ค่าอนุพันธ์ของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ซึ่งจะช่วยให้พบเจอจุดที่ให้ค่าเหมาะสมที่สุดเฉพาะที่ ทำให้ค่าที่เหมาะสมที่ได้ อาจไม่เป็นค่าเหมาะสมที่สุด เนื่องจากใช้สมมติฐานว่าจุดที่ให้ค่าเหมาะสมที่สุดคือจุดที่มีค่าอนุพันธ์เท่ากับศูนย์ ดังรูปที่ 2.1 ซึ่งจะเห็นว่าจุดสูงสุดที่หาได้นั้นมีความเป็นไปได้ว่าเป็นจุดสูงสุดเฉพาะที่
4. วิธีอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมหาค่าเหมาะสมด้วยหลักการลู่เข้าของค่าจากกฎความน่าจะเป็น มิใช่การหาค่าที่ลู่เข้าเนื่องจากแนวโน้ม ทิศทางที่จะไปหาค่าที่เหมาะสมที่สุดจากอนุพันธ์ของสมการ



รูปที่ 2.1 ภาพสมการที่มีจุดสูงสุดหลายจุด^[14]

การออกแบบอย่างเหมาะสมนั้นในแต่ละวิธีจะมีประสิทธิภาพต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของปัญหานั้นๆ หากวิธีที่ใช้ในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดนั้น เป็นวิธีที่เหมาะสมกับชนิดของปัญหาที่ต้องการทำการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดนั้น การออกแบบหาค่าที่เหมาะสมที่สุดจะเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ แต่หากเลือกใช้ผิดจะให้ผลที่ไม่น่าพึงพอใจเช่นเดียวกัน แต่ในวิธีอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมนั้นสามารถใช้ได้กับปัญหาทุกปัญหาเพราะผลที่ได้จะให้ผลที่มีประสิทธิภาพสูงในทุกปัญหา แม้อาจไม่มีประสิทธิภาพสูงสุดก็ตาม

การออกแบบอย่างเหมาะสมด้วยวิธีอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมนั้นจะให้ผลดีเป็นที่น่าพอใจ ประกอบด้วยกระบวนการ 3 อย่างด้วยกันคือ

1. การสืบสกุล (reproduction)
2. การผสมข้ามพันธุ์ (crossover)
3. การกลายพันธุ์ (mutation)

การสืบสกุล(reproduction) คือกระบวนการคัดเลือกข้อมูลต่างๆจากค่าจากฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในแต่ละชุดข้อมูล โดยจะทำการคัดเลือกข้อมูลจากการเปรียบเทียบข้อมูลหลายๆตัวดังตารางที่ 2.1 ซึ่งตารางที่ 2.1 นี้เป็นตารางแสดงตัวอย่างของการสืบสกุล ในการทำการออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดด้วยวิธีอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม เมื่อกำหนดให้มีชุดข้อมูลเริ่มต้น 4 ชุดและรหัสของแต่ละชุดข้อมูลเกิดจากแปลงตัวแปรต้นเป็นเลขฐาน 2 และมีฟังก์ชันวัตถุประสงค์คือ $f(x)=x^2$ โดยการออกแบบนี้จะทำการหาจุดสูงสุดของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ จะเห็นว่าจากตารางนี้ชุดข้อมูลที่ 2 จะให้ค่าเป้าหมายสูงสุด ข้อมูลที่ 3 เป็นข้อมูลที่ให้ค่าเป้าหมายต่ำที่สุดเมื่อทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลทั้ง 4 ชุดที่ถูกกำหนดมา จะเห็นได้ว่าขั้นตอนนี้เป็นเพียงการคัดเลือกเปรียบเทียบชุดข้อมูลที่ดีและไม่ดี เพื่อหาค่าเหมาะสมที่สุด

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างของการสืบสกุล (reproduction)

ชุดข้อมูล	รหัสชุดข้อมูล	x	ค่าเป้าหมาย (fitness)	% ของทั้งหมด
1	01101	13	169	14.4
2	11000	24	576	49.2
3	01000	8	64	5.5
4	10011	19	361	30.9
รวม			1170	100.0

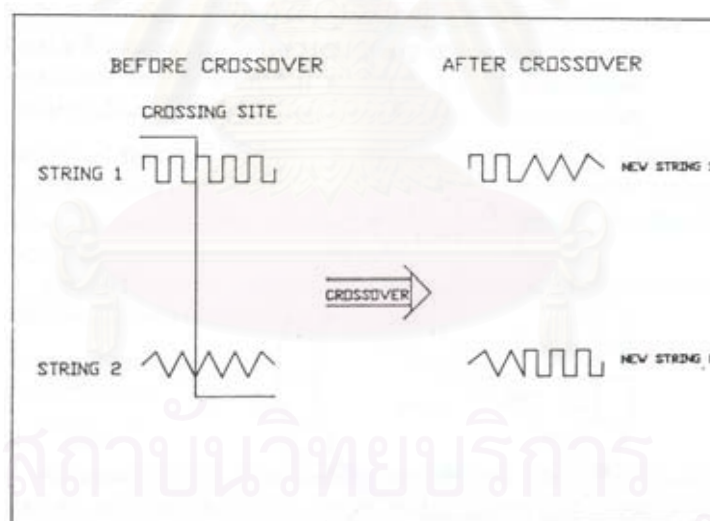
หลังจากการสืบสกุลแล้วขั้นตอนต่อไปจะต้องทำการผสมข้ามพันธุ์ซึ่งเป็นกระบวนการสร้างชุดข้อมูลใหม่จากรหัสข้อมูลเดิมที่ให้ผลที่ดี โดยจะมีสมมติฐานว่าหากมีชุดข้อมูลที่ดี 2 ชุดแล้ว หากนำชุดข้อมูลเหล่านั้นมาผสมกัน จะก่อให้เกิดชุดข้อมูลใหม่ที่จะให้ผลที่ไม่แย่ไปกว่าเดิม ในการผสมข้ามพันธุ์นี้จะทำการสลับรหัสข้อมูล ที่ตำแหน่งใดๆที่ได้จากการสุ่มของข้อมูล 2 ชุดเพื่อให้ได้ข้อมูล 2 ชุดใหม่ที่มีแนวโน้มว่าจะให้ค่าที่ดีขึ้นมา และการสลับรหัสข้อมูลจะทำการสุ่มตำแหน่งของการสลับดังตัวอย่างข้อล่าง ซึ่งสุ่มได้ว่าจะต้องมีการสลับที่ตำแหน่งที่ 4 ของรหัสข้อมูล

$$\begin{array}{l} A_1 = 0 \ 1 \ 1 \ 0 \\ A_2 = 1 \ 1 \ 0 \ 0 \end{array} \left| \begin{array}{l} 1 \\ 0 \end{array} \right. \begin{array}{l} \curvearrowright \\ \curvearrowleft \end{array}$$

หลังจากการผสมข้ามพันธุ์จะทำให้ได้ชุดข้อมูลชุดใหม่ขึ้นมา ซึ่งถือว่าเป็นข้อมูลรุ่นใหม่

$$A'_1 = 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0$$

$$A'_2 = 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1$$



รูปที่ 2.2 ภาพการผสมข้ามพันธุ์ข้อมูล

ในการออกแบบอย่างเหมาะสมด้วยวิธีอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมนั้น จะใช้วิธีการ การสืบสกุล และการผสมข้ามพันธุ์เป็นหลัก แต่หากการทำงานเมื่อมีการทำซ้ำหลายๆรอบแล้ว ยังคงไม่หาค่าที่เหมาะสมที่สุดนั้นจะต้องทำการกลายพันธุ์เพิ่ม เนื่องจากหากทำการสืบสกุลและผสมข้ามพันธุ์แล้ว อาจมีบางกรณีที่รหัสข้อมูลบางตำแหน่งไม่ถูกเปลี่ยนแปลง จนค่าเป้าหมายที่ได้ไม่ใช่ว่าค่าที่เหมาะสมที่สุด โดยจะทำการหาตำแหน่งของรหัสข้อมูลที่ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง และทำการเปลี่ยนแปลงรหัสข้อมูลใน

ตำแหน่งนั้นเพื่อสร้างข้อมูลชุดใหม่ขึ้นมาอีกครั้งหนึ่ง และหลังจากนั้นจึงทำการสืบสกุลและการผสมข้ามพันธุ์ต่อไป ซึ่งการทำกรกลายพันธุ์ จะมีการกำหนดจำนวนครั้งในการทำซ้ำ หากครบจำนวนครั้งตามที่กำหนดแล้วจึงจะทำการกลายพันธุ์ข้อมูลเพื่อให้การสุ่มหาค่าเป้าหมาย(fitness value) นั้นสุ่มหาจนทั่วข้อมูลที่เป็นไปได้ทั้งหมด การออกแบบอย่างเหมาะสมด้วยวิธีอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมนี้จะทำจนกระทั่งชุดข้อมูลในแต่ละยุคข้อมูล(generation) มีการให้ค่าเป้าหมายคู่แข่ง ซึ่งจะตั้งสมมติฐานได้ว่าจุดนั้นเป็นจุดที่ให้ค่าที่เหมาะสมที่สุด

ตัวอย่างที่ 1 หาค่าที่สูงที่สุดของ $f(x, y) = -x^2 - y^2 + 10x + 4y$ โดย $0 \leq x \leq 7$ และ $0 \leq y \leq 7$

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดให้ใช้ชุดข้อมูล 4 ชุด

ขั้นตอนที่ 2 ทำการเข้ารหัสข้อมูล โดยจะทำการแปลงข้อมูลของตัวแปรต้น x และ y จากเลขฐาน 10 เป็นเลขฐาน 2 และนำตัวแปรต้นทั้ง 2 ที่ถูกแปลงเป็นเลขฐาน 2 มาเรียงต่อกันเพื่อเป็นรหัสข้อมูลเช่น สุ่มตัวแปรต้น x ได้ 6 และ y ได้ 4 เมื่อนำมาแปลงเป็นเลขฐาน 2 จะได้ 110 สำหรับ x และ 100 สำหรับ y และหากนำมาเข้าเป็นรหัสข้อมูลจะได้เป็น 110100 จากนั้นก็ทำการสุ่มค่าตัวแปรต้นต่อไปเพื่อให้ได้ชุดข้อมูลเป็น 4 ชุดด้วยกัน

$$\begin{array}{l} \begin{array}{cc} x & y \end{array} \\ A_1 = 1 \ 1 \ 0 \mid 1 \ 0 \ 0 \\ A_2 = 0 \ 0 \ 1 \mid 0 \ 0 \ 1 \\ A_3 = 1 \ 0 \ 0 \mid 1 \ 1 \ 0 \\ A_4 = 0 \ 1 \ 1 \mid 1 \ 0 \ 1 \end{array}$$

ขั้นตอนที่ 3 ทำการสืบสกุล (reproduction) ได้ผลดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างของการสืบสกุล (reproduction) ตัวอย่างที่ 1

ชุดข้อมูล	รหัสชุดข้อมูล	x	y	ค่าเป้าหมาย (fitness)	% ของทั้งหมด
1	110100	6	4	24	38
2	001001	1	1	12	19
3	100110	4	6	12	19
4	011101	3	5	16	25
รวม				64	100.0

ซึ่งในข้อมูลรุ่นนี้จะพบว่า A_1 ให้ค่าเป้าหมายสูงที่สุดเท่ากับ 24 หลังจากนั้นจะนำข้อมูลทั้งหมดไปสู่กระบวนการอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมต่อไป

ขั้นตอนที่ 4 ทำการผสมข้ามพันธุ (crossover) ซึ่งจะทำการผสมระหว่างชุดข้อมูลที่ 1 กับ 2 และชุดข้อมูลที่ 3 กับ 4 โดยจะทำการสุ่มตำแหน่งที่จะทำการผสมข้ามพันธุ ซึ่งได้ตำแหน่งที่ 2 สำหรับ x และตำแหน่งที่ 1 สำหรับ y ในการผสมชุดข้อมูลที่ 1 กับ 2 และ ตำแหน่งที่ 1 สำหรับ x และ y ในการผสมชุดข้อมูลที่ 3 กับ 4 ได้ผลดังแสดง

$$A_1 = \begin{array}{cccc|cc} 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ \curvearrowright & \curvearrowright & \curvearrowright & \curvearrowright & & \end{array}$$

$$A_2 = \begin{array}{cc|cc} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{array}$$

หลังจากการผสมข้ามพันธุจะทำให้ได้ชุดข้อมูลชุดใหม่ขึ้นมา ซึ่งถือว่าเป็นข้อมูลรุ่นใหม่

$$A'_1 = \begin{array}{cccccc} 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array}$$

เช่นเดียวกันจะได้

$$A'_3 = \begin{array}{cccccc} 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \end{array}$$

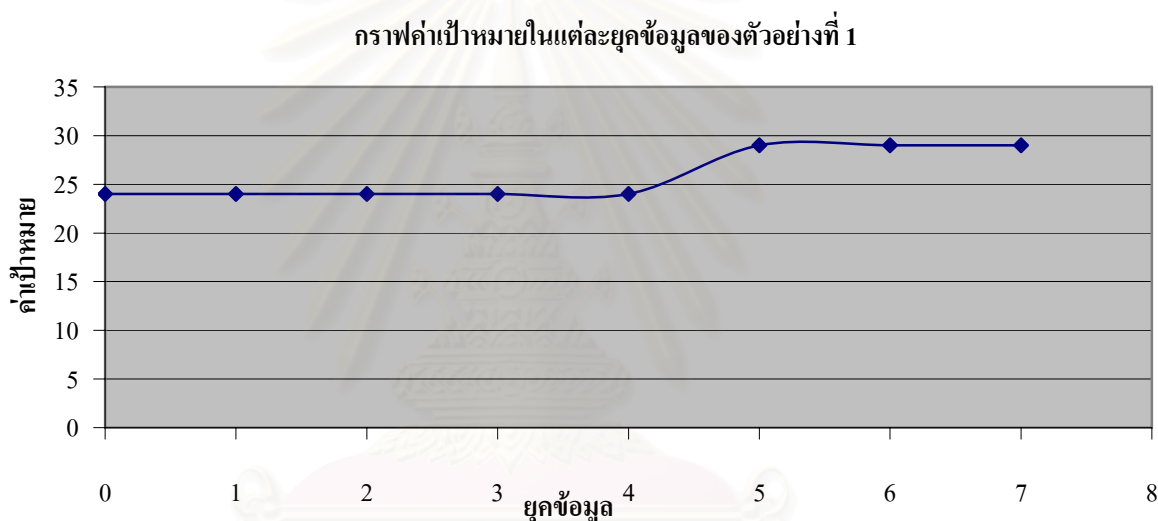
และเพื่อเป็นการยืนยันว่าค่าเป้าหมายที่ได้ในแต่ละยุคจะต้องดีขึ้น จึงมีการเก็บรหัสข้อมูลที่ดีที่สุดไว้เพิ่มอีก 1 รหัสจะได้ $A_5 = \begin{array}{cccccc} 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{array}$ และเมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการผสมข้ามพันธุทั้งหมดมาพิจารณาจะให้ค่าเป้าหมายสูงสุดที่รหัส A_5 ซึ่งมีค่าเป้าหมายเท่ากับ 24 เช่นเดิม

ขั้นตอนที่ 5 ทำการสืบสกุล และผสมข้ามพันธุใหม่เข้าไปเรื่อยๆ จะได้ค่าที่ไม่สูงขึ้นเนื่องจากมีข้อมูลในรหัสบางตัวไม่ถูกเปลี่ยน จึงทำการกลายพันธุ (mutation) ซึ่งในกรณีตั้งอย่างนี้หากทำได้ 4 ยุคข้อมูลแล้ว จะทำให้ตำแหน่งที่ 5 ของรหัสข้อมูลไม่เปลี่ยนแปลงแล้วจึงทำการกลายพันธุที่ตำแหน่งนี้

$$A_2^IV = 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1 - \Leftrightarrow A_2^V = 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1$$

ขั้นตอนที่ 6 ทำกระบวนการอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมต่อไปจนให้ค่าที่สูงสุด ซึ่งจะได้ $x = 5$ และ $y = 2$ และให้ค่าเป้าหมายคือ $f(5,2) = 29$ จากตัวอย่างนี้จะทำการออกแบบด้วยวิธีอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมทั้งหมด 5 ยุคจึงจะให้ค่าที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งในแต่ละยุคจะให้ค่าเป้าหมายดังนี้

Fitness 0 = 24, Fitness 1 = 24, Fitness 2 = 24, Fitness 3 = 24, Fitness 4 = 24,
Fitness 5 = 29, Fitness 6 = 29, Fitness 7 = 29



รูปที่ 2.3 กราฟค่าเป้าหมาย(fitness)ในแต่ละยุคข้อมูลของตัวอย่างที่ 1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

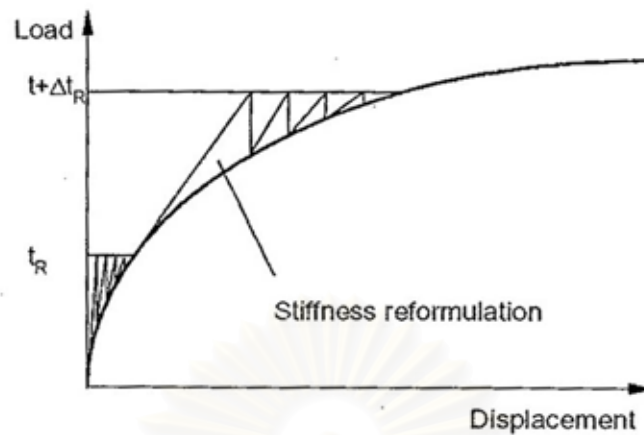
เทคนิคการแก้ระบบสมการไม่เชิงเส้นและวิธีการปรับเปลี่ยนอัตโนมัติที่ใช้ในงานวิจัย

3.1 กล่าวนำ

ในปัจจุบันการวิเคราะห์แก้สมการไม่เชิงเส้นนั้นมีได้หลากหลายวิธี ซึ่งในแต่ละวิธีก็จะมีข้อดีและข้อเสียต่างกัน โดยวิธีการแก้สมการไม่เชิงเส้นนี้ได้ถูกรวบรวมไว้ในเอกสารอ้างอิง [21]

วิธีแต่ละวิธีต่างก็มีวิธีการเขียนสมการต่างกันออกไป ซึ่งโดยทั่วไปแล้ววิธีที่เป็นพื้นฐานที่สุดสำหรับการวิเคราะห์ปัญหาไม่เชิงเส้นนี้ได้แก่ วิธีเพิ่มทีละขั้น (incremental หรือ simple euler integration) ซึ่งวิธีการนี้ต้องการการแบ่งช่วง (load increment) ที่เล็กพอ เพื่อไม่ให้คำตอบออกนอกเส้นทางของความสมดุล (equilibrium path) มากเกินไปซึ่งจะทำให้การคำนวณนั้นใช้เวลามากหากเปรียบเทียบกับวิธีอื่นๆ ส่วนอีกวิธีนั้นคือวิธีทำซ้ำของนิวตัน-ราฟสัน (Newton-Raphson iterations) ซึ่งในแต่ละครั้งของการทำซ้ำนั้นจะใช้ค่าสตีเฟนสสัมพัทธ์ (tangent stiffness) เป็นตัวคำนวณเพื่อลู่สู่เส้นทางของความสมดุลตลอดในทุกครั้งของการทำซ้ำ แต่วิธีนี้จะทำให้การลู่เข้าของคำตอบทำได้ไม่คืบคั้น และเสถียรภาพเชิงตัวเลข (numerical stability) ที่ไม่ดีเมื่อคำตอบเข้าใกล้จุดขีดจำกัด (limit point) จึงได้มีการนำมาพัฒนาขึ้นอีกครั้งเป็นวิธีของนิวตัน-ราฟสันที่ดัดแปลงแล้ว (modified Newton-Raphson iterations) ซึ่งในวิธีนี้จะใช้สตีเฟนสสัมพัทธ์ เฉพาะตอนเริ่มต้นเท่านั้น ซึ่งวิธีนี้จะมีเสถียรภาพเชิงตัวเลข ดีกว่าวิธีของนิวตัน-ราฟสันแบบธรรมดา แต่จำนวนรอบของการทำซ้ำจะเพิ่มขึ้น

ในงานวิจัยนี้เลือกใช้วิธีนิวตัน-ราฟสันที่ดัดแปลงแล้ว โดยการควบคุมน้ำหนักบรรทุก (modified Newton-Raphson iterations with load control) เนื่องจากวิธีนี้เป็นวิธีที่มีเสถียรภาพเชิงตัวเลขดี และไม่ใช้เวลาในการคำนวณที่มากจนเกินไป ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ขั้นตอนต่างๆ สรุปแสดงในภาคผนวก



รูปที่ 3.1 วิธีนิวตัน-ราฟสันที่ดัดแปลงแล้ว(modified Newton-Raphson iterations)

3.2. เทคนิคการทำซ้ำ (Incremental-Iterative Solution Technique)

กำหนดให้ i คือดัชนีของจำนวนช่วง และ j คือดัชนีของการทำซ้ำ ในช่วง i ใดๆ จะมีการทำซ้ำตามขั้นตอนดังนี้

รอบแรกของการทำซ้ำ, $j=1$

จากสมการ

$$[K_I]_i \{\delta_I\}_i = \{F_I\}_i \quad (3-1)$$

โดยที่ $[K_I]_i$ = สติฟเนสสัมผัสเริ่มต้น

$\{F_I\}_i$ = เวกเตอร์ของแรงภายนอกที่ใช้อ้างอิง (ปกติมักจะใช้แรงภายนอกที่กำหนดเป็นแรงอ้างอิง)

$\{\delta_I\}_i$ = เวกเตอร์การกระจัดสัมผัส

เมื่อกำหนดให้ $\Delta\lambda_i^1$ คือตัวคูณการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักบรรทุก จะสามารถหาการเปลี่ยนแปลงของเวกเตอร์การกระจัดได้จากการปรับขนาดของเวกเตอร์การกระจัดสัมผัส $\{\delta_I\}_i$ ดังนี้

$$\{\Delta\delta\}_i^1 = \Delta\lambda_i^1 \{\delta_I\}_i \quad (3-2)$$

เวกเตอร์การกระจัดทั้งหมดหาได้จาก

$$\{\delta_I\}_i = \{\delta_I\}_{i-1} + \{\Delta\delta\}_i^1 \quad (3-3)$$

$$\lambda_i^1 = \lambda_{i-1} + \Delta\lambda_i^1 \quad (3-4)$$

รอบแรกของการทำซ้ำ, $j \geq 2$

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในตอนต้น วิธีนิวตัน-ราฟสันแบบธรรมดา หรือวิธีนิวตัน-ราฟสันที่ตัดแปลงแล้ว จะให้คำตอบที่ไม่ดีนักเมื่อเข้าใกล้จุดขีดจำกัด เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักบรรทุกที่คงที่ ดังนั้นตัวคูณการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักบรรทุก $\Delta\lambda_i^1$ จึงต้องมีการเปลี่ยนแปลงไปตามความเหมาะสมที่สุดเพื่อให้ได้คำตอบที่เข้าใกล้จุดขีดจำกัด ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อวิธีการปรับเปลี่ยน (adaptive scheme) โดยมีหลักขั้นตอนหาการเปลี่ยนแปลงของเวกเตอร์การกระจัดดังนี้

$$[K_I]_i \{\Delta\delta\}_i^j = \Delta\lambda_i^j \{F_I\}_i - \{\Psi\}_i^{j-1} \quad (3-5)$$

$$\text{โดยที่ } \{\Psi\}_i^{j-1} = \{F_{\text{int}}\}_i^{j-1} - \{F_{\text{ext}}\}_i^{j-1} \quad (3-6)$$

- เมื่อ
- $\{\Psi\}$ = เวกเตอร์ของแรงคงค้าง
 - $\{F_{\text{int}}\}$ = เวกเตอร์ของแรงภายใน
 - $\{F_{\text{ext}}\}$ = เวกเตอร์ของแรงภายนอก
 - $\{\Delta\delta\}$ = เวกเตอร์การกระจัดส่วนที่เปลี่ยน (incremental displacement vector)

โดยที่ $\{F_{\text{int}}\}$ สามารถหาได้จาก

$$\{F_{\text{int}}\}_i^{j-1} = \int_V [B]_i^{j-1} \{\sigma\}_i^{j-1} dv \quad (3-7)$$

- เมื่อ
- $[B]$ = เมตริกซ์ความเครียด (strain matrix) ที่มีพจน์ของความไม่เชิงเส้น
 - $\{\sigma\}$ = เวกเตอร์ของความเค้น
 - V = ปริมาตร

และ $\{F_{ext}\}$ สามารถหาได้จาก

$$\{F_{ext}\}_i^{j-1} = \lambda_i^{j-1} \{F_I\}_i \quad (3-8)$$

จากสมการที่ (3-5) สามารถนำมาเขียนได้เป็น

$$\{\Delta\delta\}_i^j = \Delta\lambda_i^j \{\delta_I\}_i + \{\Delta\delta_R\}_i^j \quad (3-9)$$

เมื่อ $\{\Delta\delta_R\}$ = เวกเตอร์การกระจัดคงค้าง (residual displacement vector)

$$\text{หาได้จาก} \quad [K_I]_i \{\Delta\delta_R\}_i^j = -\{\Psi\}_i^{j-1} \quad (3-10)$$

สำหรับวิธีการคำนวณตัวคูณการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักบรรทุก $\Delta\lambda_i^{j-1}$ จะกล่าวต่อไปในหัวข้อวิธีการปรับเปลี่ยน จากสมการ (3-9) จะได้เวกเตอร์การกระจัดส่วนที่เปลี่ยน $\{\Delta\delta\}$ ดังนั้นจะสามารถหาเวกเตอร์การกระจัดได้จาก

$$\{\delta\}_i^j = \{\delta_I\}_i^{j-1} + \{\Delta\delta\}_i^j \quad (3-11)$$

เมื่อ $\{\delta\}$ = เวกเตอร์การกระจัด (total displacements vector)

และสามารถหาตัวคูณน้ำหนักบรรทุก λ ได้จาก

$$\lambda_i^j = \lambda_i^{j-1} + \Delta\lambda_i^j \quad (3-12)$$

เมื่อ λ = ตัวคูณน้ำหนักบรรทุก

กระบวนการทำซ้ำนี้จะทำจนกว่าจะลู่เข้าสู่คำตอบ ซึ่งสามารถทำการตรวจสอบได้จากหัวข้อการตรวจสอบการลู่เข้าสู่คำตอบของการแก้ระบบสมการไม่เชิงเส้น แต่หากพบว่าคำตอบนั้นไม่ลู่เข้าจะต้องมีการปรับเปลี่ยนอัตโนมัติซึ่งจะกล่าวต่อไปในหัวข้อ วิธีการปรับเปลี่ยน (adaptive scheme) และการลดตัวคูณการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักบรรทุกอัตโนมัติ สำหรับกระบวนการแก้ระบบสมการไม่เชิงเส้นด้วยวิธีต่างๆนั้นสามารถหารายละเอียดเพิ่มเติมได้จากเอกสารอ้างอิง [21]

การแก้ระบบสมการไม่เชิงเส้นด้วยวิธีดังกล่าวนั้นโดยลำพัง อาจจะทำให้ตัวแก้สมการ (solver) หยุดการทำงานก่อนได้รับคำตอบได้ หากการเริ่มต้นไม่ละเอียดเพียงพอ หรือคำตอบเข้าใกล้จุดขีดจำกัด จะทำให้คำตอบที่ได้มีความคลาดเคลื่อนมาก จึงต้องมีการทำการปรับเปลี่ยนในระหว่างการทำซ้ำ ซึ่งจะกล่าวต่อไป โดยปกติแล้วจะมีการตั้งค่าเริ่มต้น และค่ากำหนดไว้ดังนี้

- ตัวคูณน้ำหนักบรรทุกเริ่มต้น λ_1 ปกติจะตั้งไว้ที่ 10% ของน้ำหนักบรรทุกที่กระทำกับโครงสร้าง ($\lambda_1 = 0.10$)
- ตัวคูณน้ำหนักบรรทุกสูงสุด λ_{\max} ปกติจะตั้งไว้ที่ 2 เท่าของน้ำหนักบรรทุกที่กระทำกับโครงสร้าง ($\lambda_{\max} = 2.00$) และจากการวิจัยพบว่าไม่มีความจำเป็นต้องตั้งค่าให้สูงเกินไปกว่านี้ เพราะจะสิ้นเปลืองเวลาในการแก้ระบบสมการไม่เชิงเส้น
- การเปลี่ยนตัวคูณน้ำหนักบรรทุกสูงสุด $\Delta\lambda_{\max}$ เพื่อควบคุมให้คำตอบยังคงอยู่ในความสมดุล จึงต้องมีการกำหนดค่านี้เอาไว้ โดยปกติจะตั้งไว้ที่ 10% ของน้ำหนักบรรทุกที่กระทำกับโครงสร้าง ($\Delta\lambda_{\max} = 0.10$)

สาเหตุที่ต้องมีการกำหนดตัวคูณน้ำหนักบรรทุกสูงสุดซึ่งจะมีมากกว่า 1.0 เสมอ ก็เพราะว่าหลักการทำการออกแบบที่นำเสนอ นั้น ต้องการน้ำหนักบรรทุกวิกฤต โดยมีเงื่อนไขสามประการดังที่ เคยกล่าวมาคือ โครงสร้างต้องมีเสถียรภาพ แรงที่เกิดขึ้นในแต่ละองค์อาคารต้องไม่เกินกำลังที่รับได้ และการกระจัดสูงสุดที่เกิดขึ้นต้องไม่เกินที่ยอมให้ในสภาวะใช้งาน แล้วจึงนำค่าน้ำหนักบรรทุกวิกฤตที่ได้ไปใช้ในการปรับสัดส่วนในการออกแบบ

3.3. วิธีการปรับเปลี่ยน (Adaptive Scheme)

ถึงแม้ว่าใช้วิธีการทำซ้ำของนิวตัน-ราฟสันที่ดัดแปลงแล้ว (modified Newton-Raphson iterations) จะมีเสถียรภาพที่ดีกว่าวิธีของนิวตัน-ราฟสันก็ตาม แต่ลำพังวิธีนี้ก็ยังไม่เพียงพอในงานที่คำตอบเข้าไปใกล้กับจุดขีดจำกัด จึงต้องมีวิธีการปรับเปลี่ยนอัตโนมัติระหว่างการทำซ้ำขึ้น โดยการนำตัวคูณน้ำหนักบรรทุกมาคูณด้วยตัวคูณดังนี้

$$\left(\frac{J_d}{J_{i-1}} \right) \quad (3-13)$$

เมื่อ J_d = จำนวนการทำซ้ำเพื่อเข้าสู่สมมูลที่ต้องการ
 J_{i-1} = จำนวนการทำซ้ำเพื่อเข้าสู่สมมูลที่ใช้จากการทำซ้ำในรอบที่ผ่านมา

จากที่กล่าวมาข้างต้น เพื่อให้คำตอบอยู่ในเส้นทางความสมมูลตลอดการแก้ระบบสมการใหม่เชิงเส้น จึงกำหนดให้จำนวนครั้งของการทำซ้ำในแต่ละช่วงมีค่าไม่เกิน J_d ซึ่งหาค่าดังกล่าวเกินจากที่กำหนดให้ก็กลับมาทำช่วงปัจจุบันใหม่

3.4. การลดตัวคูณการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักบรรทุกอัตโนมัติ (Automatic Time Step Reduction)

เมื่อการเพิ่มน้ำหนักบรรทุกที่กำหนดไม่สามารถเข้าสู่คำตอบได้ ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากการตั้งค่าเริ่มต้นที่ไม่เพียงพอ หรือคำตอบเข้าใกล้ขีดจำกัด ในกรณีนี้เพื่อเสถียรภาพเชิงตัวเลขที่ดี ตัวแก้สมการ (solver) จะต้องไม่หยุดทำงานทันที แต่จะมีการทดลองลดตัวคูณการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักบรรทุก และลองทำซ้ำใหม่ หากพบว่ายังไม่สามารถเข้าสู่คำตอบได้ ต้องมีการลดตัวคูณการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักบรรทุกและลองทำซ้ำ อย่างนี้ไปเรื่อยๆจนถึงจำนวนของการลดค่าตัวคูณการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักบรรทุกอัตโนมัติสูงสุด ที่ตั้งไว้จึงหยุดการทำงาน ซึ่งได้มีการกำหนดค่าปกติไว้ดังนี้

- จำนวนครั้งที่ยากที่สุด ที่จะทำการลดตัวคูณการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักบรรทุกอัตโนมัติ กำหนดไว้ที่ 5 ครั้ง
- ตัวคูณที่ใช้ในการลด กำหนดไว้ที่ 0.50

ตัวอย่างเช่นถ้าการทำซ้ำในรอบที่ i ด้วยตัวคูณการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักบรรทุก Δt ไม่สามารถเข้าสู่คำตอบได้ จะนำตัวคูณการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักบรรทุกมาคูณด้วย ตัวคูณที่ใช้ในการลด (ในที่นี้คือ 0.50) แล้วจึงทำการทำซ้ำต่อไป หากยังไม่สามารถเข้าสู่คำตอบได้อีก ก็จะมีตัวคูณต่อไปอีก จนกว่าจะถึงครั้งที่ 5

3.5. การตรวจสอบการลู่เข้าสู่คำตอบของการแก้ระบบสมการไม่เชิงเส้น

การตรวจสอบการลู่เข้าสู่คำตอบมีหลายวิธี ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้กำหนดการลู่เข้าสู่คำตอบไว้สามข้อ โดยต้องสอดคล้องทั้ง 3 ข้อจึงจะสรุปได้ว่าลู่เข้าสู่คำตอบ

1. ค่าสัมบูรณ์ของแรงคงค้าง (Euclidian residual norm) มีค่าอยู่ในช่วงที่กำหนด

$$\gamma_r = \frac{\|\{\psi\}\|_2}{\|\Delta\lambda\{F_I\}\|_2} \times 100 \quad (3-14)$$

สำหรับงานวิจัยนี้ได้ตั้ง γ_r ไว้ที่ 1% ($\gamma_r = 0.01$) แต่ถ้าต้องการคำตอบที่ดียิ่งขึ้นควรตั้งค่าไว้ไม่น้อยกว่า 0.1% เนื่องจากจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการคำนวณ

2. ค่าสัมบูรณ์ของการกระจัดส่วนที่เปลี่ยน (Euclidian incremental displacement norm)

$$\gamma_{dt} = \frac{\|\{\Delta\delta\}\|_2}{\|\{\delta\}\|_2} \times 100 \quad (3-15)$$

สำหรับงานวิจัยนี้ได้ตั้งค่า γ_{dt} ไว้ที่ 1% ($\gamma_{dt} = 0.01$) แต่ถ้าต้องการคำตอบที่ดียิ่งขึ้นควรตั้งค่าไว้ไม่น้อยกว่า 0.1% เนื่องจากจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการคำนวณ

3. ค่าสัมบูรณ์ของความแตกต่างของแรงที่เกิดขึ้นในองค์อาคารกับกำลังขององค์อาคารมีค่าอยู่ในช่วงที่กำหนด

$$\frac{L_i}{R_i} \leq 1.01 \quad (3-16)$$

ปกติจะตั้งไว้ที่ 1% เพื่อป้องกันการเลือกหน้าตัดที่ไม่สมเหตุผลในทางปฏิบัติ อย่างเช่น มีแรงเกิดขึ้น 100 ตัน ตัวองค์อาคารสามารถรับแรงได้ 99 ตัน ซึ่งในทางปฏิบัติมักจะยอมให้ใช้ได้

บทที่ 4

ตัวอย่างการคำนวณออกแบบและเปรียบเทียบ

4.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะแสดงถึงตัวอย่างการคำนวณโครงสร้างระนาบ โดยจะทำการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการวิจัยนี้กับผลที่ได้จากโปรแกรม D-TRUSS (สุรวุฒิ คำดี, กรวุฒิ ต้นเนียม และทักษิณ เทพชาติ, 2531) และเปรียบเทียบกับผลงานวิจัยที่ผ่านมา (วรพรรณ วงศ์สรรคกร, 2539) และ (วีรพงษ์ ไชยสถิตวานิช, 2540) รวมทั้งทำการเปรียบเทียบผลการออกแบบด้วยการวิเคราะห์แบบเชิงเส้นและไม่เชิงเส้น

4.2. ตัวอย่างการคำนวณออกแบบและผลลัพธ์

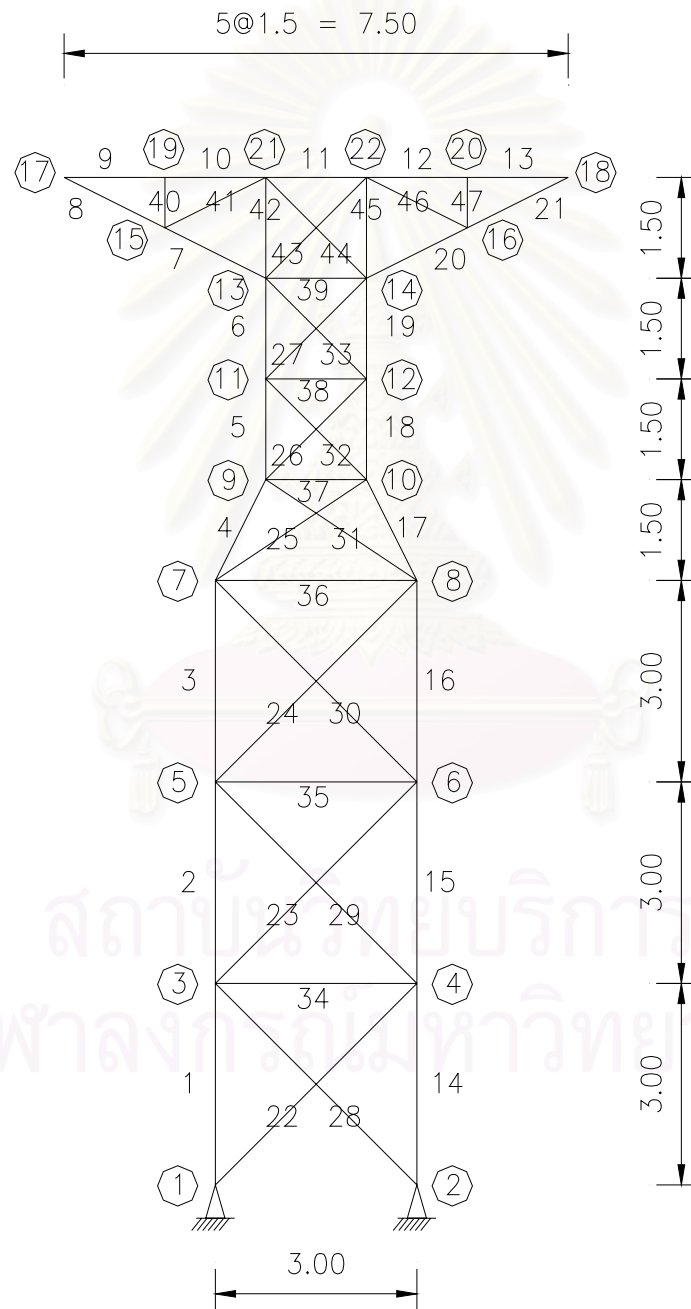
ในตัวอย่างที่นำมาใช้ในการคำนวณออกแบบและเปรียบเทียบ มีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

- วัสดุที่ใช้ทำองค์อาคาร โครงสร้างระนาบเป็นเหล็กรูปพรรณ
- หน่วยแรงที่จุดคราก 2,520 กก./ตร.ซม.
- กำลังดึงประลัย 4,000 กก./ตร.ซม.
- โมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็ก 2,100,000 กก./ตร.ซม.
- ค่าสัมประสิทธิ์ลดกำลัง $U = 0.9$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3 ตัวอย่างที่ 2

โครงถักเสาไฟฟ้าแรงสูงเมืองค้ออาคาร 47 ชั้นส่วน มีลักษณะดังรูปที่ 4.1 โดยมีข้อมูลของแรงกระทำกับโครงสร้างดังตารางที่ 4.1 ถึง 4.3 จะทำการตรวจสอบและเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์แบบเชิงเส้น และไม่เชิงเส้น พร้อมทั้งเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SAP2000 เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของการทำงานของงานวิจัยนี้



รูปที่ 4.1 โครงถักตัวอย่างที่ 2

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลเบื้องต้น

จำนวนจุดต่อ	จำนวนชิ้นส่วน	จำนวนชุดหน้าตัด
22	47	1

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลแรงกระทำ (ตัน)

จุดต่อ	แรงในแนวราบ	แรงในแนวตั้ง
17	3	-7

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลชิ้นส่วน

ชิ้นส่วน	ชุดหน้าตัด	หน้าตัด
1-47	1	TUBE 75x75x4.0

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบการเปลี่ยนตำแหน่งของโครงสร้างจากการวิเคราะห์แบบเชิงเส้น และไม่เชิงเส้นระหว่างผลงานวิจัยนี้ และจาก โปรแกรม SAP2000

จุดต่อ	การวิเคราะห์แบบ เชิงเส้น (ชม.)		การวิเคราะห์แบบ เชิงเส้น(SAP2000) (ชม.)		การวิเคราะห์แบบไม่ เชิงเส้น (ชม.)		การวิเคราะห์แบบไม่ เชิงเส้น(SAP2000) (ชม.)	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
	1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3	0.109	0.026	0.108	0.026	0.108	0.026	0.108	0.026
4	0.126	-0.098	0.126	-0.098	0.126	-0.098	0.126	-0.098
5	0.313	0.011	0.311	0.010	0.311	0.010	0.311	0.010
6	0.326	-0.159	0.325	-0.158	0.325	-0.158	0.324	-0.158
7	0.511	-0.045	0.508	-0.047	0.508	-0.047	0.507	-0.047
8	0.545	-0.182	0.541	-0.181	0.541	-0.181	0.541	-0.181
9	0.627	-0.183	0.622	-0.185	0.622	-0.185	0.621	-0.183
10	0.625	-0.120	0.620	-0.118	0.620	-0.118	0.619	-0.119

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบการเปลี่ยนตำแหน่งของโครงสร้างจากการวิเคราะห์แบบเชิงเส้น และไม่
เชิงเส้นระหว่างผลงานวิจัยนี้ และจาก โปรแกรม SAP2000(ต่อ)

จุดต่อ	การวิเคราะห์แบบ เชิงเส้น (ชม.)		การวิเคราะห์แบบ เชิงเส้น(SAP2000) (ชม.)		การวิเคราะห์แบบไม่ เชิงเส้น (ชม.)		การวิเคราะห์แบบไม่ เชิงเส้น(SAP2000) (ชม.)	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
11	0.518	-0.266	0.519	-0.265	0.510	-0.269	0.511	-0.267
12	0.532	-0.073	0.532	-0.073	0.523	-0.071	0.524	-0.071
13	0.292	-0.365	0.294	-0.364	0.280	-0.368	0.281	-0.366
14	0.256	-0.002	0.258	-0.003	0.242	0.000	0.245	0.000
15	0.079	-1.048	0.082	-1.043	0.065	-1.058	0.066	-1.052
16	0.014	0.481	0.019	0.476	-0.003	0.488	0.003	0.484
17	-0.388	-2.237	-0.380	-2.219	-0.402	-2.258	-0.401	-2.238
18	-0.209	0.927	-0.203	0.920	-0.230	0.940	-0.222	0.934
19	-0.317	-1.048	-0.310	-1.043	-0.335	-1.059	-0.330	-1.052
20	-0.209	0.481	-0.203	0.476	-0.229	0.488	-0.222	0.484
21	-0.245	-0.401	-0.239	-0.399	-0.264	-0.405	-0.258	-0.402
22	-0.209	0.034	-0.203	0.033	-0.228	0.036	-0.222	0.036

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแรงภายในของโครงสร้างจากการวิเคราะห์แบบเชิงเส้น และไม่เชิงเส้นระหว่างผลงานวิจัยนี้ และจาก โปรแกรม SAP2000

ชั้นส่วน	การวิเคราะห์แบบ เชิงเส้น (ตัน)	การวิเคราะห์แบบ เชิงเส้น(SAP2000) (ตัน)	การวิเคราะห์แบบ ไม่เชิงเส้น (ตัน)	การวิเคราะห์แบบ ไม่เชิงเส้น(SAP2000) (ตัน)
1	1.989	1.988	1.957	1.956
2	-1.148	-1.148	-1.183	-1.183
3	-4.307	-4.305	-4.347	-4.345
4	-9.792	-9.736	-9.871	-9.812
5	-12.813	-12.780	-12.903	-12.865
6	-15.123	-15.082	-15.204	-15.158
7	-15.653	-15.614	-15.710	-15.663
8	-15.652	-15.436	-15.705	-15.483
9	11.000	10.789	11.085	10.885
10	11.000	10.878	11.086	10.971
11	5.513	5.498	5.550	5.537
12	0.000	-0.019	0.000	-0.019
13	0.000	-0.003	0.000	-0.003
14	-7.511	-7.509	-7.480	-7.476
15	-4.648	-4.646	-4.612	-4.609
16	-1.807	-1.803	-1.766	-1.762
17	2.786	2.743	2.861	2.818
18	7.188	7.162	7.273	7.249
19	10.877	10.831	10.957	10.915
20	0.000	-0.005	0.000	-0.005
21	0.000	0.002	0.000	0.002
22	1.076	1.077	1.077	1.079
23	1.269	1.265	1.272	1.268
24	1.494	1.493	1.498	1.497
25	4.522	4.457	4.562	4.499
26	1.149	1.154	1.140	1.148

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงภายในของโครงสร้างจากการวิเคราะห์แบบเชิงเส้น และไม่เชิงเส้นระหว่างผลงานวิจัยนี้ และจาก โปรแกรม SAP2000(ต่อ)

ชั้นส่วน	การวิเคราะห์แบบ เชิงเส้น (ต้น)	การวิเคราะห์แบบ เชิงเส้น(SAP2000) (ต้น)	การวิเคราะห์แบบ ไม่เชิงเส้น (ต้น)	การวิเคราะห์แบบ ไม่เชิงเส้น(SAP2000) (ต้น)
27	0.174	0.134	0.155	0.121
28	-3.166	-3.168	-3.169	-3.169
29	-2.973	-2.969	-2.977	-2.972
30	-2.748	-2.752	-2.751	-2.754
31	-5.844	-5.775	-5.893	-5.821
32	-3.094	-3.102	-3.094	-3.100
33	-4.069	-4.025	-4.078	-4.030
34	1.341	1.339	1.341	1.338
35	1.046	1.047	1.045	1.047
36	2.560	2.543	2.564	2.547
37	-0.329	-0.315	-0.335	-0.324
38	2.065	2.037	2.066	2.035
39	-5.610	-5.568	-5.648	-5.609
40	0.000	-0.090	-0.040	-0.129
41	0.000	0.087	-0.022	0.065
42	-5.487	-5.460	-5.531	-5.503
43	-7.796	-7.703	-7.852	-7.758
44	7.760	7.664	7.809	7.717
45	5.513	5.453	5.550	5.493
46	0.000	0.042	0.000	0.043
47	0.000	0.002	0.000	0.002

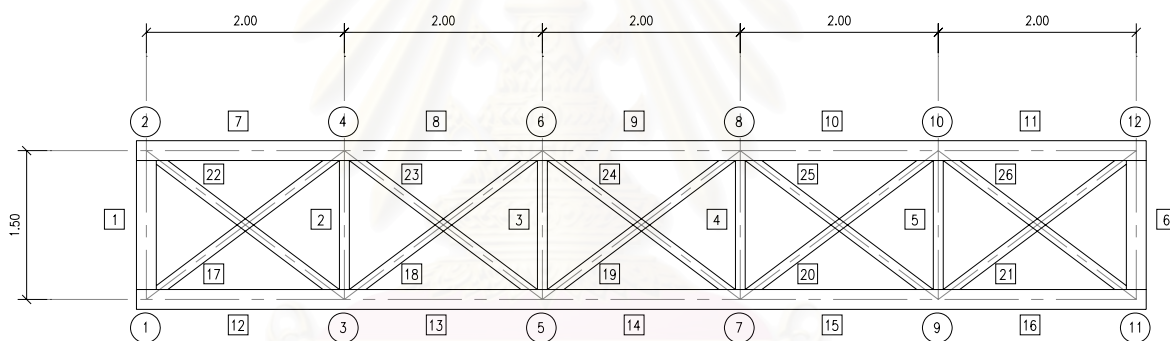
ผลลัพธ์จากการคำนวณของไมโครคอมพิวเตอร์ แสดงดังตารางที่ 4.4 และ 4.5 โดยเป็นการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์แบบเชิงเส้น และไม่เชิงเส้นของงานวิจัยนี้ เปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ที่ได้จากโปรแกรม SAP2000 ซึ่งในตารางที่ 4.4 เป็นการเปรียบเทียบการเปลี่ยนตำแหน่งของโครงสร้างด้วยการวิเคราะห์แบบเชิงเส้นและไม่เชิงเส้น ส่วนในตารางที่ 4.5 เป็นการเปรียบเทียบแรงภายในของโครงสร้างด้วยการวิเคราะห์แบบเชิงเส้นและไม่เชิงเส้น จะเห็นว่าผลที่ได้จากงานวิจัยนี้มีค่าใกล้เคียงกับผลที่ได้จากโปรแกรม SAP2000 ทั้งการวิเคราะห์แบบเชิงเส้น และไม่เชิงเส้น ซึ่งจะมีความคลาดเคลื่อนบ้างเล็กน้อยในบางตำแหน่ง และชิ้นส่วน ซึ่งผลของความคลาดเคลื่อนนี้เกิดเนื่องจากการขบวนการในการแก้สมการของเมตริกซ์นั้น การแก้สมการจะแก้โดยวิธีเชิงตัวเลข ซึ่งตรงนี้เองที่จะทำให้เกิดความผิดพลาดบ้างเล็กน้อย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4 ตัวอย่างที่ 3

โครงถักระนาบมีองค์อาคาร 26 ชิ้นส่วน มีลักษณะดังรูปที่ 4.2 โดยมีข้อมูลของแรงกระทำกับโครงสร้างดังตารางที่ 4.6 ถึง 4.8 จะทำการตรวจสอบและเปรียบเทียบผลการออกแบบอย่างเหมาะสมด้วยการวิเคราะห์แบบเชิงเส้น และไม่เชิงเส้น พร้อมทั้งเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์งานวิจัยที่ผ่านมาและการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม DTRUSS เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของการทำงานของงานวิจัยนี้ เนื่องจากการออกแบบด้วยวิธีอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมจะต้องมีการระบุจำนวนชุดข้อมูลทุกครั้ง โดยจำนวนชุดข้อมูลนี้จะต้องมีค่าที่เหมาะสมถึงจะให้คำตอบที่แม่นยำ ดังนั้นก่อนที่จะทำการออกแบบอย่างเหมาะสมสำหรับตัวอย่างที่ 3 นี้จะทำการพิจารณาวิเคราะห์หาจำนวนชุดข้อมูลที่เหมาะสมขึ้นมาก่อน จากการพิจารณาการดูเข้าของคำตอบเมื่อมีจำนวนชุดข้อมูลต่างๆกันโดยในตัวอย่างนี้จำทำการใช้จำนวนชุดข้อมูล 5, 10, 20, 50, 100 และ 200 ชุดข้อมูล และทำการเปรียบเทียบผล



รูปที่ 4.2 โครงถักตัวอย่างที่ 3

ตารางที่ 4.6 ข้อมูลเบื้องต้น

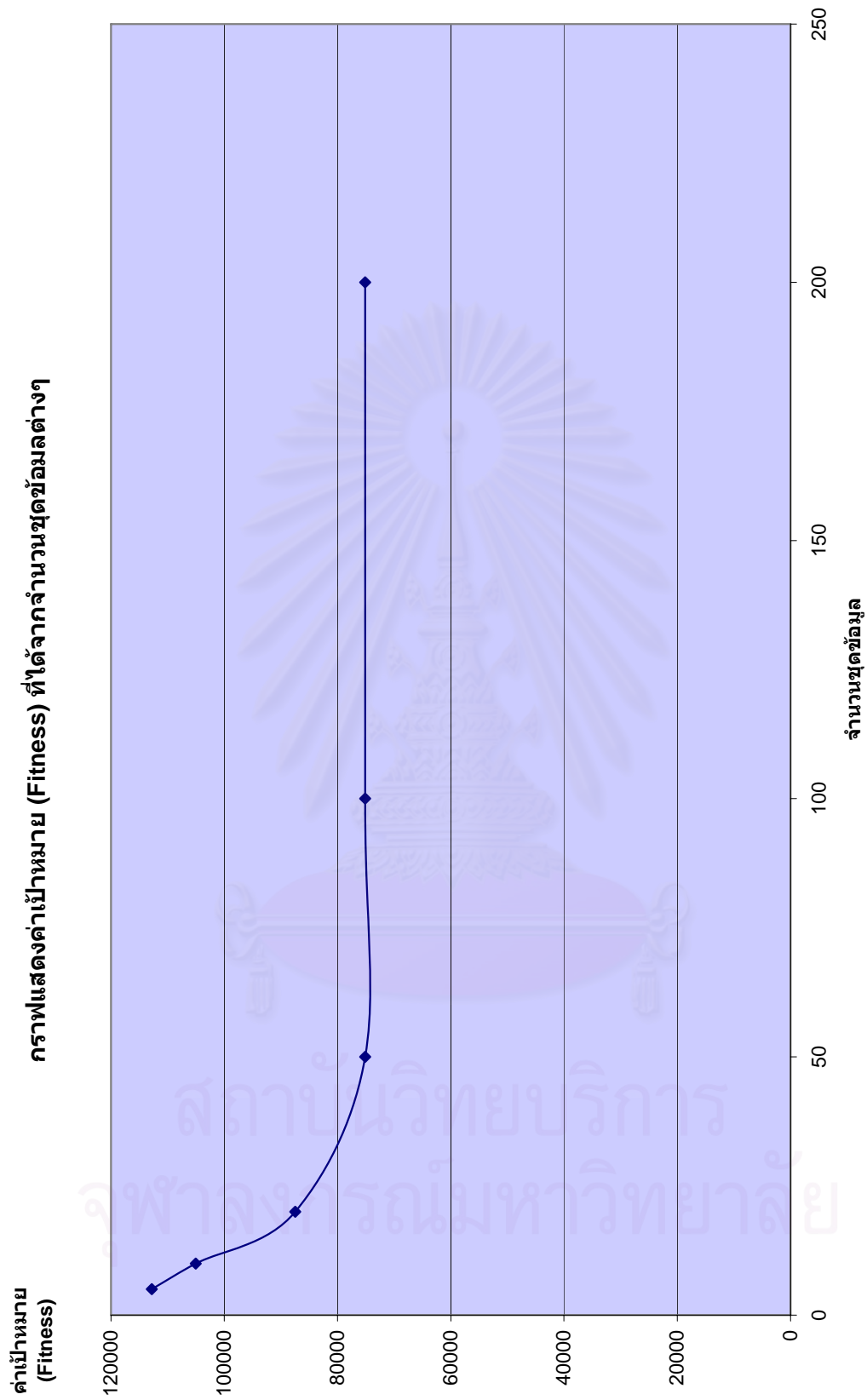
จำนวนจุดต่อ	จำนวนชิ้นส่วน	จำนวนชุดหน้าตัด
12	26	4

ตารางที่ 4.7 ข้อมูลแรงกระทำ (ตัน)

จุดต่อ	น้ำหนักบรรทุกคงที่		น้ำหนักบรรทุกจร	
	แนวราบ	แนวตั้ง	แนวราบ	แนวตั้ง
2	0	-0.5	0	-4.5
3	0	0.0	0	-4.0
4	0	-2.0	0	-8.0
5	0	0.0	0	-4.0
6	0	-2.0	0	-8.0
7	0	0.0	0	-4.0
8	0	-2.0	0	-8.0
9	0	0.0	0	-4.0
10	0	-2.0	0	-8.0
12	0	-0.5	0	-4.5

ตารางที่ 4.8 ข้อมูลชิ้นส่วน

ชิ้นส่วน	ชุดหน้าตัด	ชนิดของหน้าตัด
1-7, 11-16	1	ท่อกลมกลวง
8-10	2	ท่อกลมกลวง
18-25	3	ท่อกลมกลวง
17,26	4	ท่อกลมกลวง

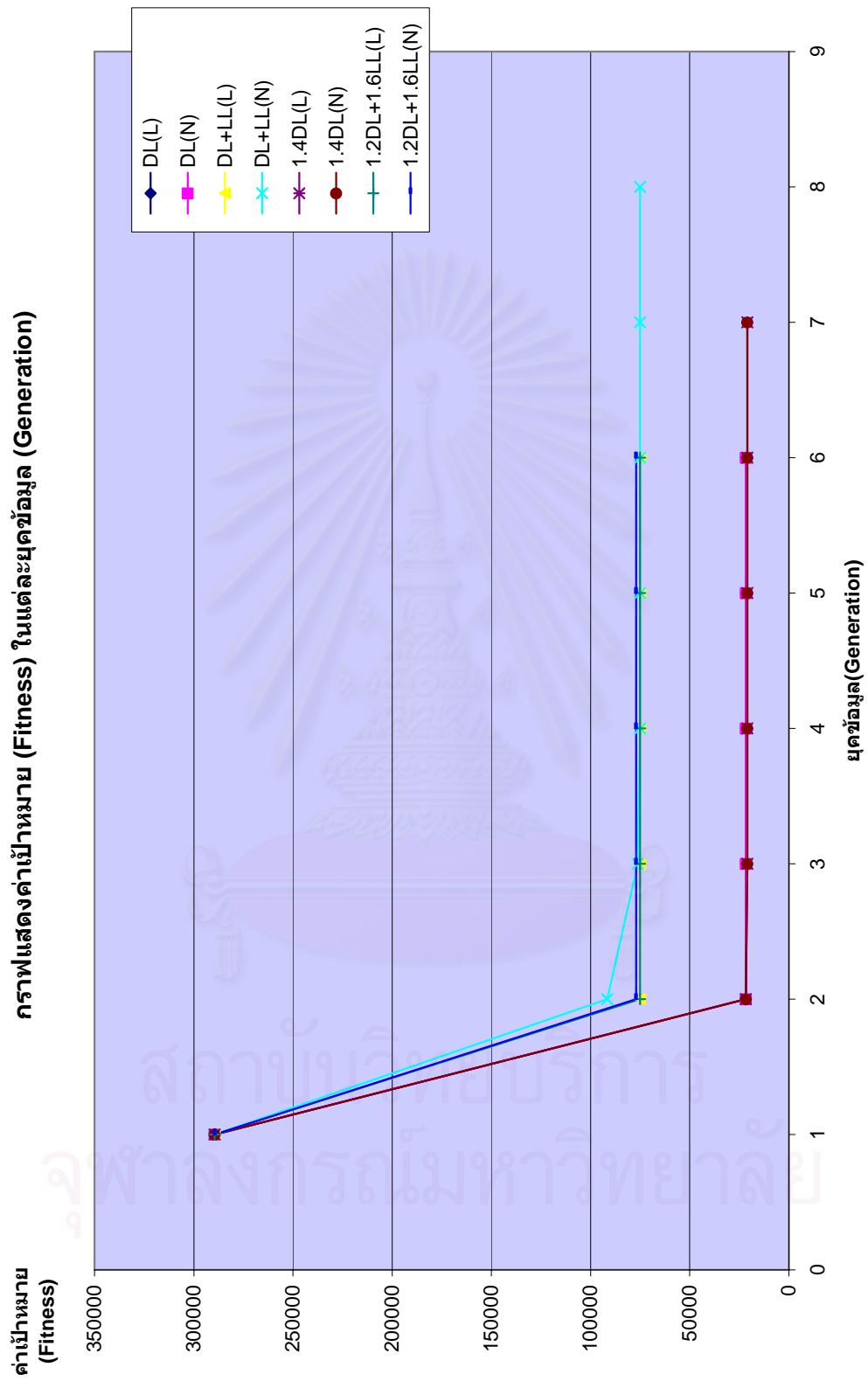


รูปที่ 4.3 กราฟค่าเป้าหมาย (fitness value) ที่ได้จากจำนวนชุดข้อมูลต่างๆ

การออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดด้วยวิธีอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม จะต้องมีการกำหนดค่าจำนวนชุดข้อมูลขึ้นในตอนเริ่มแรก โดยจำนวนชุดข้อมูลที่กำหนดขึ้นนี้หากกำหนดให้มีจำนวนน้อยเกินไปก็อาจจะทำให้คำตอบในการออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดนั้นไม่แม่นยำ แต่ในทางกลับกันหากให้จำนวนชุดข้อมูลที่มากเกินไปจนความจำเป็นคำตอบที่ได้จะเป็นคำตอบที่แม่นยำ แต่เวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ออกแบบก็จะใช้มากเกินไป ทั้งนี้ทั้งนี้จำนวนชุดข้อมูลที่เหมาะสมจะมากหรือน้อยก็ขึ้นกับชนิดของปัญหาที่จะนำมาทำการออกแบบ และจำนวนความเป็นไปได้ทั้งหมดของตัวแปรต้นซึ่งในที่นี้หมายถึงจำนวนหน้าตัดเหล็ก ดังนั้นก่อนที่จะทำการออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดด้วยวิธีอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมนี้ จะต้องมหาจำนวนชุดข้อมูลที่เหมาะสมก่อนไม่ให้มากหรือน้อยจนเกินไป จะเห็นได้ว่าจากผลที่ได้คำตอบที่แสดงดังรูปที่ 4.3 จะรู้เข้าเมื่อใช้ชุดข้อมูล 50 ชุดข้อมูล แต่อย่างที่ได้กล่าวไปข้างต้นจำนวนชุดข้อมูลนี้อาจขึ้นอยู่กับแต่ละปัญหาในการออกแบบ จึงใช้จำนวนชุดข้อมูล 200 ชุดข้อมูลสำหรับตัวอย่างที่ 3 ในการออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุด และในตัวอย่างต่อไปๆ



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.4 กราฟค่าเป้าหมาย (fitness value) ในแต่ละยุคข้อมูล (generation) ของตัวอย่างที่ 3

ตารางที่ 4.9 สรุปเปรียบเทียบผลการออกแบบด้วยข้อกำหนด AISC/ASD 2005 และ AISC/LRFD 2005 กับ โปรแกรมผลงานวิจัยที่ผ่านมา

ข้อกำหนด AISC/ASD 2005

กลุ่มที่	งานวิจัยนี้ (ชม. ²)		งานวิจัยที่ ผ่านมา (ชม. ²)	DTRUSS (ชม. ²)	เปลี่ยนแปลง (%) ¹	เปลี่ยนแปลง (%) ²	เปลี่ยนแปลง (%) ³
	การวิเคราะห์ เชิงเส้น	การวิเคราะห์ ไม่เชิงเส้น					
1	8.64	8.64	12.52	15.52	0.00	30.99	44.33
2	38.36	38.36	40.17	40.17	0.00	4.51	4.51
3	8.64	8.64	12.52	17.05	0.00	30.99	49.33
4	29.94	29.94	33.63	29.64	0.00	10.97	-1.01
ปริมาตร	75,138	75,138	94,753	108,718	0.00	20.70	30.89

ข้อกำหนด AISC/LRFD 2005

กลุ่มที่	งานวิจัยนี้ (ชม. ²)		งานวิจัยที่ ผ่านมา (ชม. ²)	เปลี่ยนแปลง (%) ¹	เปลี่ยนแปลง (%) ²
	การวิเคราะห์ เชิงเส้น	การวิเคราะห์ ไม่เชิงเส้น			
1	8.64	9.09	12.52	4.95	30.99
2	38.36	38.36	44.96	0.00	14.68
3	8.64	9.09	12.52	4.95	30.99
4	29.94	29.94	33.63	0.00	10.97
ปริมาตร	75,138	77,073	97,627	2.51	23.04

¹ เปรียบเทียบระหว่างการวิเคราะห์แบบเชิงเส้น และไม่เชิงเส้น

² เปรียบเทียบกับผลงานวิจัยที่ผ่านมา นายวีระพงษ์ ไชยสถิตวานิช[12]

³ เปรียบเทียบกับผลจากโปรแกรม DTRUSS

ในการออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดของงานวิจัยเก่า และโปรแกรม DTRUSS นั้นใช้ AISC/ASD 1989 และ AISC/LRFD 1999 ตามลำดับ

ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณของไมโครคอมพิวเตอร์ แสดงดังตารางที่ 4.9 ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบผลการออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดของงานวิจัยนี้กับผลงานวิจัยที่ผ่านมา และโปรแกรม DTRUSS ด้วยข้อกำหนด AISC/ASD 2005 และ AISC/LRFD 2005 ตามลำดับ และจากรูปที่ 4.4 จะเป็นกราฟซึ่งแสดงค่าเป้าหมาย(fitness value) หรือปริมาตรของโครงถักในหน่วย ชม³

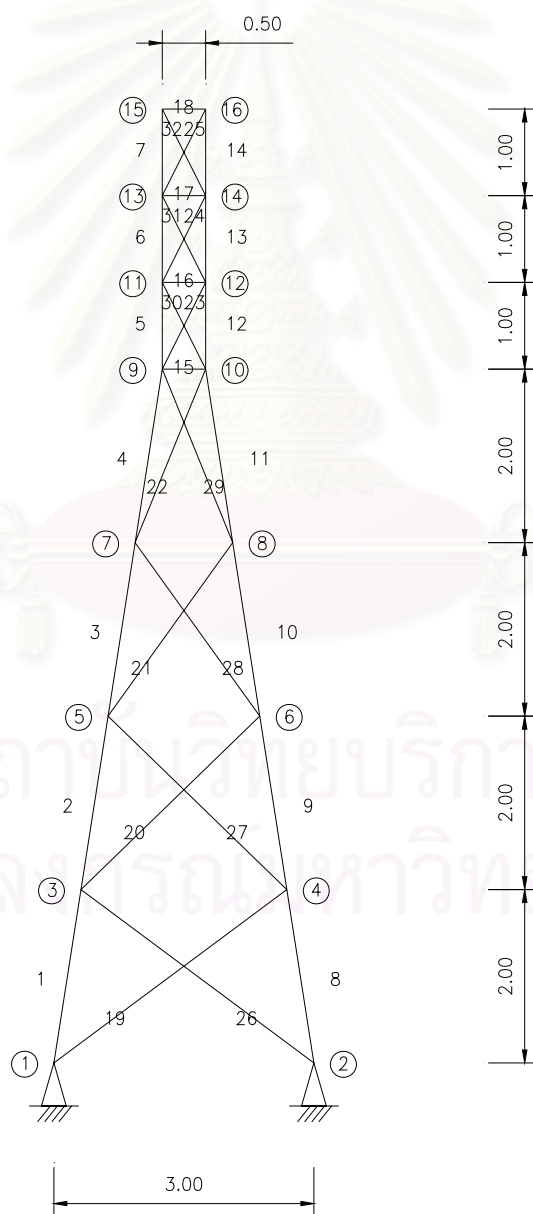
ในแต่ละรอบของการทำการออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุด ในการวิเคราะห์นี้จะใช้ทั้งการวิเคราะห์แบบเชิงเส้น และแบบไม่เชิงเส้น ซึ่งจากผลการออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดสำหรับตัวอย่างนี้จะให้ปริมาตรโครงถักรวม 75,138 ซม³ สำหรับข้อกำหนด AISC/ASD 2005 ในการวิเคราะห์แบบเชิงเส้น และไม่เชิงเส้นและ 75,138 ซม³ สำหรับ AISC/LRFD 2005 ในการวิเคราะห์แบบเชิงเส้นและ 77,073 ซม³ สำหรับ AISC/LRFD 2005 ในการวิเคราะห์แบบไม่เชิงเส้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าจะได้ปริมาตรของโครงถักลดลงเมื่อเทียบกับผลงานวิจัยที่ผ่านมาประมาณ 20.70% และ 23.04% ตามลำดับ และน้อยกว่าผลของการออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดด้วยข้อกำหนด AISC/ASD 1989 กับโปรแกรม DTRUSS จะลดลงประมาณ 30.89%



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.5 ตัวอย่างที่ 4

โครงถักระนาบมีองค์อาคาร 32 ชิ้นส่วน มีลักษณะดังรูปที่ 4.5 ซึ่งเป็นโครงสร้างเสาไฟฟ้า มีน้ำหนักกระทำ 1 ชุด และมีการแบ่งกลุ่มหน้าตัดเป็น 11 ชุดโดยมีข้อมูลของแรงกระทำกับโครงสร้างดังตารางที่ 4.10 ถึง 4.12 จะทำการตรวจสอบและเปรียบเทียบผลการออกแบบอย่างเหมาะสมด้วยการวิเคราะห์แบบเชิงเส้น และไม่เชิงเส้น พร้อมทั้งเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์งานวิจัยที่ผ่านมาและการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม DTRUSS เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของการทำงานของงานวิจัยนี้



รูปที่ 4.5 โครงถักตัวอย่างที่ 4

ตารางที่ 4.10 ข้อมูลเบื้องต้น

จำนวนจุดต่อ	จำนวนชิ้นส่วน	จำนวนชุดหน้าตัด
16	32	11

ตารางที่ 4.11 ข้อมูลแรงกระทำ (กิโลกรัม)

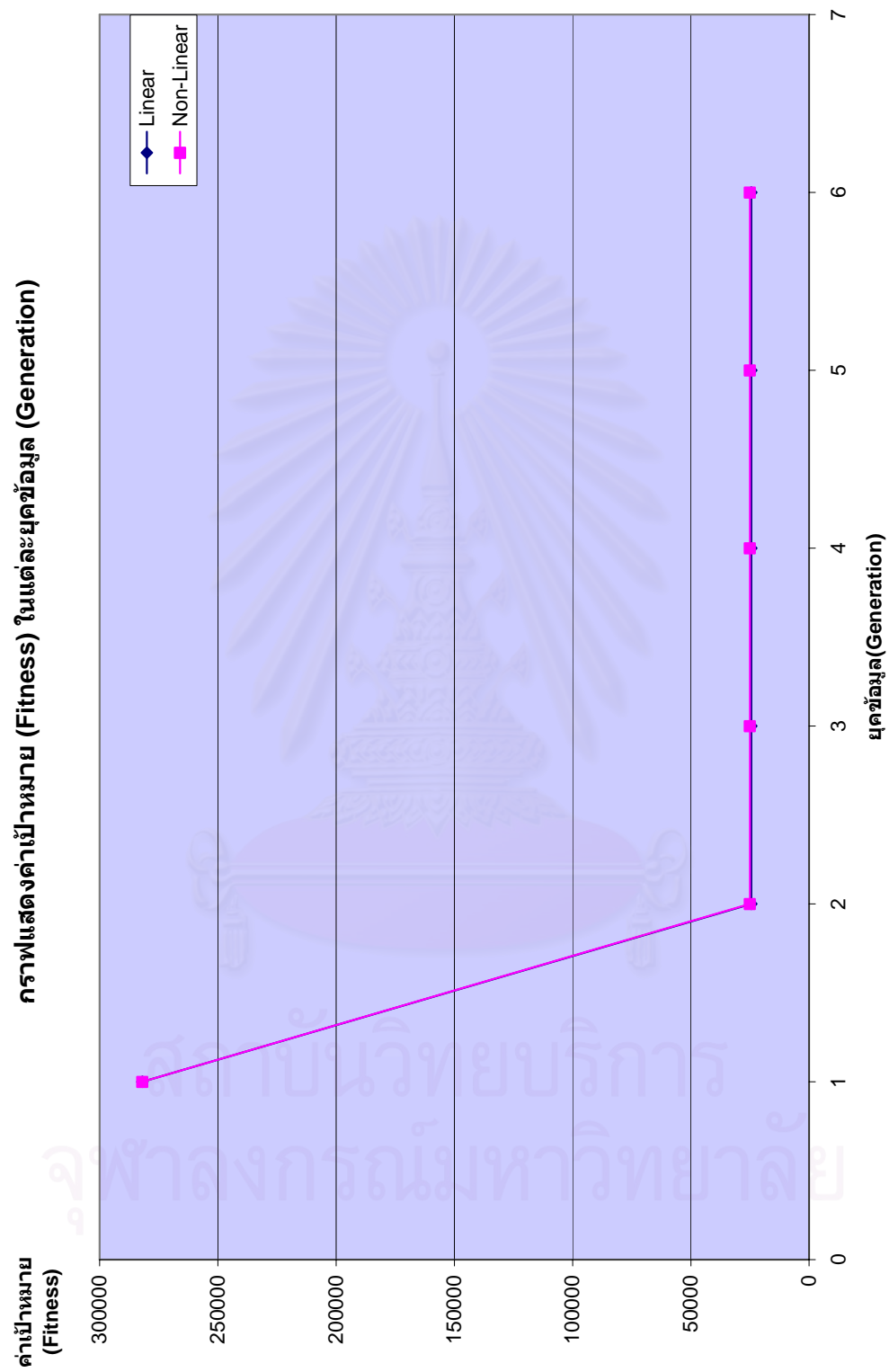
จุดต่อ	น้ำหนักบรรทุกคงที่	
	แนวราบ	แนวตั้ง
3	480	-365
4	0	-365
5	1090	-315
6	0	-315
7	630	-315
8	0	-400
9	560	-400
10	0	-400
11	590	-400
12	0	-500
13	590	-500
14	0	-500
15	670	-505
16	0	-505

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.12 ข้อมูลชั้นส่วน

ชั้นส่วน	ชุดหน้าตัด	ชนิดของหน้าตัด
1, 8	1	ท่อกลมกลวง
2, 9	2	ท่อกลมกลวง
3, 10	3	ท่อกลมกลวง
4, 11	4	ท่อกลมกลวง
5-7, 12-14	5	ท่อกลมกลวง
15-18	6	ท่อกลมกลวง
19, 26	7	ท่อกลมกลวง
20, 27	8	ท่อกลมกลวง
21, 28	9	ท่อกลมกลวง
22, 29	10	ท่อกลมกลวง
23-25, 30-32	11	ท่อกลมกลวง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.6 กราฟค่าเป้าหมาย (fitness value) ในแต่ละยุคข้อมูล (generation) ของตัวอย่างที่ 4

ตารางที่ 4.13 สรุปเปรียบเทียบผลการออกแบบด้วยข้อกำหนด AISC/ASD 2005 กับโปรแกรม
ผลงานวิจัยที่ผ่านมา

กลุ่มที่	งานวิจัยนี้ (ชม. ³)		งานวิจัยที่ ผ่านมา (ชม. ³)	DTRUSS (ชม. ³)	เปลี่ยนแปลง (%) ¹	เปลี่ยนแปลง (%) ²	เปลี่ยนแปลง (%) ³
	การวิเคราะห์ เชิงเส้น	การวิเคราะห์ ไม่เชิงเส้น					
1	9.09	9.09	12.52	12.52	0.00	27.40	27.40
2	7.59	8.64	12.52	12.52	12.15	39.38	39.38
3	7.10	7.10	8.62	8.62	0.00	17.63	17.63
4	6.47	6.47	8.62	8.62	0.00	24.94	24.94
5	8.76	5.76	5.23	5.23	-52.08	-67.50	-67.50
6	1.24	1.24	1.21	1.21	0.00	-2.48	-2.48
7	4.03	4.03	5.23	5.23	0.00	22.94	22.94
8	4.03	4.03	4.14	5.23	0.00	2.66	22.94
9	2.92	2.92	3.25	5.23	0.00	10.15	44.17
10	2.29	2.29	2.54	2.54	0.00	9.84	9.84
11	1.58	1.80	3.25	3.25	12.22	51.38	51.38
ปริมาตร	24,455	25,028	31,258	32,859	2.29	21.76	25.58

¹ เปรียบเทียบระหว่างการวิเคราะห์แบบเชิงเส้น และไม่เชิงเส้น

² เปรียบเทียบกับผลงานวิจัยที่ผ่านมา นายวิระพงษ์ ไชยสถิตวานิช[12]

³ เปรียบเทียบกับผลจากโปรแกรม DTRUSS

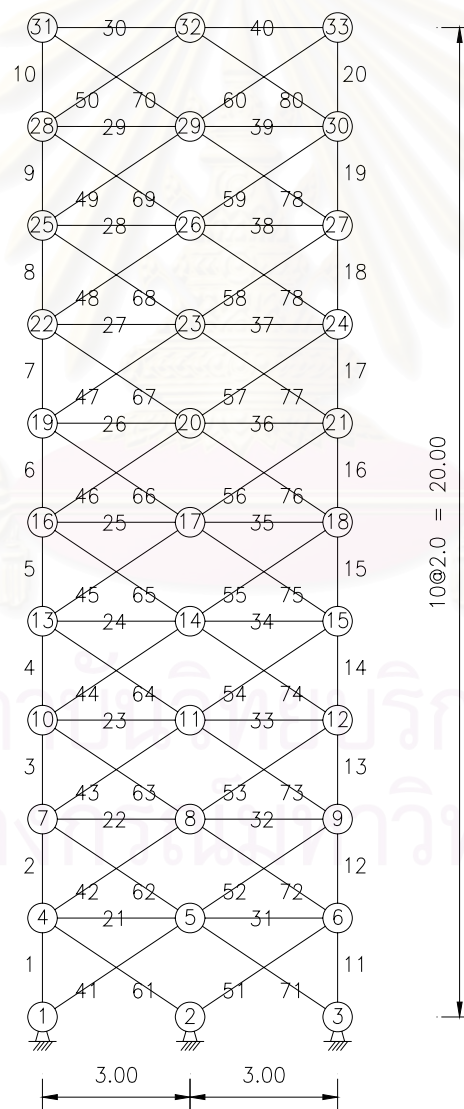
ในการออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดของงานวิจัยเก่า และโปรแกรม DTRUSS นั้นใช้ AISC/ASD 1989 และ AISC/LRFD 1999 ตามลำดับ

ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณของไมโครคอมพิวเตอร์ แสดงดังตารางที่ 4.13 ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบผลการออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดของงานวิจัยนี้กับผลงานวิจัยที่ผ่านมา และโปรแกรม DTRUSS ด้วยข้อกำหนด AISC/ASD 2005 และจากรูปที่ 4.6 เป็นกราฟซึ่งแสดงค่าเป้าหมาย(fitness value) หรือปริมาตรของโครงถักในหน่วย ชม³ ในแต่ละรอบของการทำการออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุด ในการวิเคราะห์นี้จะใช้ทั้งการวิเคราะห์แบบเชิงเส้น และแบบไม่เชิงเส้น ซึ่งจากผลการออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดสำหรับตัวอย่างนี้จะให้ปริมาตรโครงถักรวม 24,455 ชม³ สำหรับข้อกำหนด AISC/ASD 2005 ในการวิเคราะห์แบบเชิงเส้นและ 25,028 ชม³ สำหรับการวิเคราะห์แบบไม่เชิงเส้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าจะได้ปริมาตรของโครงถักลดลงเมื่อเทียบกับผลงานวิจัยที่

ผ่านมาประมาณ 21.76% และผลการออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดด้วยข้อกำหนด AISC/ASD 2005 กับโปรแกรม DTRUSS จะลดลงประมาณ 25.58%

4.6 ตัวอย่างที่ 5

โครงถักระนาบมีองค์อาคาร 80 ชิ้นส่วน มีลักษณะดังรูปที่ 4.6 ซึ่งเป็นโครงสร้างแบบยื่น มีน้ำหนักคงที่ น้ำหนักบรรทุกจร และแรงลม และมีการแบ่งกลุ่มหน้าตัดเป็น 6 ชุดโดยมีข้อมูลของแรงกระทำกับโครงสร้างดังตารางที่ 4.14 ถึง 4.16 จะทำการตรวจสอบและเปรียบเทียบผลการออกแบบอย่างเหมาะสมด้วยการวิเคราะห์แบบเชิงเส้น และไม่เชิงเส้น พร้อมทั้งเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์งานวิจัยที่ผ่านมา เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของการทำงานของงานวิจัยนี้



รูปที่ 4.7 โครงถักตัวอย่างที่ 5

ตารางที่ 4.14 ข้อมูลเบื้องต้น

จำนวนจุดต่อ	จำนวนชิ้นส่วน	จำนวนชุดหน้าตัด
33	80	6

ตารางที่ 4.15 ข้อมูลแรงกระทำ (กิโลกรัม)

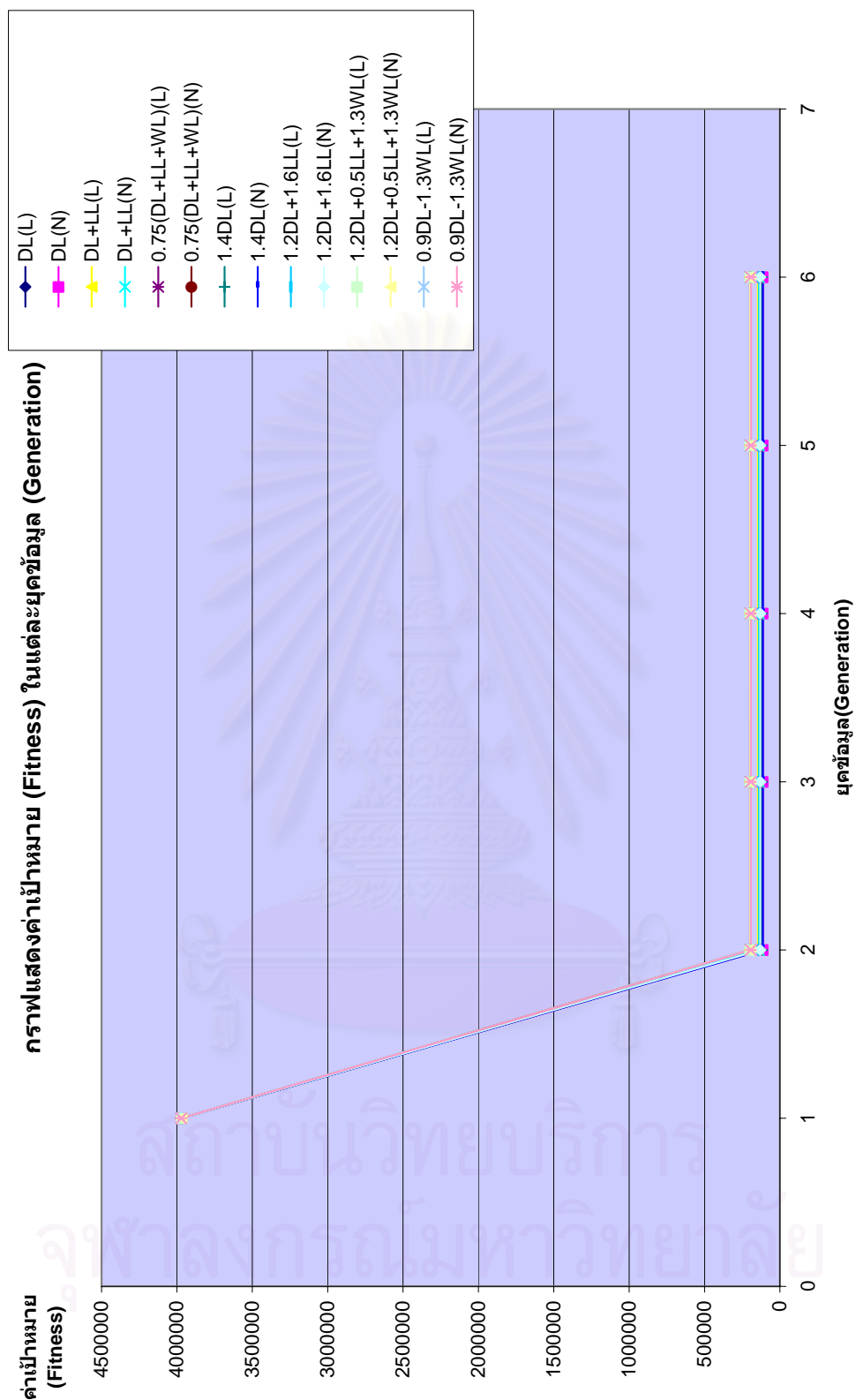
จุดต่อ	น้ำหนักบรรทุกคงที่		น้ำหนักบรรทุกจร		แรงลม	
	แนวราบ	แนวตั้ง	แนวราบ	แนวตั้ง	แนวราบ	แนวตั้ง
4	0	0	0	-30	70	0
6	0	0	0	-30	0	0
7	0	0	0	-30	70	0
9	0	0	0	-30	0	0
10	0	0	0	-30	70	0
12	0	0	0	-30	0	0
13	0	0	0	-30	70	0
15	0	0	0	-30	0	0
16	0	-600	0	-345	295	0
18	0	-600	0	-345	0	0
19	0	-600	0	-345	645	0
21	0	-600	0	-345	0	0
22	0	-600	0	-345	645	0
24	0	-600	0	-345	0	0
25	0	-600	0	-345	645	0
27	0	-600	0	-345	0	0
28	0	-600	0	-345	645	0
30	0	-600	0	-345	0	0
31	0	-600	0	-345	670	0
33	0	-600	0	-345	0	0

ตารางที่ 4.16 ข้อมูลชั้นส่วน

ชั้นส่วน	ชุดหน้าตัด	ชนิดของหน้าตัด
1-5, 11-15	1	ขานากเดี่ยว
6-10, 16-20	2	ขานากเดี่ยว
21-25, 31-35	3	ขานากเดี่ยว
26-30, 36-40	4	ขานากเดี่ยว
41-45, 51-55, 61-65, 71-75	5	ขานากเดี่ยว
46-50, 56-60, 66-70, 76-80	6	ขานากเดี่ยว



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.8 กราฟค่าเป้าหมาย (fitness value) ในแต่ละยุคข้อมูล (generation) ของตัวอย่างที่ 5

ตารางที่ 4.17 สรุปเปรียบเทียบผลการออกแบบด้วยข้อกำหนด AISC/ASD 2005 และ AISC/LRFD 2005 กับ โปรแกรมผลงานวิจัยที่ผ่านมา

ข้อกำหนด AISC/ASD 2005

กลุ่มที่	งานวิจัยนี้ (ชม.²)		งานวิจัยที่ ผ่านมา (ชม.²)	เปลี่ยนแปลง (%) ¹	เปลี่ยนแปลง (%) ²
	การวิเคราะห์ เชิงเส้น	การวิเคราะห์ ไม่เชิงเส้น			
1	8.727	8.727	11.67	0.00	25.22
2	8.727	8.727	8.73	0.00	0.03
3	4.692	4.692	10.55	0.00	55.53
4	4.692	4.692	10.55	0.00	55.53
5	10.55	10.55	11.67	0.00	9.60
6	8.127	8.127	11.67	0.00	30.36
ปริมาตร	197,742	197,742	272,407	0.00	27.41

¹ เปรียบเทียบระหว่างการวิเคราะห์แบบเชิงเส้น และไม่เชิงเส้น

² เปรียบเทียบกับผลงานวิจัยที่ผ่านมา นายวิระพงษ์ ไชยสถิตวานิช[12]

ข้อกำหนด AISC/LRFD 2005

กลุ่มที่	งานวิจัยนี้ (ชม.²)		เปลี่ยนแปลง (%)
	การวิเคราะห์ เชิงเส้น	การวิเคราะห์ ไม่เชิงเส้น	
1	8.727	8.727	0.00
2	8.727	8.727	0.00
3	4.692	4.692	0.00
4	4.692	4.692	0.00
5	10.55	10.55	0.00
6	8.127	8.127	0.00
ปริมาตร	197,742	197,742	0.00

ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณของไมโครคอมพิวเตอร์ แสดงดังตารางที่ 4.17 ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบผลการออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดของงานวิจัยนี้กับผลงานวิจัยที่ผ่านมา ด้วยข้อกำหนด AISC/ASD 2005 และในข้อกำหนด AISC/LRFD 2005 จะเปรียบเทียบผลการออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดด้วยการวิเคราะห์แบบเชิงเส้น และไม่เชิงเส้น ตามลำดับ และจากรูปที่ 4.8 เป็นกราฟแสดงค่าเป้าหมาย (fitness value) หรือปริมาตรของโครงถักในหน่วย ซม³ ในแต่ละรอบของการทำการออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุด ซึ่งจากผลการออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดสำหรับตัวอย่างนี้จะให้ปริมาตรโครงถักรวม, 197,742 ซม³ สำหรับข้อกำหนด AISC/ASD 2005 และ AISC/LRFD 2005 ในการวิเคราะห์แบบเชิงเส้นและไม่เชิงเส้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าจะได้ปริมาตรของโครงถักลดลงเมื่อเทียบกับผลงานวิจัยที่ผ่านมาประมาณ 27.41%



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์ผล

5.1 กล่าวนำ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาโครงสร้างชนิดโครงถักในระนาบอย่างเหมาะสมที่สุดโดยการวิเคราะห์สามารถทำได้ทั้งแบบเชิงเส้น และไม่เชิงเส้น โดยใช้วิธีอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมมาช่วยในการปรับหาขนาดที่ทำให้โครงสร้างที่ได้นั้น มีความแข็งแรงสามารถรับแรงตามที่ต้องการได้ และมีน้ำหนักประหยัคที่สุด โดยพิจารณาถึงค่าสัดส่วนความชะลุดไม่เกินค่าที่กำหนด นอกจากนี้ยังได้ใช้การวิเคราะห์แบบไม่เชิงเส้นเพื่อปรับเปลี่ยนตำแหน่งของโครงสร้างเพื่อให้การออกแบบเป็นไปอย่างถูกต้องและปลอดภัยมากยิ่งขึ้น

ในงานวิจัยนี้ได้มีการนำเสนอการออกแบบของค้ออาคารตามมาตรฐาน AISC ทั้ง 2 ข้อกำหนดคือข้อกำหนดโดยวิธีกำลังที่ยอมให้ AISC/ASD 2005 และข้อกำหนดโดยวิธีตัวคูณความต้านทาน และน้ำหนักบรรทุก AISC/LRFD 2005 ละสามารถเลือกใช้ขึ้นส่วนเป็นกลุ่มได้ตามการใช้งานจริง ซึ่งจากบทที่ 4 นั้นได้มีการทำการศึกษาตัวอย่าง 4 ตัวอย่างเพื่อเปรียบเทียบกับผลงานวิจัยเก่าๆที่ผ่านมา โดยมีผลงานวิจัยดังจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

5.2. ผลที่ได้จากงานวิจัย

ตัวอย่างที่ 2 เป็นโครงถักเสาไฟฟ้า โดยตัวอย่างนี้จะเป็นการเปรียบเทียบผลของการวิเคราะห์โครงสร้างแบบเชิงเส้น และไม่เชิงเส้น โดยการเปรียบเทียบจะเปรียบเทียบผลที่ได้ระหว่างงานวิจัยนี้กับโปรแกรม SAP2000 ซึ่งงานวิจัยนี้ให้ผลที่ได้ใกล้เคียงกับผลที่ได้จาก SAP2000 จะมีความคลาดเคลื่อนบ้างในบางตำแหน่งทั้งแบบเชิงเส้น และไม่เชิงเส้น ซึ่งปัญหาและความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น เกิดจากปัญหาเชิงตัวเลขที่เกิดขึ้นในตัวแก้สมการ (solver)

ตัวอย่างที่ 3 เป็นโครงถักระนาบ โดยตัวอย่างนี้จะมีการเทียบผลของการออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดทั้งวิธีการวิเคราะห์แบบเชิงเส้น และไม่เชิงเส้น โดยจะเปรียบเทียบกับผลงานวิจัยที่ผ่านมา^[12] และโปรแกรม DTRUSS ซึ่งจากผลที่ได้นั้น ผลที่ได้ระหว่างการวิเคราะห์แบบเชิงเส้น และไม่เชิง

เส้นสำหรับการออกแบบด้วยข้อกำหนด AISC/ASD 2005 นั้นจะให้ขนาดโครงสร้างที่เท่ากันคือ 590 กก. เนื่องจากว่าในโครงถักนี้ผลเนื่องจากการเปลี่ยนตำแหน่งมีไม่สูงมาก ทำให้แรงที่เกิดขึ้นของการวิเคราะห์แบบไม่เชิงเส้นต่างจากการวิเคราะห์เชิงเส้นไม่มากเท่าไรนัก ทำให้ขนาดหน้าตัดที่ใช้ในการวิเคราะห์แบบเชิงเส้นยังสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้ เมื่อจะพิจารณาผลที่เพิ่มขึ้นของการวิเคราะห์แบบไม่เชิงเส้น ส่วนในการออกแบบด้วยข้อกำหนด AISC/LRFD จะให้น้ำหนักของโครงสร้างด้วยการวิเคราะห์แบบเชิงเส้น และไม่เชิงเส้น 590 และ 605 กก.ตามลำดับ และเมื่อนำผลที่ได้นี้มาเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมา^[12] จะพบว่าในงานวิจัยที่ผ่านมาให้น้ำหนักโครงสร้าง 744 กก. และ 767 กก. ซึ่งจะเห็นว่าผลที่ได้จากงานวิจัยนี้ได้ผลที่ใช้ปริมาณเหล็กต่ำกว่า ประมาณ 20.70% และ 23.04% ตามลำดับ และการเปรียบเทียบผลที่ได้จากโปรแกรม DTRUSS จะเปรียบเทียบกับกรออกแบบด้วยข้อกำหนด AISC/ASD โดยผลที่ได้จากโปรแกรม DTRUSS นั้นจะให้น้ำหนักโครงสร้าง 854 กก. ซึ่งงานวิจัยนี้จะใช้น้ำหนักโครงสร้างต่ำกว่า 30.89%

ตัวอย่างที่ 4 เป็นโครงถักเสาไฟฟ้าระนาบ โดยตัวอย่างนี้จะมีการเทียบผลของการออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดทั้งวิธีการวิเคราะห์แบบเชิงเส้น และไม่เชิงเส้น โดยจะเปรียบเทียบกับผลงานวิจัยที่ผ่านมา^[12] และโปรแกรม DTRUSS ซึ่งจากผลที่ได้นั้น ผลที่ได้ระหว่างการวิเคราะห์แบบเชิงเส้น และไม่เชิงเส้นสำหรับการออกแบบด้วยข้อกำหนด AISC/ASD 2005 นั้นจะให้ขนาดโครงสร้างด้วยการวิเคราะห์แบบเชิงเส้น และไม่เชิงเส้น 192 กก. และ 197 กก. ตามลำดับ และเมื่อนำผลที่ได้นี้มาเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมา^[12] จะพบว่าในงานวิจัยที่ผ่านมาให้น้ำหนักโครงสร้าง 246 กก. ซึ่งจะเห็นว่าผลที่ได้จากงานวิจัยนี้ได้ผลที่ใช้ปริมาณเหล็กต่ำกว่า ประมาณ 21.76% และการเปรียบเทียบผลที่ได้จากโปรแกรม DTRUSS จะเปรียบเทียบกับกรออกแบบด้วยข้อกำหนด AISC/ASD โดยผลที่ได้จากโปรแกรม DTRUSS นั้นจะให้น้ำหนักโครงสร้าง 258 กก. ซึ่งงานวิจัยนี้จะใช้น้ำหนักโครงสร้างต่ำกว่า 25.58%

ตัวอย่างที่ 5 เป็นโครงถักกระนาบ โดยตัวอย่างนี้จะมีการเทียบผลของการออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดทั้งวิธีการวิเคราะห์แบบเชิงเส้น และไม่เชิงเส้น โดยจะเปรียบเทียบกับผลงานวิจัยที่ผ่านมา^[12] และโปรแกรม DTRUSS ซึ่งจากผลที่ได้นั้น ผลที่ได้ระหว่างการวิเคราะห์แบบเชิงเส้น และไม่เชิงเส้นสำหรับการออกแบบด้วยข้อกำหนด AISC/ASD 2005 และ AISC/LRFD 2005 นั้นจะให้ขนาดโครงสร้างที่เท่ากันคือ 1,553 กก. เนื่องจากว่าในโครงถักนี้ผลเนื่องจากการเปลี่ยนตำแหน่งมีไม่สูงมาก ทำให้แรงที่เกิดขึ้นของการวิเคราะห์แบบไม่เชิงเส้นต่างจากการวิเคราะห์เชิงเส้นไม่มากเท่าไรนัก ทำให้ขนาดหน้าตัดที่ใช้ในการวิเคราะห์แบบเชิงเส้นยังสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้ เมื่อจะพิจารณาผลที่เพิ่มขึ้นของการวิเคราะห์แบบไม่เชิงเส้น เมื่อนำผลที่ได้นี้มาเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมา^[12] จะ

พบว่าในงานวิจัยที่ผ่านมาให้น้ำหนักโครงสร้าง 2,139 กก. ซึ่งจะเห็นว่าผลที่ได้จากงานวิจัยนี้ได้ผลที่ใช้ปริมาณเหล็กต่ำกว่า ประมาณ 27.41%

5.3. สรุปผลงานวิจัย

จะเห็นได้ว่าวิธีอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมนั้นสามารถประยุกต์กับงานออกแบบโครงสร้างได้เป็นอย่างดี และผลของการออกแบบที่ได้นั้นให้ค่าที่มีน้ำหนักโดยรวมของโครงสร้างดีกว่างานวิจัยที่ผ่านมา โดยมีข้อบังคับในการออกแบบ (constraint) คือทุกองค์อาคารสามารถรับน้ำหนักบรรทุกที่เกิดขึ้นได้ และมีอัตราส่วนความชะลูดไม่เกินค่าที่กำหนดให้ ซึ่งการวิเคราะห์นี้จะมีทั้งการวิเคราะห์แบบเชิงเส้นและไม่เชิงเส้น และจากผลงานวิจัยจะพบว่า การวิเคราะห์แบบไม่เชิงเส้นจะให้ค่าน้ำหนักที่กระทำกับองค์อาคารสูงกว่าการวิเคราะห์แบบเชิงเส้น ทำให้โครงสร้างที่ได้จากการพิจารณาพฤติกรรมไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิตมีน้ำหนักโครงสร้างรวมสูงกว่าไม่พิจารณาพฤติกรรมไม่เชิงเส้นอยู่เล็กน้อย

ในส่วนของการเลือกใช้ชนิดของหน้าตัดของอาคารจะต้องมีการใส่หน้าตัดเริ่มต้น เพื่อให้การออกแบบนั้นมีแนวทางในการเลือกใช้ชนิดของหน้าตัดไปในทางเดียวกัน และสามารถนำมาใช้งานจริงได้ โดยชนิดของหน้าตัดที่เลือกใช้ได้นั้นได้แก่ เหล็กฉาก (angle), หน้าตัดตัว C (channel), คานรูปตัว H (H-beam), คานรูปตัว I (I-beam), ท่อกลม (pipe) และท่อเหลี่ยม (tube) ดังนั้นความเหมาะสมในการเลือกชนิดหน้าตัดสำหรับโครงสร้างนั้นจะถูกกำหนดโดยผู้ใช้ แต่ปัญหาที่จะพบในการออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดนี้คือจำนวนชุดข้อมูลที่ต้องใช้ในการออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุด หากมีค่าน้อยเกินไปจะทำให้คำตอบที่ได้แม่นยำไม่เพียงพอ และหากมากเกินไปก็จะทำให้เสียเวลาในการวิเคราะห์นานเกินไป จึงต้องมีการหาจำนวนชุดข้อมูลที่เหมาะสมก่อนที่จะทำการออกแบบเสียก่อน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.4. ข้อเสนอแนะและงานวิจัยต่อเนื่อง

1. ในงานวิจัยนี้สามารถทำการวิเคราะห์ห่ออกแบบได้กับโครงถัก 2 มิติเท่านั้น จึงสามารถนำวิธีการออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดด้วยวิธีอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมไปพัฒนาประยุกต์ใช้กับโครงข้อแข็งได้ หรือสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการออกแบบทางกายภาพของโครงสร้าง
2. ในงานวิจัยนี้จะพิจารณาวิเคราะห์เพียงผลของความไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิตก่อนถึงจุดขีดจำกัดเท่านั้น จึงสามารถพัฒนาพิจารณาผลของเสถียรภาพนอกระนาบของโครงสร้าง หรือพิจารณาผลการวิเคราะห์แบบไม่เชิงเส้นเมื่อวัสดุมีพฤติกรรมแบบอลาสติก
3. ในงานวิจัยนี้จะพิจารณาภายใต้เงื่อนไขว่าทุกจุดต่อเป็นโครงข้อหมุน หรือใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความยาวขององค์อาคารเป็น 1.0 เท่านั้น สามารถนำไปพัฒนาการพิจารณาผลของสภาพความแข็งของจุดต่อได้ (rigidity of joint)

รายการอ้างอิง

1. AISC. Specifications for Structural Steel Buildings. Chicago, Illinois : American Institute of Steel Construction, March 9, 2005.
2. Theodore V. Galambos. Guide to Stability Design Criteria for Metal Structures. 5th ed. New York : John Wiley&Sons, 1998.
3. Gaylord, E.H., Jr., Gaylord, C.N. and Stallmeyer, J.E. Design of Steel Structures. 3rd ed. Singapore : Mc-Graw-Hill, 1992.
4. Knot, N.S. Nonlinear Analysis of Optimized Structure with Constraints on System Stability. AIAA Journal, 21, 8, August 1983 : 1181-1186.
5. Knot, N.S and Kamat, M.P. Minimum Weight Design of Structures with Geometric Nonlinear Behavior. AIAA/ASME/ASCE/AHS, 24th , Structures, Structural Dynamics and Materials Conference, Lake Tahoe, Nevada, 1983 :383-391.
6. Smith, J.C. Structural Steel Design : LRFD Approach. 2nd ed. New York : John Wiley&Sons, 1996.
7. Kirsch, Uri. Optimum Structural Design. New York : McGraw-Hill, 1981.
8. Chen, W.F. and Lui, E.M. Structural Stability. New York : ELSEVIER, 1987.
9. Arora, J.S. Introduction to Optimum Design. New York : McGraw-Hill, 1989.
10. ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์. การวิเคราะห์โครงสร้าง. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2538 (1996).
11. ทักษิณ เทพชาตรี. พฤติกรรมและการออกแบบโครงสร้างเหล็ก. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2541 (1999).
12. วีระพงษ์ ไชยสถิตวานิช. การคำนวณออกแบบอย่างเหมาะสมสำหรับโครงถักกระดานที่มีพฤติกรรมไม่เชิงเส้นโดยใช้วิธีงานสมมติ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต ภาควิชา วิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2539 (1997).
13. ธนพล บัวมงคล. การคำนวณออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดสำหรับโครงหลังคาเหล็กแบบโครงถักช่วงยาวที่มีพฤติกรรมไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิตโดยมีเงื่อนไขของเสถียรภาพในระนาบ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2544 (2003).
14. David E. Goldberg. Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning. Reading, Massachusetts : Addison-Wesley Publishing Company, 1989.

15. Melanie Mitchell. An Introduction to Genetic Algorithms. Massachusetts : A Bradford Book, 1996.
16. William McGuire, Richard H. Gallagher Ronald and D. Ziemian. Matrix Structural Analysis, 2nd ed. New York : John Wiley&Sons, 2000.
17. Przemieniecki, J.S. Theory of Matrix Structure Analysis. New York : McGraw-Hill, 1968.
18. Sedaghati, R.;Tabarrok, B. Optimum Design of Truss Structures Undergoing Large Deflections Subject to a System Stability Constraint. Int. J. Numer. Meth. Engng. 200;48:421-434.
19. Kalyanmoy Deb*, Surendra Gulati. Design of Truss-Structures for Minimum Weight Using Genetic Algorithms. Finite Elements in Analysis and Design, 37, (2001) : 447-465
20. Fuat Erbatur, Oğuzhan Hasançebi, İlker Tütüncü, Hakan Kılıç. Optimal Design of Planar and Space Structures with Genetic Algorithms. Computer and Structures, 75, (2000) : 209-224
21. Clarke, Murray J; Hancock, Gregory J. A Study of Incremental-Iterative Strategies for Non-Linear Analyses. J. Numer. Meth. Engng. 29, (1990) : 1365-1391

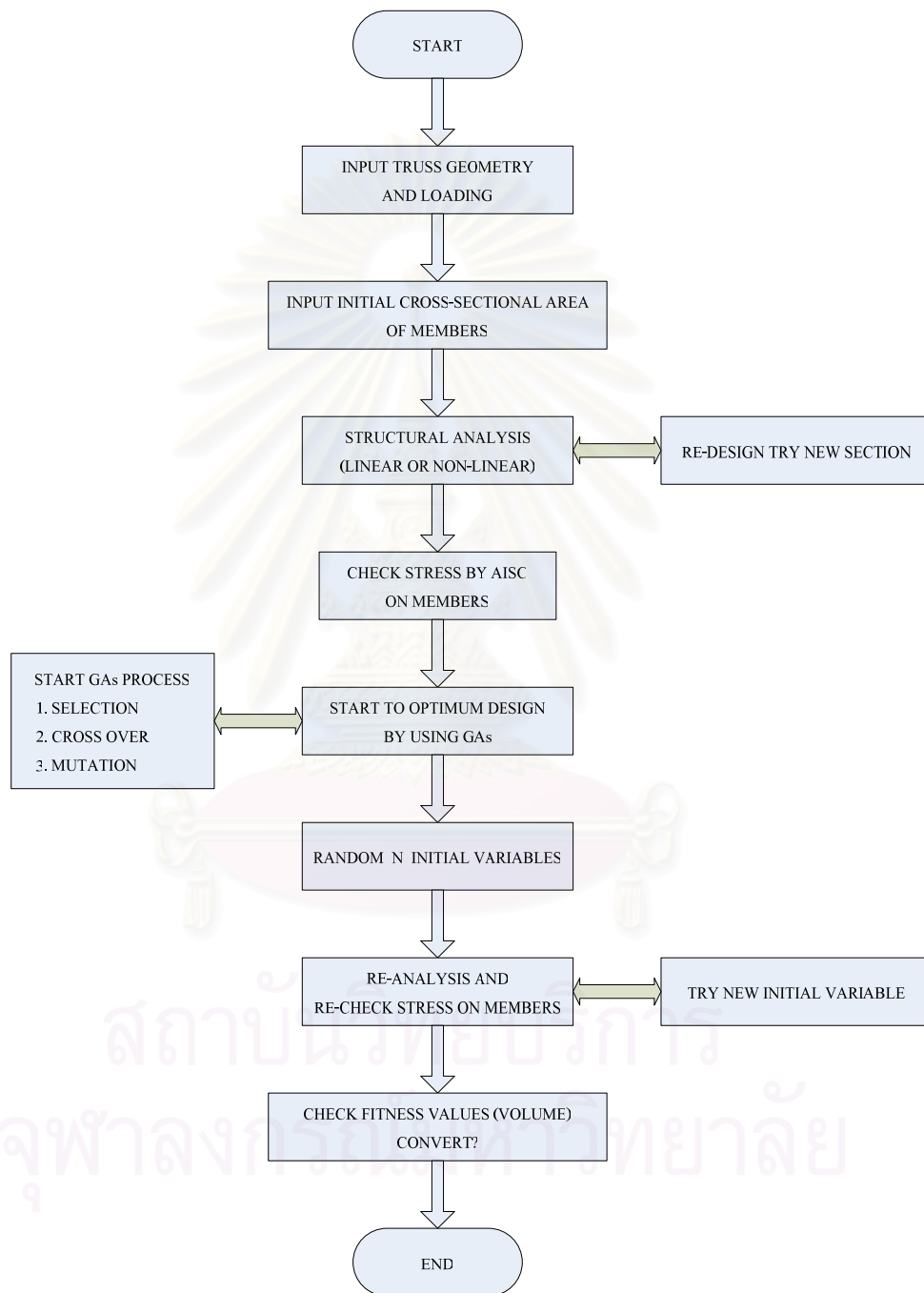


ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.

ขั้นตอนการวิเคราะห์และออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุด



รูปที่ ก.1 แผนภูมิสายงานการวิเคราะห์และออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุด

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายวรรณถ แซ่มสุวรรณ เกิดเมื่อวันที่ 25 พฤศจิกายน พ.ศ. 2521 ที่จังหวัด
กรุงเทพฯ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา จากจุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา พ.ศ.2542 และเข้ารับการศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชา
วิศวกรรมโยธา จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2545



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย