



การออกแบบโครงข้อมุมนที่เหมาะสมด้วยกระบวนการทางพันธุศาสตร์

โดย

สมศักดิ์ สถิตเกษมสานต์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมโครงสร้าง ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

พ.ศ. 2552

การออกแบบโครงข้้อมูลที่เหมาะสมด้วยกระบวนการทางพันธุศาสตร์

โดย

สมศักดิ์ สถิตเกษมสานต์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมโครงสร้าง ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

พ.ศ. 2552

# Optimum Design of Trusses by using Genetic Algorithms

By

Somsak Sathitkasemsan

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering  
in Structural Engineering Department of Civil Engineering  
Faculty of Engineering  
Thammasat University  
2009

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

วิทยานิพนธ์

ของ

สมศักดิ์ สถิตเกษมสานต์

เรื่อง

การออกแบบโครงข้อหมุนที่เหมาะสมด้วยกระบวนการทางพันธุศาสตร์

ได้รับการตรวจสอบและอนุมัติ ให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

เมื่อ วันที่ 22 พฤษภาคม 2552

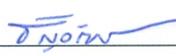
ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กตายุทธ์ ชมภูมิ่ง)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นเรศ ลิ้มสัมพันธ์เจริญ)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
(รองศาสตราจารย์ ดร. ธัญวัฒน์ โพธิศิริ)

คณบดี

  
(รองศาสตราจารย์ ดร. อรุยา วิสกุล)

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการประยุกต์ใช้กระบวนการทางพันธุศาสตร์ (Genetic algorithm, GA) ในการออกแบบที่เหมาะสม (Optimum design) ของโครงข้อหมุนโดยพิจารณาทั้งในเรื่องรูปร่างที่เหมาะสมของโครงข้อหมุนและขนาดหน้าตัดที่เหมาะสมของชิ้นส่วนของโครงข้อหมุน วิธีที่นำเสนอกำหนดใช้มาตรฐาน AISC(LRFD) ของประเทศสหรัฐอเมริกาเป็นมาตรฐานในการออกแบบโดยพิจารณาผลของอัตราส่วนความชะลูดของชิ้นส่วนโครงข้อหมุนที่มีต่อความสามารถในการรับแรงกดหรือแรงดึงของชิ้นส่วนโครงข้อหมุนด้วย จุดเด่นของงานวิจัยได้แก่การพัฒนาวิธีใหม่ในการคัดเลือกสายพันธุ์แบบจัดลำดับ (Ranking selection scheme) เพื่อใช้ในกระบวนการหาคำตอบของ GA วิธีการคัดเลือกดังกล่าวพัฒนาขึ้นจากการประเมินประสิทธิภาพของโครงข้อหมุนในการใช้ปริมาณเนื้อวัสดุเพื่อรับน้ำหนักบรรทุกที่กำหนด และเนื่องจากวิธีนี้ไม่ใช้ฟังก์ชันการลงโทษ (Penalty function) ดังนั้นจึงไม่มีอุปสรรคในการไม่สามารถกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ตายตัวสำหรับฟังก์ชันการลงโทษเหมือนที่พบในวิธีอื่น ผลการศึกษาจากกรณีตัวอย่างจำนวน 16 ตัวอย่างพบว่า วิธีการที่นำเสนอให้ผลการออกแบบโครงข้อหมุนที่มีความเหมาะสมในระดับดีเมื่อเทียบกับผลงานวิจัยอื่น ทั้งในเรื่องขนาดหน้าตัดที่เหมาะสมของชิ้นส่วนและรูปร่างที่เหมาะสมของโครงข้อหมุน ผลงานวิจัยบ่งชี้ว่าวิธีการที่นำเสนอมีประสิทธิภาพเพียงพอและสามารถนำไปพัฒนาเป็นโปรแกรมสำเร็จรูปในงานออกแบบโครงข้อหมุนต่อไป

## Abstract

This research presents the application of genetic algorithms (GA) in optimum design of trusses both in terms of optimum sizes of members and optimum topology for the truss. AISC (LRFD) standard is used as reference design standard in which load resisting capacity of members, both in tensions and compressions, are also controlled by their slenderness ratios. Distinctive feature of the proposed method is the newly proposed ranking selection scheme to be used in searching process of GA. This selection scheme is based on the evaluation of effectiveness of truss in using materials to resist the given loads. The proposed method does not involve the use of penalty function thus it is free from difficulty in selecting for the appropriate values of penalty parameters. Sixteen problems in truss design are used to demonstrate the effectiveness of the proposed method and it is found that the results are satisfactory as compared with previous published researches. The proposed method has a potential to be developed as a computer program in aiding the design of trusses in the future.

## กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้านายสมศักดิ์ สถิตเกษมสานต์ ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงต่อ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นเรศ ลิ้มสัมพันธ์เจริญ ซึ่งท่านเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่กรุณาให้ความรู้ คำปรึกษา ความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ ตลอดจนตรวจทานแก้ไขจนกระทั่งการเขียนวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลงด้วยดี และขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กฤดายุทธ์ ชมภูมิ่ง และรองศาสตราจารย์ ดร. ธัญวัฒน์ โพธิศิริ ที่ได้กรุณาตรวจทานแก้ไขจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จเรียบร้อยด้วยดี

สุดท้ายนี้ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะสำเร็จไม่ได้ถ้าปราศจากกำลังใจจากบิดามารดา ภรรยาและสมาชิกทุกคนในครอบครัว ข้าพเจ้าขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้

สมศักดิ์ สถิตเกษมสานต์

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

พ.ศ. 2552

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ .....	(1)
Abstract .....	(2)
กิตติกรรมประกาศ.....	(3)
สารบัญตาราง .....	(7)
สารบัญภาพประกอบ.....	(10)
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ .....	2
2. งานวิจัยและงานเขียนอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง.....	4
3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง .....	6
3.1 การวิเคราะห์และออกแบบโครงข่าย.....	6
3.1.1 วิธีการวิเคราะห์ .....	6
3.1.2 วิธีการออกแบบ .....	7

3.2	กระบวนการทางพันธุศาสตร์ (GAs) .....	11
3.2.1	GAs คืออะไร .....	11
3.2.2	GAs ทำงานอย่างไร .....	12
3.3	งานวิจัยของนเรศ [7] .....	13
4.	ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยและผลของการวิจัย .....	20
4.1	การวิจัยกลุ่มที่ 1 .....	23
4.1.1	ตัวอย่างที่ 1 .....	24
4.1.2	ตัวอย่างที่ 2 .....	30
4.1.3	ตัวอย่างที่ 3 .....	36
4.1.4	ตัวอย่างที่ 4 .....	42
4.2	การวิจัยกลุ่มที่ 2 .....	47
4.2.1	ตัวอย่างที่ 5 .....	48
4.2.2	ตัวอย่างที่ 6 .....	53
4.2.3	ตัวอย่างที่ 7 .....	57
4.2.4	ตัวอย่างที่ 8 .....	63
4.2.5	ตัวอย่างที่ 9 .....	69
4.3	การวิจัยกลุ่มที่ 3 .....	74
4.3.1	ตัวอย่างที่ 10 .....	76
4.3.2	ตัวอย่างที่ 11 .....	81
4.3.3	ตัวอย่างที่ 12 .....	86
4.3.4	ตัวอย่างที่ 13 .....	91
4.3.5	ตัวอย่างที่ 14ก .....	96
4.3.6	ตัวอย่างที่ 14ข .....	100
4.3.7	ตัวอย่างที่ 15ก .....	105
4.3.8	ตัวอย่างที่ 15ข .....	110
4.3.9	ตัวอย่างที่ 16 .....	116

5. สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ.....	126
5.1 สรุปผลการศึกษาวิจัย .....	126
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	129
บรรณานุกรม .....	130
ภาคผนวก	
ชุดคำสั่งควบคุม.....	134
ประวัติการศึกษา.....	148

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
4.1	สรุปรายละเอียดการวิจัย.....	21
4.2	ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 1 น้ำหนักโครงข้อหมุน (กิโลกรัม).....	26
4.3	ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 1 พื้นที่หน้าตัดและตำแหน่งของจุดต่อที่ 3.....	27
4.4	การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 1.....	28
4.5	แสดงพื้นที่หน้าตัดและการเคลื่อนที่ของจุดต่อที่ 3 เมื่อน้ำหนักกระทำ เปลี่ยนแปลง ในตัวอย่างที่ 1.....	29
4.6	ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 2 น้ำหนักโครงข้อหมุน (กิโลกรัม).....	32
4.7	สรุปผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 2 พื้นที่หน้าตัดและตำแหน่งของจุดต่อที่ 3.....	33
4.8	การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 2.....	34
4.9	แสดงพื้นที่หน้าตัดและการเคลื่อนที่ของจุดต่อที่ 3 เมื่อน้ำหนักกระทำ เปลี่ยนแปลง ในตัวอย่างที่ 2.....	35
4.10	ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 3 น้ำหนักโครงข้อหมุน (กิโลกรัม).....	38
4.11	สรุปผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 3 พื้นที่หน้าตัดและตำแหน่งของจุดต่อที่ 3.....	39
4.12	การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 3.....	40
4.13	แสดงพื้นที่หน้าตัดและการเคลื่อนที่ของจุดต่อที่ 3 เมื่อน้ำหนักกระทำ เปลี่ยนแปลง ในตัวอย่างที่ 3.....	41
4.14	ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 4 น้ำหนักโครงข้อหมุน (นิวตัน).....	45
4.15	สรุปผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 4 พื้นที่หน้าตัดและตำแหน่งจุดต่อที่ 4 และ 5.	46
4.16	เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 4 กับงานวิจัยในอดีต.....	46
4.17	ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 5 น้ำหนักโครงข้อหมุน (กิโลกรัม).....	50
4.18	สรุปผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 5 พื้นที่หน้าตัด.....	51
4.19	การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 5.....	52
4.20	ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 6 น้ำหนักโครงข้อหมุน (กิโลกรัม).....	54
4.21	สรุปผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 6 พื้นที่หน้าตัด.....	55
4.22	การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 6.....	56
4.23	ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 7 น้ำหนักโครงข้อหมุน (กิโลกรัม).....	59

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
4.24	สรุปผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 7 พื้นที่หน้าตัดและตำแหน่งจุดต่อที่ 3.....	60
4.25	การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 7.....	61
4.26	แสดงพื้นที่หน้าตัดและการเคลื่อนที่ของจุดต่อที่ 3 เมื่อน้ำหนักกระทำ เปลี่ยนแปลง ในตัวอย่างที่ 7 .....	62
4.27	ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 8 น้ำหนักโครงข้อหมุน (กิโลกรัม).....	65
4.28	สรุปผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 8 พื้นที่หน้าตัดและตำแหน่งจุดต่อที่ 3.....	66
4.29	การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 8.....	67
4.30	แสดงพื้นที่หน้าตัดและการเคลื่อนที่ของจุดต่อที่ 3 เมื่อน้ำหนักกระทำ เปลี่ยนแปลง ในตัวอย่างที่ 8 .....	68
4.31	ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 9 น้ำหนักโครงข้อหมุน (นิวตัน).....	71
4.32	สรุปผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 9 พื้นที่หน้าตัดและตำแหน่ง จุดต่อที่ 2, 3, 4 และ 5 .....	72
4.33	เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 9 กับงานวิจัยในอดีต .....	73
4.34	ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 10 น้ำหนักโครงข้อหมุน (กิโลกรัม).....	78
4.35	สรุปผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 10 พื้นที่หน้าตัดและตำแหน่งจุดต่อที่ 3 .....	79
4.36	การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 10.....	80
4.37	ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 11 น้ำหนักโครงข้อหมุน (กิโลกรัม).....	83
4.38	สรุปผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 11 พื้นที่หน้าตัดและตำแหน่งจุดต่อที่ 3.....	84
4.39	การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 11.....	85
4.40	ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 12 น้ำหนักโครงข้อหมุน (กิโลกรัม).....	88
4.41	สรุปผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 12 พื้นที่หน้าตัดและตำแหน่งจุดต่อที่ 3.....	89
4.42	การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 12.....	90
4.43	ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 13 น้ำหนักโครงข้อหมุน (กิโลกรัม).....	93
4.44	สรุปผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 13 พื้นที่หน้าตัดและตำแหน่งจุดต่อที่ 3.....	94
4.45	การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 13.....	95
4.46	ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 14ก น้ำหนักโครงข้อหมุน (กิโลกรัม).....	98

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
4.47	สรุปผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 14ก พื้นที่หน้าตัดของแต่ละชั้นส่วน และตำแหน่งแนวตั้งของจุดต่อที่ 4, 5 และ 6.....	99
4.48	ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 14ข น้ำหนักโครงข้อหมุน (กิโลกรัม).....	102
4.49	สรุปผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 14ข พื้นที่หน้าตัดของแต่ละชั้นส่วน และตำแหน่งแนวตั้งของจุดต่อที่ 4, 5 และ 6.....	103
4.50	ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 15ก น้ำหนักโครงข้อหมุน (กิโลกรัม).....	108
4.51	สรุปผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 15ก พื้นที่หน้าตัดของแต่ละชั้นส่วน และตำแหน่งแนวตั้งของจุดต่อที่ 2, 4, 5 และ 6.....	109
4.52	ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 15ข น้ำหนักโครงข้อหมุน (กิโลกรัม).....	113
4.53	สรุปผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 15ข พื้นที่หน้าตัดของแต่ละชั้นส่วน และตำแหน่งแนวตั้งของจุดต่อที่ 2, 4, 5 และ 6.....	114
4.54	ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 16 (กลุ่มน้ำหนักบรรทุกทุกกลุ่มที่ 1) น้ำหนัก โครงข้อหมุน (กิโลกรัม).....	119
4.55	สรุปผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 16 (กลุ่มน้ำหนักบรรทุกทุกกลุ่มที่ 1) พื้นที่หน้าตัดและตำแหน่งจุดต่อ 2, 3 และ 4 .....	120
4.56	ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 16 (กลุ่มน้ำหนักบรรทุกทุกกลุ่มที่ 2) น้ำหนัก โครงข้อหมุน (กิโลกรัม).....	121
4.57	สรุปผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 16 (กลุ่มน้ำหนักบรรทุกทุกกลุ่มที่ 2) พื้นที่หน้าตัดและตำแหน่งจุดต่อ 2, 3 และ 4 .....	122
4.58	ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 16 (กลุ่มน้ำหนักบรรทุกทุกกลุ่มที่ 1 และ กลุ่มน้ำหนักบรรทุกทุกกลุ่มที่ 2) น้ำหนักโครงข้อหมุน (กิโลกรัม) .....	123
4.59	สรุปผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 16 (กลุ่มน้ำหนักบรรทุกทุกกลุ่มที่ 1 และ กลุ่มน้ำหนักบรรทุกทุกกลุ่มที่ 2) พื้นที่หน้าตัดและตำแหน่งจุดต่อ 2, 3 และ 4.....	124

## สารบัญญภาพประกอบ

ภาพที่		หน้า
3.1	มุมมองของชั้นส่วน .....	7
3.2	แผนผังทั่วไปของน้ำหนักโครงสร้างและความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุก.....	16
3.3	การแจกแจงเชิงเส้นของค่าความแข็งแรงตามอันดับ .....	17
3.4	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายรวมและความสามารถในการรับน้ำหนักที่น้ำหนักโครงสร้างคงที่ .....	19
4.1	โครงข้อหมุน 2 ชั้นส่วนรับแรงดึง .....	24
4.2	โครงข้อหมุน 2 ชั้นส่วนรับแรงดึงและแรงอัด .....	36
4.3	เปรียบเทียบรูปร่างเริ่มต้นและรูปร่างที่เหมาะสมของโครงข้อหมุน 10 ชั้นส่วนรับแรงดึงและแรงอัด (ก) รูปร่างเริ่มต้น (ข) รูปร่างที่เหมาะสม .....	42
4.4	โครงข้อหมุน 9 ชั้นส่วนรับแรงดึงและแรงอัด .....	48
4.5	เปรียบเทียบรูปร่างเริ่มต้นและรูปร่างที่เหมาะสมโครงข้อหมุน 18 ชั้นส่วนรับแรงดึงและแรงอัด (ก) รูปร่างเริ่มต้น (ข) รูปร่างที่เหมาะสม .....	69
4.6	รูปร่างเริ่มต้นและรูปร่างที่เหมาะสมของโครงข้อหมุน 9 ชั้นส่วนรับแรงดึงและแรงอัด ในตัวอย่างที่ 14ก (ก) รูปร่างเริ่มต้น (ข) รูปร่างที่เหมาะสม .....	96
4.7	รูปร่างเริ่มต้นและรูปร่างที่เหมาะสมของโครงข้อหมุน 9 ชั้นส่วนรับแรงดึงและแรงอัด ในตัวอย่างที่ 14ข (ก) รูปร่างเริ่มต้น (ข) รูปร่างที่เหมาะสม .....	100
4.8	รูปร่างเริ่มต้นและรูปร่างที่เหมาะสมของโครงข้อหมุน 11 ชั้นส่วนรับแรงดึงและแรงอัด ในตัวอย่างที่ 15ก (ก) รูปร่างเริ่มต้น (ข) รูปร่างที่เหมาะสม .....	105
4.9	รูปร่างเริ่มต้นและรูปร่างที่เหมาะสมของโครงข้อหมุน 9 ชั้นส่วนรับแรงดึงและแรงอัด ในตัวอย่างที่ 15ข (ก) รูปร่างเริ่มต้น (ข) รูปร่างที่เหมาะสม .....	110
4.10	รูปร่างเริ่มต้นและรูปร่างที่เหมาะสมของโครงข้อหมุน 13 ชั้นส่วนรับแรงดึงและแรงอัด .....	116

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความสำคัญของปัญหา

การออกแบบโครงสร้างที่เหมาะสมหมายถึง การออกแบบที่คำนึงถึงความสามารถของโครงสร้างในการรับน้ำหนักบรรทุกทุกตามที่ต้องการได้อย่างปลอดภัยตามมาตรฐานการออกแบบ และมีราคาก่อสร้างโดยประเมินน้อย โดยทั่วไปราคาค่าก่อสร้างโดยประเมินจะพิจารณาจากน้ำหนักของโครงสร้าง โดยมีสมมติฐานว่าโครงสร้างที่มีน้ำหนักน้อยย่อมใช้วัสดุในการก่อสร้างน้อย ส่วนในด้านความปลอดภัยและการใช้งานจะพิจารณาจากข้อกำหนดด้านกำลัง ความแข็งแรง และการเสถียรของโครงสร้างเป็นสำคัญ โครงสร้างที่เหมาะสม เป็นเรื่องวิฤติและท้าทายผู้ออกแบบในปัจจุบันซึ่งมีการแข่งขันกันสูง การออกแบบโครงสร้างที่เหมาะสม คือ การออกแบบให้ได้โครงสร้างที่ประหยัดทั้งเวลาและค่าใช้จ่าย รวมทั้งได้โครงสร้างที่ปลอดภัยในระยะเวลาอันสั้น เพื่อให้ได้ผลผลิตมากในเวลาอันจำกัด แต่ปัญหาและอุปสรรคสำคัญที่มีอยู่ในปัจจุบัน คือ ในการออกแบบนั้นมาตรฐานที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันซับซ้อนและมีข้อจำกัด ข้อยกเว้น ข้อควรระวังเป็นจำนวนมาก รวมทั้งในบางเรื่องต้องอาศัยประสบการณ์ของผู้ออกแบบและบางเรื่องต้องมีการลองผิดลองถูก ซึ่งทำให้เสียเวลาและค่าใช้จ่ายเป็นจำนวนมากและยังไม่สามารถยืนยันได้ว่าโครงสร้างที่ออกแบบมานั้นเป็นโครงสร้างที่เหมาะสม ดังนั้นถ้าแก้ไขปัญหาในเรื่องดังกล่าวได้ จะทำให้สามารถออกแบบโครงสร้างที่ความเหมาะสมในเวลาอันรวดเร็วและไม่ต้องอาศัยประสบการณ์ของผู้ออกแบบมาก

วิธีการที่มีการศึกษาและใช้กันอยู่ส่วนใหญ่จะใช้หลักการ Optimization โดยสร้างฟังก์ชันเป้าประสงค์ (Objective Function) ในรูปของ Constraint Problem และใช้วิธีการปรับโทษ (Penalty Method) ในการปรับแก้ วิธี Penalty มีปัญหาเรื่องการทำหนด Penalty Function และ Penalty Parameter เพราะผู้ใช้ไม่สามารถรู้ค่าที่เหมาะสมล่วงหน้าได้ ต้องอาศัยการลองผิดลองถูกซึ่งขึ้นอยู่กับแต่ละปัญหา และขึ้นกับหน่วยที่ใช้ด้วย ดังนั้นวิธี Penalty จึงมีวิธีที่เหมาะสมในทางปฏิบัติ ปัญหาอีกประการหนึ่ง คือ ขนาดหน้าตัดของชิ้นส่วนในการออกแบบซึ่งเป็นตัวแปรแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Variable) ดังนั้นวิธีทางคณิตศาสตร์ที่ต้องพึ่งพาการคำนวณ gradient จึงไม่มีประสิทธิภาพและยากต่อการใช้งาน

ในการออกแบบโครงสร้างที่เหมาะสม วิธีที่ดีควรเป็นวิธีที่ใช้ง่าย มีตัวแปรหรือค่าที่ต้องกำหนดน้อยหรือไม่มีเลย และต้องมีประสิทธิภาพ วิธีที่ดีต้องอ้างอิงบนพื้นฐานของการออกแบบตามมาตรฐานสากล เช่น AISC/LRFD (2005) ซึ่งวิธีที่พัฒนาขึ้นจากทฤษฎีหน่วยแรงใช้งาน (Allowable Stress Design: ASD) จึงอาจไม่สอดคล้องกับมาตรฐานสากลในปัจจุบัน รวมทั้งวิธีที่ดีต้องสามารถรวม (Integrated) เข้ากับโปรแกรมที่มีวัตถุประสงค์ทางการค้า (Commercial Software) ได้ด้วย

จากการวิจัยของนเรศ [7] ซึ่งเสนอกฎในการคัดเลือกสายพันธุ์ และใช้วิธีการคัดเลือกสายพันธุ์ด้วยวิธีการจัดอันดับ (Ranking Selection Scheme) แทนที่การใช้วิธีปรับโทษ (Penalty Method) ในการออกแบบโครงข้อมุมที่เหมาะสม แสดงให้เห็นว่า วิธีการดังกล่าวมีประสิทธิภาพ แต่ยังเป็นวิธีที่อยู่บนพื้นฐานของทฤษฎีหน่วยแรงใช้งาน (Allowable Stress Design: ASD) และรูปร่างของโครงข้อมุมยังเป็นแบบตายตัว (Fixed Geometry) ซึ่งอาจจะไม่ใช่รูปร่างที่เหมาะสมที่สุดก็เป็นได้ การพัฒนาวิธีการดังกล่าวให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น และสอดคล้องกับมาตรฐานการออกแบบในปัจจุบัน และสามารถวิเคราะห์หารูปร่างของโครงข้อมุมที่เหมาะสมได้ด้วย จึงเป็นหัวข้อวิจัยที่สำคัญและมีประโยชน์อย่างยิ่งต่อสังคมวิศวกร

## 1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อพัฒนากฎในการคัดเลือกสายพันธุ์เพื่อการออกแบบโครงข้อมุมที่เหมาะสม โดยใช้วิธีการคัดเลือกสายพันธุ์ด้วยวิธีการจัดอันดับ (Ranking Selection Scheme) และพัฒนาระบบการในการออกแบบโครงสร้างข้อมุมที่เหมาะสม ที่สามารถปรับความเหมาะสม (Optimize) ได้ทั้งเรื่องขนาดหน้าตัดและรูปร่างของโครงข้อมุม โดยวิธีที่พัฒนาขึ้นจะสอดคล้องกับมาตรฐานการออกแบบสากลในปัจจุบัน คือ AISC/LRFD (2005)

## 1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อออกแบบโครงข้อมุมที่เหมาะสมด้วยกระบวนการทางพันธุศาสตร์ โดยทำการวิจัยภายใต้ขอบเขต ดังนี้

1.3.1 พิจารณาวิเคราะห์โครงสร้างแบบ Linear-elastic

1.3.2 พิจารณาจุดต่อแบบปราศจากแรงเสียดทาน

1.3.3 ใช้มาตรฐาน AISC/LRFD (2005)

1.3.4 พิจารณาผลของการโก่งเดาะ(Buckling) ในชิ้นส่วนรับแรงอัด (Compression Member) และผลของการตกท้องช้าง (Sagging) ในชิ้นส่วนรับแรงดึง (Tension Member)

1.3.5 พิจารณาว่าโครงข้อหมุนทำมาจากวัสดุชนิดเดียวกันทุกชิ้นส่วน

1.3.6 ในการวิเคราะห์ที่ไม่ได้นำน้ำหนักคงที่ของโครงข้อหมุนมาพิจารณา

## บทที่ 2

### งานวิจัยและงานเขียนอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยในอดีตที่ผ่านมา กระบวนการทางพันธุศาสตร์ (GAs) ได้ถูกใช้อย่างหลากหลายในการออกแบบโครงสร้างที่เหมาะสม

เริ่มตั้งแต่การหาความเหมาะสมในการออกแบบโครงข่ายหมุนชนิด 10 ชั้นส่วน โดย Goldberg และ Samtani (1986)

โครงข่ายหมุนในโครงหลังคา โดย Lin และ Hajela (1992 และ 1993) ได้ใช้ตัวแปรแบบไม่ต่อเนื่อง (discrete) เพื่อหาน้ำหนักต่ำที่สุดของโครงข่ายหมุนชนิด 8 ชั้นส่วน โดยมีการเคลื่อนที่ของจุดต่อเป็นข้อจำกัดในการศึกษา รวมทั้งปัญหาที่ใหญ่ขึ้น เช่น โครงข่ายหมุนชนิด 25 ชั้นส่วน และ 72 ชั้นส่วน โดยมีความเค้นของชั้นส่วนเป็นข้อจำกัด

Rajeev และ Krisnamoorthy (1992) ใช้กระบวนการทางพันธุศาสตร์ (GAs) หา น้ำหนักน้อยสุดของโครงข่ายหมุน มีตัวแปรแบบไม่ต่อเนื่องและความเค้นเป็นข้อจำกัด

Sakamoto และ Oda (1993) ได้ขยายขอบเขตของปัญหาโดยพิจารณาการวางแนว (Topology) ของโครงข่ายหมุนเพิ่มเติม

Hajela และ Lee (1994) ที่ศึกษาการวางแนวที่เหมาะสมด้วย GAs โดยใช้การเชื่อมต่อระหว่างจุดต่อทั้งหมดที่เป็นไปได้ และใช้ 1/0 แทน การเลือก/ไม่เลือก ชั้นส่วนทำให้ สตริง (String) ยาวมากการคำนวณจึงไม่มีประสิทธิภาพ การลู่เข้าของคำตอบจึงช้ามาก

Rajan (1995) ศึกษาความเหมาะสมทั้งขนาดพื้นที่หน้าตัด รูปร่างและการวางแนวของโครงข่ายหมุนสามมิติ โดยตัวแปรทางด้านขนาดพื้นที่หน้าตัดของชั้นส่วนเป็นทั้งชนิดต่อเนื่อง (Continuous) และไม่ต่อเนื่อง (Discrete) ตำแหน่งของจุดต่อเป็นชนิดต่อเนื่อง การออกแบบใช้วิธีการทางธรรมชาติแบบผสม (Hybrid Natural Approach) เพื่อออกแบบรูปร่างอย่างเหมาะสม การเชื่อมต่อของชั้นส่วนและเงื่อนไขที่ขอบเขต เป็นตัวแปรในการออกแบบชนิดตรรกศาสตร์ (Boolean) คือ 1/0 แทนการเลือก/ไม่เลือก ชั้นส่วนที่พิจารณา ในบริบทของการวางแนว (Topology) วิธีการแบบดั้งเดิมของวิธีการทางพันธุศาสตร์ถูกปรับปรุงให้สามารถรับมือกับการแก้ปัญหา แนวคิดแบบง่าย ๆ ถูกใช้ในการเร่งความเร็วในการลู่เข้าของคำตอบและลดความพยายามในการคำนวณ

Rajeev และ Krisnamoorthy (1997) ได้เสนอการออกแบบโครงข่ายที่เหมาะสมทั้งทางด้านขนาดพื้นที่หน้าตัดของชิ้นส่วนพร้อมกับตำแหน่งของจุดต่อ (Configuration) และการวางแนวของชิ้นส่วน (Topology) ในการศึกษาการหาความเหมาะสมทางด้านรูปร่าง (Configuration) กำหนดให้ขนาดพื้นที่หน้าตัดของชิ้นส่วนเป็นชนิดไม่ต่อเนื่อง ส่วนตัวแปรตำแหน่งของจุดต่อเป็นชนิดต่อเนื่อง ใช้เลขฐานสองในการกำหนดสายอักขระ (String) กำหนดขีดจำกัดล่างเป็นแบบตายตัว โดยใช้วิธี สองระยะ (Two-phase method) ลดขนาดของพื้นที่ในการค้นหา (Search Space) ขีดจำกัดล่าง (Lower-bound) ที่เหมาะสมจะถูกกำหนดในระยะที่ 1 และระยะที่สองจะได้คำตอบที่เหมาะสมโดยใช้ GAs แบบดั้งเดิมในการกำหนดสายอักขระ (String) ส่วนความเหมาะสมในการวางแนวของชิ้นส่วน คือการกำหนดจำนวนจุดต่อและการเชื่อมต่อของชิ้นส่วนของโครงข่าย โดยกำหนดการวางแนวที่เป็นไปได้ เมื่อการวางแนวของชิ้นส่วนแตกต่างกันความยาวของสายอักขระ (String) ก็จะแตกต่างกันไปด้วย จึงเรียกวิธีนี้ว่า Variable String length Genetic Algorithm (VGA)

Sharad Man Shrestha และ Jamshid Ghaboussi (1998) งานวิจัยที่ผ่านมามีการหาความเหมาะสมทางด้านขนาดพื้นที่หน้าตัด (Sizing) รูปร่าง (Configuration) และการวางแนว (Topology) ให้แนวคิดการออกแบบ (Conceptual Design) ที่อยู่บนพื้นฐานของ Ground Structure ในการหาคำตอบซึ่งผู้วิจัยเรียกว่า "Structured" ซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยชิ้นนี้ซึ่งเรียกว่า "Unstructured" คือ ไม่มี Conceptual Design หรือ Ground Structure ซึ่งในงานวิจัยชิ้นนี้ไม่มีการกำหนดรูปร่างและการวางแนวเริ่มต้น มีการกำหนดรูปแบบของสายอักขระ (String) แบบใหม่ มีฟังก์ชันการปรับโทษแบบใหม่ และฟังก์ชันความแข็งแรงแบบใหม่ในการวิจัย

งานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นนั้นส่วนใหญ่จะออกแบบโครงสร้างที่เหมาะสมโดยใช้การสร้างฟังก์ชันเป้าประสงค์ (Objective Function) ในรูปของข้อบังคับของปัญหา (Constraint Problem) และใช้วิธีการปรับโทษ (Penalty Method) ในการปรับแก้ ซึ่งวิธีการปรับโทษนี้ไม่ใช่วิธีที่เหมาะสมในทางปฏิบัติ งานวิจัยของนเรศ [7] มิได้ใช้วิธีการปรับโทษ แต่ได้ใช้วิธีการจัดอันดับในการคัดเลือกสายพันธุ์เพื่อออกแบบโครงข่ายที่เหมาะสม ซึ่งเป็นวิธีการที่เรียบง่าย ดังนั้นการวิจัยชิ้นนี้จึงใช้งานวิจัยของนเรศ [7] เป็นพื้นฐานในการวิจัย

### บทที่ 3

#### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 3.1 การวิเคราะห์และออกแบบโครงข้อหมุน

##### 3.1.1 วิธีการวิเคราะห์

พิจารณาโครงข้อหมุนที่ทำมาจากวัสดุชนิดเดียวกันทุกชิ้นส่วนโดยวิธี Finite Element Analysis สมการสมมูลย์ของชิ้นส่วนโครงข้อหมุนสามารถเขียนได้ดังนี้

$$k_e u_e = p_e \quad (1)$$

โดยที่  $k_e$ ,  $u_e$  และ  $p_e$  คือ เมตริกซ์ของค่าสติเฟเนส, เวกเตอร์การเคลื่อนที่ และ เวกเตอร์แรงตามลำดับ ถ้าชิ้นส่วนเป็นชิ้นส่วนตรงจะสามารถแสดงได้ว่า  $k_e = \alpha_e \cdot A_e$  โดยที่  $\alpha_e$  คือ ความแข็งแกร่งในแนวแกน (Axial rigidity) ของชิ้นส่วนและ  $A_e$  คือ เมตริกซ์ที่ขึ้นกับรูปร่างของชิ้นส่วน สำหรับโครงข้อหมุนสองมิติ

$$A_e = \frac{1}{h_e} \begin{bmatrix} C^2 & CS & -C^2 & -CS \\ CS & S^2 & -CS & -S^2 \\ -C^2 & -CS & C^2 & CS \\ -CS & -S^2 & CS & S^2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

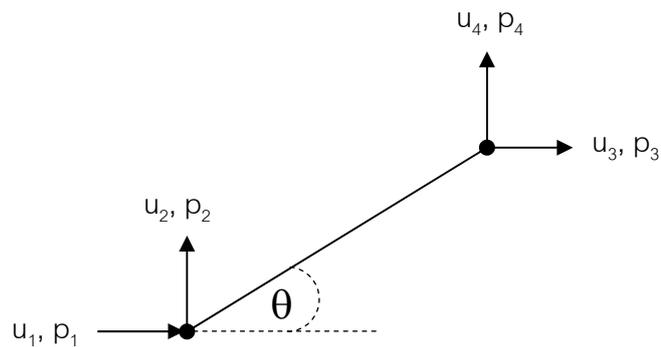
ซึ่ง  $h_e$  คือความยาวของชิ้นส่วน  $C \equiv \cos\theta$  และ  $S \equiv \sin\theta$  โดยที่  $\theta$  คือ มุมหมุนของชิ้นส่วน ดังแสดงในภาพที่ 3.1 สำหรับโครงข้อหมุนสามมิติ  $A_e$  จะเป็นเมตริกซ์ 6x6

หลังจากที่ประกอบสมการของชิ้นส่วนและประยุกต์ใช้เงื่อนไขที่ขอบเขตแล้วจะได้สมการสมมูลย์ของโครงสร้าง ดังนี้

$$K.U = P \quad (3)$$

โดยที่  $K$ ,  $U$  และ  $P$  คือสติฟเนสเมตริกซ์ของโครงสร้าง (Global Stiffness Matrix), เวกเตอร์การเคลื่อนที่ และเวกเตอร์แรงที่จุดต่อของโครงข้อหมุนตามลำดับ การเคลื่อนที่ของจุดต่อสามารถหาได้จากการแก้สมการสมดุลง่ายข้างต้น (สมการ (3))

ภาพที่ 3.1  
มุมหมุนของชิ้นส่วน



ที่มา: ผู้วิจัย

### 3.1.2 วิธีการออกแบบ

ตามมาตรฐาน AISC/LRFD (2005) กำหนดไว้ดังนี้

3.1.2.1 น้ำหนักบรรทุก ตัวคูณน้ำหนักบรรทุกและการจัดกลุ่มน้ำหนักบรรทุก ควรจะพิจารณาน้ำหนักบรรทุกระบุต่อไปนี้

D : น้ำหนักบรรทุกคงที่เนื่องจากน้ำหนักของชิ้นส่วนโครงสร้าง และ  
สิ่งก่อสร้างหรือองค์ประกอบถาวรบนโครงสร้าง

L : น้ำหนักบรรทุกจรและน้ำหนักบรรทุกเนื่องจากอุปกรณ์เคลื่อนที่ได้

Lr : น้ำหนักจรจากหลังคา

W : น้ำหนักบรรทุกเนื่องจากแรงลม

E : แรงแผ่นดินไหว

R : น้ำหนักบรรทุกเนื่องจากน้ำฝน

กำลังที่ต้องการของโครงสร้าง และชิ้นส่วนของโครงสร้างต้องพิจารณาจาก  
กลุ่มน้ำหนักปรับค่าที่วิกฤติ สภาวะวิกฤติอาจเกิดขึ้นเมื่อน้ำหนักบรรทุกชนิดหนึ่งหรือหลาย

ชนิดไม่ได้กระทำกับโครงสร้าง ให้พิจารณากลุ่มน้ำหนักบรรทุก รวมทั้งตัวคูณปรับค่าต่อไปนี้ในการออกแบบ

$$1.4D \quad (4)$$

$$1.2D+1.6L \quad (5)$$

$$1.2D+1.6W +0.5L \quad (6)$$

$$0.9D (1.6W \text{ หรือ } 1.0E) \quad (7)$$

3.1.2.2 หลักเกณฑ์การออกแบบโดยวิธี LRFD (Load Resistance Factor Design)

หลักเกณฑ์การออกแบบโดยวิธี LRFD คือ กำลังที่ใช้ออกแบบของส่วนประกอบโครงสร้างแต่ละส่วนหรือทั้งหมด ต้องเท่ากับหรือมากกว่ากำลังที่ต้องการบนพื้นฐานของน้ำหนักบรรทุกที่ใช้งานที่คูณปรับค่าแล้ว

$$\phi R_n \geq \sum_{i=1}^w \gamma_i Q_i \quad (8)$$

โดยที่  $\phi R_n$  คือกำลังที่ใช้ออกแบบ คำนวณได้จากกำลังระบุ  $R_n$  คูณด้วยตัวคูณความต้านทาน  $\phi$ ,  $\gamma_i$  คือ ตัวคูณน้ำหนักบรรทุก,  $Q_i$  คือน้ำหนักบรรทุกชนิดต่าง ๆ และ  $w$  คือจำนวนน้ำหนักบรรทุกทั้งหมด

3.1.2.3 ตัวคูณความต้านทาน (Resistance Factors)

ตัวคูณความต้านทานกำหนดให้ใช้ดังนี้

- ชิ้นส่วนรับแรงดึง (Tension member)

$$\phi_t = 0.90 \text{ สำหรับพิกัดยืดหยุ่น } F_y$$

$$\phi_t = 0.75 \text{ สำหรับพิกัดประลัย } F_u$$

- ชิ้นส่วนรับแรงอัด (Compression member)

$$\phi_c = 0.85$$

3.1.2.4 องค์อาคารรับแรงดึง

กำลังรับแรงดึงที่ใช้ออกแบบ

แรงดึงในแนวแกนสูงสุดของชิ้นส่วนที่ต้องการจะต้องมีค่าน้อยกว่ากำลังสูงสุดที่รับแรงได้ของชิ้นส่วนคุณด้วย (Resistance Factor for Tension)

$$P_u \leq \phi_t P_n \quad (9)$$

$$\phi_t = 0.9$$

$$P_n = F_y A_g \quad (10)$$

เมื่อ  $A_g$  = พื้นที่หน้าตัดรวมขององค์อาคาร (ตารางมิลลิเมตร)

$F_y$  = หน่วยแรงครากที่กำหนด (เมกะปาสคาล)

ขีดจำกัดของอัตราส่วนความชะลูด

องค์อาคารรับแรงดึง ค่าอัตราส่วนความชะลูด  $\frac{l}{r}$  ไม่มากกว่า 300

ขีดจำกัดนี้ไม่ได้ใช้สำหรับท่อนเหล็กรับแรงดึง องค์อาคารที่ออกแบบให้รับแรงดึงแต่จะต้องรับแรงอัดบ้าง ไม่จำเป็นจะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดของขีดจำกัดของอัตราส่วนความชะลูดขององค์อาคารรับแรงอัด

$$\frac{l}{r} \leq 300 \quad (11)$$

### 3.1.2.5 เสาและองค์อาคารรับแรงอัดอื่น ๆ

กำลังรับแรงอัดที่ใช้ออกแบบสำหรับการโก่งเดาะเนื่องจากแรงดัดในองค์อาคารรับแรงอัดซึ่งชิ้นส่วนขององค์อาคารมีอัตราส่วนความกว้างต่อความหนาน้อยกว่าค่า  $\lambda_c$  เท่ากับ  $\phi_c P_n$

$$P_u \leq \phi_c P_n \quad (12)$$

$$\phi_c = 0.85$$

$$P_n = A_g F_{cr} \quad (13)$$

(ก) สำหรับ  $\lambda_c \leq 1.5$

$$F_{cr} = (0.658^{\lambda_c^2}) F_y \quad (14)$$

(ข) สำหรับ  $\lambda_c > 1.5$

$$F_{cr} = \left[ \frac{0.877}{(\lambda_c)^2} \right] F_y \quad (15)$$

$$\text{เมื่อ } \lambda_c = \frac{kl}{r\pi} \sqrt{\frac{F_y}{E}} \quad (16)$$

เมื่อ  $\lambda_c$  = พารามิเตอร์ความชะลูด (Slenderness Parameter)

$A_g$  = เนื้อที่หน้าตัดขององค์อาคาร (ตารางมิลลิเมตร)

$F_y$  = หน่วยแรงครากต่ำสุดที่กำหนด (เมกะปาสคาล)

$F_{cr}$  = หน่วยแรงวิกฤติ (เมกะปาสคาล)

$E$  = อีลาสติกโมดูลัส (เมกะปาสคาล)

$K$  = ค่าสัมประสิทธิ์ความยาวประสิทธิผล (ในกรณีพื้นฐานรองรับทั้งสองด้านเป็นแบบยึดหมุน ค่าเท่ากับ 1)

$l$  = ความยาวช่วงที่ไม่มีการค้ำยันขององค์อาคาร (มิลลิเมตร)

$r$  = รัศมีไจเรชั่นรอบแกนโค้งเดาะ (มิลลิเมตร)

ขีดจำกัดของอัตราส่วนความชะลูด

องค์อาคารรับแรงอัด ค่าอัตราส่วนความชะลูด  $\frac{kl}{r}$  ไม่มากกว่า 200

$$\frac{kl}{r} \leq 200 \quad (17)$$

## 3.2 กระบวนการทางพันธุศาสตร์ (GAs)

### 3.2.1 GAs คืออะไร

GAs คือ วิธีการค้นหาคำตอบโดยใช้กลไกที่เลียนแบบการคัดเลือกพันธุกรรมตามธรรมชาติ

พันธุศาสตร์ทางชีววิทยา ยีนส์ (Genes) หน่วยเก็บลักษณะทางกรรมพันธุ์เป็นตัวกำหนดลักษณะภายนอก ซึ่งยีนส์หลายๆ ยีนส์จะเรียงตัวอยู่บนเส้นโครโมโซมอีกทีหนึ่งในเซลล์ของสิ่งมีชีวิต และอยู่กันเป็นคู่ ๆ

การถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมเป็นการถ่ายทอดลักษณะต่างๆ ของสิ่งมีชีวิตที่เกิดขึ้นเมื่อมีการแบ่งตัวของเซลล์สิ่งมีชีวิต โดยการเกิดใหม่ของเซลล์มีอยู่ 2 แบบคือ การเพิ่มจำนวนเซลล์ ซึ่งโครโมโซมแต่ละตัวจะขยายตัวเพิ่มจำนวนตัวเองเป็นสอง กับแบบที่เป็นการแบ่งตัวของเซลล์สืบพันธุ์ ซึ่งอาศัยวิธีการจับคู่และจำลองโครโมโซมของทั้งพ่อและแม่เพื่อให้ได้โครโมโซมใหม่ วิธีการทางพันธุศาสตร์ในระหว่างที่เกิดการแบ่งตัวแบบที่สองนั้น โครโมโซมจะมีโอกาสแลกเปลี่ยนบางส่วนซึ่งกันและกัน อันทำให้เกิดวิธีการที่เรียกว่า ครอสโอเวอร์ (Crossover) ซึ่งจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะของยีนส์ต่างๆ ของโครโมโซมพ่อกับแม่ ทำให้สิ่งมีชีวิตรุ่นลูกที่เกิดขึ้นมีความหลากหลายมากขึ้น และอยู่รอดอย่างเหมาะสมกับสภาพแวดล้อม ส่วนมิวเตชัน (Mutation) หรือการผ่าเหล่าคือการเปลี่ยนแปลงลักษณะยีนส์ไปจากเดิมที่ควรเป็นไปตามการถ่ายทอด ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดลักษณะที่แปลกๆ อย่างมากมายของสิ่งมีชีวิต การผ่าเหล่านี้นั้นทุกลักษณะในแต่ละยีนส์ย่อมมีโอกาสที่จะเกิดการเปลี่ยนแปลงได้พอๆ กัน และถ้าเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมก็จะอยู่รอดต่อไป ส่วนถ้าไม่เหมาะสมกับสภาพขณะนั้น ก็จะไม่ถูกคัดเลือกและหายไป

กระบวนการทางพันธุศาสตร์ (Genetic Algorithms: GAs) เป็นวิธีการค้นหาคำตอบโดยมีพื้นฐานมาจากกระบวนการคัดเลือกทางธรรมชาติ (Natural Selection) และกระบวนการคัดเลือกทางพันธุศาสตร์ (Natural Genetic Selection) ซึ่งคิดค้นโดย John Holland เมื่อปี ค.ศ. 1975 โดยนำมาจากแนวคิดที่ว่าสิ่งมีชีวิตทั้งหลายมีทั้งส่วนดีและส่วนที่ไม่ดี ซึ่งลักษณะที่ดีก็ย่อมมีโอกาสอยู่รอดได้มากกว่า และจะได้รับการสนับสนุนให้มีการถ่ายทอดพันธุกรรมไปยังรุ่นลูกหลานได้มากกว่าเช่นกัน สำหรับวิธีเจเนติกอัลกอริทึมนี้จะพิจารณา และดำเนินจากกลุ่มคำตอบของปัญหาที่ถูกสร้างขึ้นโดยการเข้ารหัส (Coding) คือการแปลงค่าตัวแปรหรือพารามิเตอร์ต่างๆ ของปัญหาให้อยู่ในรูปโครงสร้างของโครโมโซม (Chromosomes) หรือสายอักขระ (String)

ตามที่กำหนด โดยจะทำการคัดเลือกโครโมโซมคำตอบที่มีความเหมาะสมทั้งหมดด้วยวิธีการสุ่ม และนำโครโมโซมเหล่านี้ไปผ่านกระบวนการคัดเลือกที่เลียนแบบกระบวนการคัดเลือกทางธรรมชาติเพื่อหาโครโมโซมที่มีความเหมาะสมในการอยู่รอด โดยใช้ค่าฟังก์ชันความแข็งแรง (Fitness Function) ที่สอดคล้องกับฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function) ซึ่งโครโมโซมที่มีความเหมาะสมนี้คือคำตอบที่ดีที่สุดหรือใกล้เคียงคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหา (Optimal Solution)

รูปแบบโครโมโซม ในการแก้ปัญหาโดยใช้เจเนติกอัลกอริทึมนั้น ได้กำหนดปัญหาเท่ากับโครโมโซมหนึ่ง ซึ่งประกอบไปด้วยยีนส์ลักษณะต่างๆ เปรียบเหมือนกับตัวแสดงค่าคำตอบของปัญหาที่แปรผันไปตามการประยุกต์ใช้งานซึ่งได้แก่ ตัวแปร พารามิเตอร์ เงื่อนไขหรือข้อกำหนดต่างๆ ที่ป็นองค์ประกอบของปัญหา ดังนั้นการกำหนดรูปแบบโครโมโซมของแต่ละปัญหาโดยการแปลงตัวแปร พารามิเตอร์ เงื่อนไขหรือข้อกำหนดต่างๆ ให้อยู่ในรูปแบบของยีนส์บนโครโมโซม ซึ่งก็คือสตริง โดยประกอบไปด้วยบิต (Bit) หรืออักขระ (Character) ซึ่งลักษณะต่างๆ ที่เป็นไปได้ของแต่ละยีนส์คือค่าบิต (Bit Value) หรือค่าตัวแปร พารามิเตอร์ต่างๆ ที่เป็นไปได้

ฟังก์ชันเป้าหมายประสงค์และฟังก์ชันความแข็งแรง ฟังก์ชันเป้าหมายประสงค์ (Objective Function) เป็นฟังก์ชันที่แสดงความสัมพันธ์ของแต่ละตัวแปร พารามิเตอร์ เงื่อนไขหรือข้อกำหนดต่างๆ ของปัญหานั้นๆ ที่ระบุคำตอบใดคำตอบหนึ่งที่สามารถเป็นไปได้ที่พารามิเตอร์ เงื่อนไขหรือข้อกำหนดชุดนั้นๆ ส่วนฟังก์ชันความแข็งแรง (Fitness Function) เป็นฟังก์ชันที่กำหนดค่าความแข็งแรง (Fitness) ของแต่ละโครโมโซม เปรียบเหมือนกับค่าความแข็งแรงในการอยู่รอดของแต่ละโครโมโซม และยังเป็นฟังก์ชันที่กำหนดโอกาสหรือสัดส่วนที่แต่ละโครโมโซมจะคัดเลือกด้วยโดยทั่วไปฟังก์ชันเป้าหมายประสงค์ก็คือฟังก์ชันความแข็งแรง

### 3.2.2 GAs ทำงานอย่างไร

การทำงานของเจเนติกอัลกอริทึมมีดังนี้

3.2.2.1 สร้างประชากรต้นกำเนิด (Initial Population) จากการสุ่มสร้างค่าแต่ละบิตของแต่ละโครโมโซม

3.2.2.2 ทำการวิเคราะห์ค่าความแข็งแรงแต่ละโครโมโซม โดยถอดรหัสค่าตัวแปร พารามิเตอร์ต่าง ๆ ของแต่ละบิตในโครโมโซม และคำนวณค่าความแข็งแรงจากฟังก์ชันความแข็งแรงที่กำหนดไว้

3.2.2.3 ทำการสร้างชุดโครโมโซมต้นแบบ หรือชุดโครโมโซมพ่อแม่ที่สามารถอยู่รอดเป็นต้นแบบโดยใช้วิธีคัดเลือกทางธรรมชาติ ที่พิจารณาจากค่าความแข็งแรงของแต่ละโครโมโซม ถ้าโครโมโซมใดมีค่าความแข็งแรงมากก็จะมีโอกาสถูกคัดเลือกเป็นต้นแบบมาก

3.2.2.4 ดำเนินการทางพันธุศาสตร์โดยการจับคู่โครโมโซมต้นแบบเพื่อสร้างประชากรรุ่นใหม่ กระบวนการทางพันธุศาสตร์ประกอบไปด้วย 3 กระบวนการหลักๆ ดังนี้

การรีโพรดักชัน (Reproduction) หรือการสืบพันธุ์ คือกระบวนการคัดเลือกโครโมโซมที่มีความเหมาะสมสูงเพื่อเป็นคำตอบเริ่มต้นให้กับประชากรรุ่นต่อไป โดยอาศัยทฤษฎีการอยู่รอดของสิ่งมีชีวิต

การครอสโอเวอร์ (Crossover) หรือการไขว้สายพันธุ์ เป็นขั้นตอนที่ทำให้ภายหลังจากการรีโพรดักชัน โดยการแลกเปลี่ยนส่วนของโครโมโซมพ่อแม่ (Parent) ตามอัตราความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Probability of Crossover: Pc) เพื่อสร้างชุดโครโมโซมรุ่นใหม่หรือโครโมโซมรุ่นลูก (Offspring) อัตราการครอสโอเวอร์ (Pc) นั้นเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับการหาคำตอบของเจเนติกัลกอริทึม ซึ่งก็คืออัตราส่วนของจำนวนโครโมโซมลูกที่ถูกสร้างขึ้นในแต่ละรุ่นต่อขนาดของประชากร

การมิวเตชัน (Mutation) หรือการกลายพันธุ์ เป็นขั้นตอนที่อาจช่วยให้โครโมโซมมีค่าความแข็งแรงดีขึ้นหลังจากการครอสโอเวอร์ โดยการกลับค่าบางส่วนของโครโมโซมเป็นค่าใหม่ในตำแหน่งที่สุ่มได้ ตามอัตราความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน (Probability of Mutation: Pm) ที่กำหนด อัตราการมิวเตชัน (Pm) หมายถึงเปอร์เซ็นต์ของจำนวนยีนส์ทั้งหมดในประชากรที่เกิดการมิวเตชันขึ้น

หมายเหตุ จุดเด่นของ GAs คือ สามารถแก้ปัญหาที่เป็น Discrete, Continuous หรือผสมก็ได้ ในขณะที่วิธีการทางคณิตศาสตร์จะต้องเป็นปัญหาแบบ Continuous ที่ต้องพึ่งพาการคำนวณ gradient จึงจะหาคำตอบของปัญหาได้ง่าย

### 3.3 งานวิจัยของนเรศ[7]

นเรศ[7] ได้เสนอกฎการคัดเลือกสายพันธุ์ในการออกแบบโครงข่ายข้อมูลที่เหมาะสมด้วยวิธีการจัดอันดับ (Ranking Selection Scheme) โดยมีได้อยู่บนพื้นฐานของวิธีการปรับโทษ (Penalty method) จึงปราศจากข้อจำกัดในการกำหนดตัวคูณปรับโทษที่เหมาะสมของแต่ละปัญหา ทำให้วิธีการนี้เรียบง่ายและมีประสิทธิภาพเทียบเคียงได้กับวิธีการอื่น ในกระบวนการทางพันธุศาสตร์ที่ใช้ ความแข็งแรงของสายพันธุ์กำหนดตามค่าใช้จ่ายรวมโดยประเมิน ซึ่งเป็นผลรวมของน้ำหนักช่อมแซมโดยประเมินเพื่อให้โครงสร้างสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้ตามต้องการรวมกับน้ำหนักโดยประเมินของโครงสร้างหลังจากช่อมแซมแล้ว โดยรายละเอียด ดังนี้

ราคาค่าก่อสร้างโดยประเมินน้อย หมายถึงโครงสร้างที่มีน้ำหนักน้อย (คือใช้วัสดุในการก่อสร้างน้อย) ส่วนในด้านความปลอดภัย และการใช้งาน จะพิจารณาจากข้อกำหนดด้านกำลัง ความแข็งแรง และการเสียรูปของโครงสร้างเป็นสำคัญ

รูปแบบทั่วไปของวิธีการปรับโทษ (Penalty Method) ที่ใช้ในการลดค่าความแข็งแรง (Fitness, ) คือ

$$F = \frac{1}{W} - \alpha \cdot G \quad (18)$$

เมื่อ  $W$  คือน้ำหนักของโครงสร้าง

$G$  คือปริมาณวัสดุการละเมิดข้อกำหนดเป็นค่ามากกว่าศูนย์

$\alpha$  คือตัวคูณปรับโทษ (Penalty Parameter) เป็นค่าบวก

เทอม  $\frac{1}{W}$  ทำให้สายพันธุ์กรรมที่ให้โครงสร้างที่มีน้ำหนักน้อยมีค่าความแข็งแรงมาก

เทอม  $-\alpha \cdot G$  คือปริมาณการปรับโทษ โครงสร้างที่ผ่านข้อกำหนดจะมี  $G$  เป็นศูนย์และไม่ถูกปรับโทษ ปัญหาที่เกิดขึ้นคือค่าตัวคูณในการปรับโทษ  $\alpha$  ที่เหมาะสมในการวิเคราะห์จะเป็นเท่าใดนั้นไม่สามารถทราบได้ล่วงหน้าจึงต้องใช้วิจรรย์ญาณของผู้วิเคราะห์ในการลองผิดลองถูก นอกจากนี้ตัวคูณที่เหมาะสมไม่จำเป็นต้องเป็นค่าคงที่ตลอดการวิเคราะห์ ดังนั้นจึงเป็นเรื่องที่ยากในการใช้วิธีการปรับโทษ

งานวิจัยขึ้นที่ [7] จึงได้เสนอกฎในการคัดเลือกสายพันธุ์ในรูปแบบใหม่ที่เรียบง่ายและปราศจากการกำหนดค่าตัวคูณในการปรับโทษ กฎดังกล่าวกำหนดขึ้นจากการคาดการณ์พฤติกรรมของโครงสร้างในการรับน้ำหนักบรรทุก

โครงสร้างที่เหมาะสม คือโครงสร้างที่มีน้ำหนักน้อยที่สุดที่สามารถรับเวกเตอร์น้ำหนักบรรทุก  $P$  ที่ต้องการโดยไม่ละเมิดข้อกำหนด

$$\sigma \leq \sigma^a \quad \text{และ} \quad U \leq U^a \quad (19)$$

เมื่อ  $\sigma$  เวกเตอร์ของหน่วยแรงในแต่ละชิ้นส่วน

$\sigma^a$  เวกเตอร์ของขีดจำกัดหน่วยแรงที่ยอมให้เกิดขึ้นในแต่ละชิ้นส่วน

U เวกเตอร์ของระยะเคลื่อนที่ของแต่ละจุดต่อ

$U^a$  เวกเตอร์ของขีดจำกัดระยะเคลื่อนที่ของจุดต่อที่ยอมให้เกิดขึ้น

จากขนาดหน้าตัดของแต่ละชิ้นส่วนที่กำหนดจะได้ว่า โครงสร้างหนึ่งๆ สามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้มากที่สุดเท่ากับ  $\lambda \cdot P$

ถ้า  $\lambda \geq 1$  แสดงว่าเป็นโครงสร้างที่สามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้มากกว่าหรือเท่ากับ P ได้โดยไม่ละเมิดข้อกำหนด

และถ้า  $\lambda < 1$  แสดงว่าเป็นโครงสร้างที่ละเมิดข้อกำหนดเมื่อนำน้ำหนัก P หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าเป็นโครงสร้างที่รับน้ำหนักได้น้อยกว่า P

ภาพที่ (3.2) แสดงลักษณะทั่วไปของแผนผัง  $\lambda - W$  เมื่อ  $W < W_{FAIL}$  โครงสร้างจะมีน้ำหนักน้อยเกินไปจนไม่สามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้ตามต้องการ วงกลมใสในภาพ คือโครงสร้างที่เหมาะสมที่สุด (Optimum) เนื่องจากเป็นโครงสร้างที่มีน้ำหนักน้อยที่สุดและสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้ตามที่ต้องการ จะเห็นได้ว่า โครงสร้างที่เหมาะสมนั้นอยู่ใกล้เส้น  $\lambda = 1$  ซึ่งเป็นเส้นแบ่งระหว่างบริเวณที่ไม่ละเมิดข้อกำหนด (Feasible Region) และบริเวณที่ละเมิดข้อกำหนด (Infeasible Region) ดังนั้นการค้นหาโครงสร้างที่เหมาะสมจึงอาจค้นหาตามเส้นทาง S1 ในบริเวณที่ไม่ละเมิดข้อกำหนด หรืออาจค้นหาตามเส้นทาง S2 ในบริเวณที่ละเมิดข้อกำหนดได้เช่นกัน

ค่าตัวคูณการปรับโทษ  $\alpha$  ในสมการ (18) ที่เหมาะสมคือค่าที่ทำให้การค้นหาคำตอบของ GAs เป็นไปในเส้นทางที่ผสมผสานอย่างเหมาะสมระหว่าง S1 และ S2

ถ้าค่าตัวคูณ  $\alpha$  มากเกินไปจะเป็นการลดความเป็นอิสระของ GAs ในการหาคำตอบเนื่องจาก GAs ถูกบังคับให้ค้นหาคำตอบจากบริเวณที่ไม่ละเมิดข้อกำหนดตามเส้นทาง S1 เพียงอย่างเดียว

แต่ถ้าตัวคูณ  $\alpha$  น้อยเกินไป GAs จะมุ่งหาโครงสร้างที่มีน้ำหนักน้อยตามเส้นทาง S3 โดยไม่ใส่ใจต่อความต้องการในการรับน้ำหนักบรรทุก

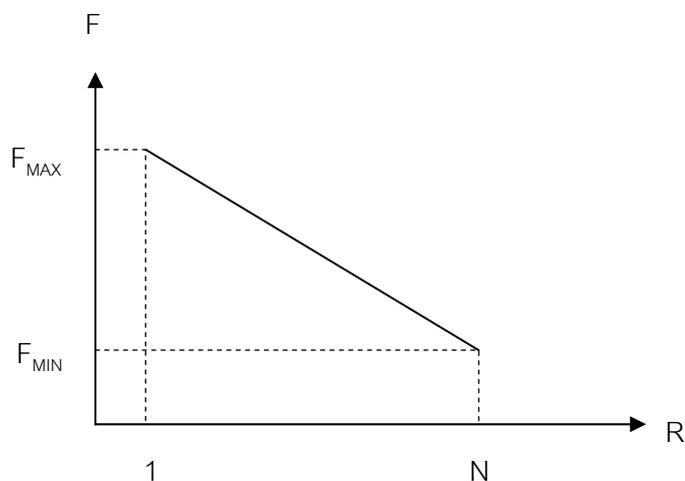
ดังนั้น จึงเห็นได้ว่าเป็นการยากที่จะกำหนดค่าตัวคูณ  $\alpha$  ที่เหมาะสม



ค่าความแข็งแรง (Fitness,  $F$ ) กำหนดให้ตามอันดับโดยแจกแจงแบบเชิงเส้น (Linear Ranking Method) ถ้าจำนวนของสายพันธุ์ทั้งหมดในรุ่น คือ  $N$  และอันดับที่ของสายพันธุ์คือ  $R$  จะได้ความสัมพันธ์ของ  $F$  และ  $R$  ในภาพที่ 3.3

ภาพที่ 3.3

การแจกแจงเชิงเส้นของค่าความแข็งแรงตามอันดับ



ที่มา: งานวิจัยของนเรศ [7]

กลไกของการคัดเลือกสายพันธุ์

จากสมการที่ (20) ถึง (22) และภาพที่ 3.3 การค้นหาสายพันธุ์ที่มีค่าความแข็งแรงสูงที่สุดจะสอดคล้องกับการค้นหาโครงสร้างที่มีค่าใช้จ่ายรวมน้อยที่สุด โดยมีข้อสังเกตดังนี้

1. จากสมการ (20) ถ้าเปรียบเทียบระหว่างสองโครงสร้างที่มี  $\lambda \geq 1$  ทั้งคู่ โครงสร้างที่เบากว่าจะดีกว่า
2. จากสมการ (21) และ (22) ถ้าเปรียบเทียบระหว่างสองโครงสร้างที่มี  $\lambda < 1$  ทั้งคู่ และมีน้ำหนักเท่ากัน โครงสร้างที่มี  $\lambda$  มากกว่าจะดีกว่า
3. จากสมการ (21) และ (22) ถ้าเปรียบเทียบระหว่างสองโครงสร้างที่มี  $\lambda < 1$  ทั้งคู่ และมี  $\lambda$  เท่ากัน โครงสร้างที่เบากว่าจะดีกว่า

4. จากสมการ (21) และ (22) ถ้าเปรียบเทียบระหว่างสองโครงสร้างที่มี  $\lambda < 1$  ทั้งคู่ และมี  $\frac{\lambda}{W}$  เท่ากัน โครงสร้างที่มี  $\lambda$  มากกว่าจะดีกว่า

5. จากสมการ (21) และ (22) ถ้าเปรียบเทียบระหว่างโครงสร้าง A ที่มี  $\lambda_A$  และโครงสร้าง B มี  $\lambda_B$  จะได้ว่าโครงสร้าง A จะดีกว่าโครงสร้าง B ก็ต่อเมื่อ

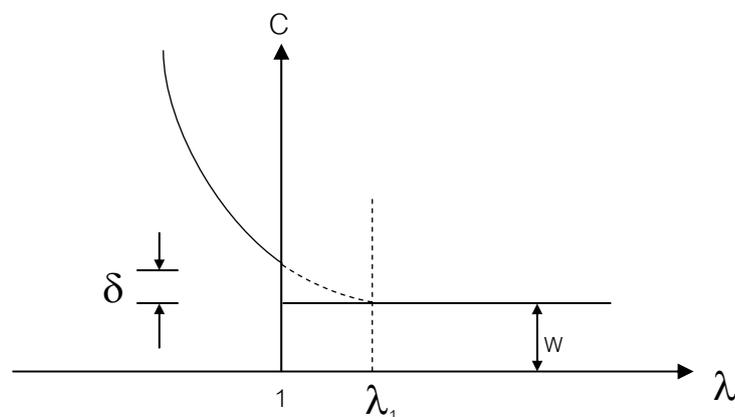
$$W_A < \left[ \frac{\lambda_A}{2\lambda_1 - 1} \right] \cdot W_B \quad (3.3-5)$$

6. จากสมการ (21) และ (22) สำหรับ  $\lambda$  คงที่ค่าหนึ่ง C แปรผันตรงกับ W โดยในกรณีนี้  $\lambda \geq 1$  ความชันของกราฟระหว่าง C และ W มีค่าเท่ากับ 1 ส่วนในกรณีที่  $\lambda < 1$  ความชันของกราฟระหว่าง C และ W มีค่าเท่ากับ  $\left[ \frac{2\lambda_1 - 1}{\lambda} \right]$  ซึ่งมากกว่า 1 เสมอ

7. จากสมการ (21) และ (22) สำหรับค่า W คงที่ค่าหนึ่ง ถ้า  $\lambda \geq 1$  ค่าของ C จะคงที่และเท่ากับ W ส่วนในกรณีที่  $\lambda < 1$  ค่าของ C มากกว่า W เสมอ และจะเพิ่มขึ้นเมื่อ  $\lambda$  ลดลงตามสมการที่ (21) ภาพที่ 3.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C และ  $\lambda$  ที่ W คงที่ดังกล่าว จะเห็นว่าความสัมพันธ์จะไม่ต่อเนื่องที่  $\lambda = 1$  โดยระยะ  $\delta$  มีค่าเท่ากับ  $(\lambda_1 - 1) \cdot W$  ซึ่งจะมีค่ามากขึ้นเมื่อ  $\lambda_1$  และ W มากขึ้น

ภาพที่ 3.4

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายรวมและความสามารถในการรับน้ำหนักที่น้ำหนักโครงสร้างคงที่



ที่มา: งานวิจัยของนเรศ [7]

ในการวิจัย [7] การวิเคราะห์ใช้สายพันธุกรรม (String หรือ Chromosome) ที่บรรจุข้อมูลของพื้นที่หน้าตัดของชิ้นส่วน (Variables หรือ Genes) ดังนั้นสายพันธุกรรมจึงมีลักษณะดังนี้

$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	.....	$A_n$
-------	-------	-------	-------	-------	-------

$A_i$  แทนพื้นที่หน้าตัดของชิ้นส่วนที่  $i$  จำนวนชิ้นส่วนทั้งหมดเท่ากับ  $n$  ชิ้น แต่ละหน้าตัดใช้จำนวน  $x$  บิต

ดังนั้น สายพันธุกรรมหนึ่งสายจึงยาวเท่ากับ  $xn$  บิต

กฎการคัดเลือกสายพันธุ์ที่ [7] นำเสนอเป็นกฎที่เข้าใจได้ง่าย นำไปปฏิบัติได้ง่าย และมีประสิทธิภาพในการค้นหาโครงสร้างที่เหมาะสมได้จริง ข้อได้เปรียบของกฎที่นำเสนอคือการปราศจากตัวคูณในการปรับโทษ วิธีการที่นำเสนอมีประสิทธิภาพเทียบเคียงได้กับวิธีการอื่นๆ ที่มีความซับซ้อน แต่ยังเป็นวิธีที่อยู่บนพื้นฐานของทฤษฎีหน่วยแรงใช้งาน (Allowable Stress Design: ASD) และรูปร่างของโครงข้อมุมยังเป็นแบบตายตัว (Fixed Geometry) ซึ่งอาจจะไม่ใช่รูปร่างที่เหมาะสม

## บทที่ 4

### ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยและผลของการวิจัย

การวิจัยเรื่องการออกแบบโครงข้อหมุนที่เหมาะสมด้วยกระบวนการทางพันธุศาสตร์นี้ เป็นการพัฒนานกฏในการคัดเลือกสายพันธุ์เพื่อการออกแบบโครงข้อหมุนที่เหมาะสม โดยใช้วิธีการคัดเลือกสายพันธุ์ด้วยวิธีการจัดอันดับ (Ranking Selection Scheme) รายละเอียดจากงานวิจัยที่ [7] เป็นพื้นฐาน การวิจัยนี้มีการแบ่งการดำเนินการออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

กลุ่มที่ 1 ศึกษาโครงข้อหมุนที่มีหน่วยแรงที่ยอมให้ในแต่ละชั้นส่วนเป็นแบบคงที่

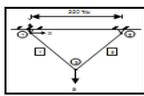
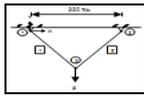
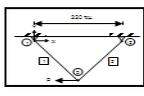
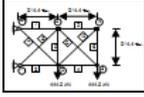
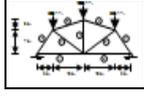
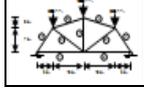
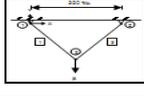
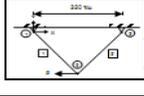
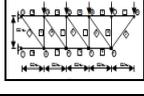
กลุ่มที่ 2 ศึกษาโครงข้อหมุนที่หน่วยแรงที่ยอมให้หาได้จากมาตรฐานการออกแบบด้วยวิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก (AISC/LRFD (2005))

กลุ่มที่ 3 ศึกษาโครงข้อหมุนที่หน่วยแรงที่ยอมให้หาได้จากมาตรฐานการออกแบบด้วยวิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก (AISC/LRFD (2005)) และใช้การค้นหาห้อย (Local Search) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการหาคำตอบ

การวิจัยทั้ง 3 กลุ่มสามารถสรุปในรูปของตารางเพื่อให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจ ซึ่งรายละเอียดของการวิจัยแสดงไว้ในตารางที่ 4.1 และค่ากำหนดทั่วไป (Parameters) ของ GAs ที่ใช้ในการวิจัยมีดังนี้

- จำนวนสายพันธุกรรมใน 1 รุ่น เท่ากับ 100 สาย
- ข้อมูลในสายพันธุกรรมแบบเลขฐานสอง
- การใช้สายพันธุ์แบบ 1 ตำแหน่ง
- ความน่าจะเป็นในการใช้สายพันธุ์เท่ากับ 1.0
- $F_{MAX}$  เท่ากับ 1.0 และ  $F_{MIN}$  เท่ากับ 0.05
- ความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์เท่ากับ 0.02
- สายพันธุ์ที่ดีที่สุดในกลุ่มได้อิทธิพลเข้าร่วมรุ่นถัดไป
- จำนวนรุ่น 300 รุ่น
- ทำการวิเคราะห์ 20 ครั้ง

ตารางที่ 4.1  
สรุปรายละเอียดการวิจัย

กลุ่มที่	ตัวอย่างที่	โครงสร้าง				พื้นที่หน้าตัด			หน่วยแรง	
		รูปร่าง	จุดต่อ เคลื่อนที่	รับแรงดึง	รับแรงอัด	ตอ เนือง	ไม่ ตอ เนือง	A สัมพัทธ์ r	คงที่	LRFD
กลุ่มที่ 1	1		✓	✓			✓	✓	✓	
	2		✓	✓		✓		✓	✓	
	3		✓	✓	✓	✓		✓	✓	
	4		✓	✓	✓		✓	✓	✓	
กลุ่มที่ 2	5			✓	✓		✓	✓		✓
	6			✓	✓		✓	✓		✓
	7		✓	✓		✓		✓		✓
	8		✓	✓	✓	✓		✓		✓
	9		✓	✓	✓	✓		✓		✓

ตารางที่ 4.1(ต่อ)  
สรุปรายละเอียดการวิจัย

กลุ่มที่	ตัวอย่างที่	โครงสร้าง				พื้นที่หน้าตัด			หน่วยแรง	
		รูปร่าง	จุดต่อ เคลื่อนที่	รับแรงดึง	รับแรงอัด	ตอ เนื่อง	ไม่ ตอ เนื่อง	A สัมพันธ์ r	คงที่	LRFD
กลุ่มที่ 3	10		✓	✓		✓		✓		✓
	11		✓	✓	✓	✓		✓		✓
	12		✓	✓			✓			✓
	13		✓	✓	✓		✓			✓
	14ก		✓	✓	✓		✓			✓
	14ข		✓	✓	✓		✓			✓
	15ก		✓	✓	✓		✓			✓
	15ข		✓	✓	✓		✓			✓
	16		✓	✓	✓		✓			✓

ที่มา: ผู้วิจัย

#### 4.1 การวิจัยกลุ่มที่ 1

วัตถุประสงค์ของการวิจัยในกลุ่มนี้ คือเพื่อศึกษาโครงข่ายของหน่วยแรงที่ยอมให้ในแต่ละชั้นส่วนเป็นแบบคงที่ ซึ่งเป็นพื้นฐานในการวิจัยที่ [7] โดยหน่วยแรงที่ยอมให้ นั้นไม่เปลี่ยนแปลงตามอัตราส่วนความขะลุด จุดต่อของโครงข่ายของหน่วยแรงบางจุดต่อสามารถเคลื่อนที่ได้ตามขอบเขตที่กำหนด (รูปร่างของโครงข่ายของหน่วยแรงสามารถเปลี่ยนแปลงได้) ตัวอย่างที่ใช้สำหรับการวิจัยในกลุ่มนี้มีจำนวน 4 ตัวอย่าง คือ

ตัวอย่างที่ 1 เป็นการศึกษาคอร์ข่ายของหน่วยแรงที่มีชั้นส่วนที่รับเฉพาะแรงดึง มีพื้นที่หน้าตัดของชั้นส่วนที่ให้เลือกใช้เป็นแบบไม่ต่อเนื่อง

ตัวอย่างที่ 2 เป็นการศึกษาคอร์ข่ายของหน่วยแรงที่มีชั้นส่วนที่รับเฉพาะแรงดึง มีพื้นที่หน้าตัดของชั้นส่วนที่ให้เลือกใช้เป็นแบบต่อเนื่อง

ตัวอย่างที่ 3 เป็นการศึกษาคอร์ข่ายของหน่วยแรงที่มีชั้นส่วนที่รับทั้งแรงดึงและแรงอัด มีพื้นที่หน้าตัดของชั้นส่วนที่ให้เลือกใช้เป็นแบบต่อเนื่อง

ตัวอย่างที่ 4 เป็นการเปรียบเทียบการศึกษางานวิจัยนี้กับการวิจัยในอดีต เป็นการวิจัยโครงข่ายของหน่วยแรงที่มีจำนวนชั้นส่วนทั้งหมด 10 ชั้นส่วน มีทั้งชั้นส่วนที่รับแรงดึงและรับแรงอัด พื้นที่หน้าตัดของชั้นส่วนที่ให้เลือกใช้เป็นแบบไม่ต่อเนื่อง

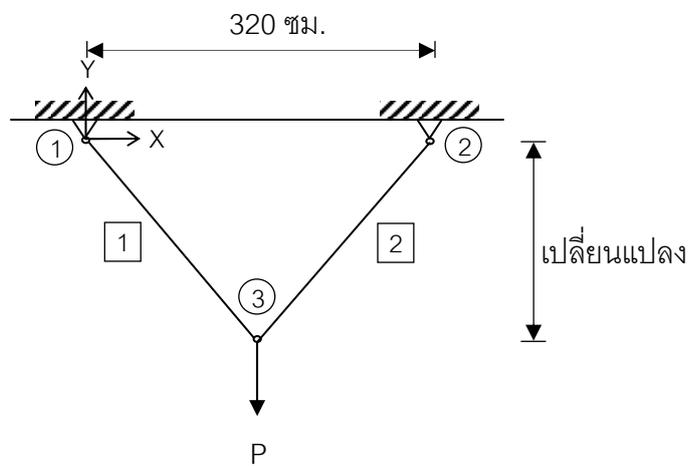
รายละเอียดของตัวอย่างที่ใช้วิจัยและผลการวิจัยของแต่ละตัวอย่างมีดังนี้

#### 4.1.1 ตัวอย่างที่ 1

วัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาโครงข้อหมุนที่มีจำนวนชิ้นส่วนทั้งหมด 2 ชิ้นส่วน ชิ้นส่วนทั้งสองรับเฉพาะแรงดึง พื้นที่หน้าตัดของชิ้นส่วนที่ให้เลือกใช้เป็นแบบไม่ต่อเนื่อง หน่วยแรงที่ยอมให้ในแต่ละชิ้นส่วนเป็นแบบคงที่

ภาพที่ 4.1

โครงข้อหมุน 2 ชิ้นส่วนรับแรงดึง



ที่มา: ผู้วิจัย

ภาพที่ 4.1 แสดงโครงข้อหมุนที่ประกอบด้วย 2 ชิ้นส่วน ต้องการออกแบบโครงข้อหมุนให้สามารถรับน้ำหนักบรรทุก  $P$  เท่ากับ 5,500 กิโลกรัม ได้ดังภาพ โดยหน่วยแรงที่ยอมให้ในแต่ละชิ้นส่วนเป็นแบบคงที่ โครงข้อหมุนทำมาจากวัสดุที่มีโมดูลัสยืดหยุ่นเท่ากับ  $2.04 \times 10^6$  กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และมีหน่วยน้ำหนัก  $7.85 \times 10^{-3}$  กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร โดยมีข้อกำหนดในการออกแบบ คือหน่วยแรงดึงหรือหน่วยแรงอัดที่เกิดขึ้นในแต่ละชิ้นส่วนต้องไม่เกิน 1,440 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และระยะเคลื่อนที่ของจุดต่อใด ๆ ต้องไม่เกิน 2.00 เซนติเมตร ขนาดหน้าตัดที่สามารถเลือกใช้ได้ในแต่ละชิ้นส่วนมี 32 (เท่ากับ  $2^5$ ) ขนาด คือ 1.000, 1.238, 1.583, 1.799, 2.291, 2.919, 3.345, 3.510, 4.029, 4.205, 4.564, 5.760, 6.465, 7.100, 7.349, 7.591, 8.636, 9.085, 9.892, 10.690, 11.170, 12.260, 12.520, 15.170, 15.520, 19.120, 15.400, 17.070, 19.130, 22.720, 25.160 และ 25.220 ตารางเซนติเมตร การเคลื่อนที่ในแนวราบ (X) สามารถเลือกได้ทั้งหมด 512 (เท่ากับ  $2^9$ ) ตำแหน่ง คือ ตั้งแต่ -95 เซนติเมตร ถึง 417

เซนติเมตร โดยมีความละเอียดในแต่ละชั้นเท่ากับ 1.00 เซนติเมตร การเคลื่อนที่ในแนวดิ่ง (Y) สามารถเลือกได้ทั้งหมด 256 (เท่ากับ  $2^8$ ) ตำแหน่ง คือ ตั้งแต่ -100 เซนติเมตร ถึง -356 เซนติเมตร โดยมีความละเอียดในแต่ละชั้นเท่ากับ -1.00 เซนติเมตร

การวิเคราะห์ใช้สายพันธุกรรมบรรจุข้อมูลพื้นที่หน้าตัดของชั้นส่วนที่ 1 (A1) และ 2 (A2) แต่ละหน้าตัดใช้จำนวน 5 บิทแทนหน้าตัดที่เป็นไปได้จำนวน 32 หน้าตัดต่อหนึ่งชั้น ส่วนข้อมูลตำแหน่งทางแนวราบของจุดต่อที่ 3 (X3) ใช้จำนวน 9 บิทแทนตำแหน่งทางแนวราบที่เป็นไปได้จำนวน 512 ตำแหน่ง ข้อมูลตำแหน่งทางแนวดิ่งของจุดต่อที่ 3 (Y3) ใช้จำนวน 8 บิทแทนตำแหน่งทางแนวดิ่งที่เป็นไปได้จำนวน 256 ตำแหน่ง สายพันธุกรรมหนึ่งสายจึงยาวทั้งหมด 27 บิท

#### สรุปผลตัวอย่างที่ 1

จากตารางที่ 4.2 พบว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของน้ำหนักโครงข้อหมุนมีค่าเท่ากับศูนย์ แสดงว่า GAs มีความน่าเชื่อถือมาก ส่วนตำแหน่งของจุดต่อที่ 3 นั้นพิจารณาจากตารางที่ 4.3 จะพบว่าตำแหน่งที่ทำให้น้ำหนักของโครงข้อหมุนต่ำสุดเป็นไปได้ 2 ตำแหน่ง คือ ทางด้านซ้ายของจุดกึ่งกลาง คือ จุด (24,-100) และทางด้านขวาของจุดกึ่งกลาง คือจุด (296,-100) ซึ่งคือจุดเดียวกันเพียงแต่อยู่คนละด้านของจุดกึ่งกลาง ( $X = 160$ ) เท่านั้นเอง

การตรวจสอบตำแหน่งที่วิเคราะห์ได้จาก GAs นั้นเป็นตำแหน่งที่เหมาะสมหรือไม่ พิจารณาจากตารางที่ 4.4 เมื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์จาก GAs กับคำตอบที่แท้จริง (หาน้ำหนักที่จุดต่าง ๆ ภายในขอบเขตแล้วพิจารณาว่าจุดใดให้น้ำหนักต่ำสุด) พบว่าเป็นตำแหน่งเดียวกัน สรุปได้ว่าพื้นที่หน้าตัดและตำแหน่งที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย GAs นั้นเหมาะสม

ข้อสังเกตเพิ่มเติมจากตารางที่ 4.5 ขณะที่พื้นที่หน้าตัดของชั้นส่วนทั้งสองเท่ากับ 1.000 ตารางเซนติเมตร (พื้นที่หน้าตัดที่เล็กที่สุด) เมื่อน้ำหนักกระทำเพิ่มมากขึ้น หน่วยแรงที่เกิดขึ้นในชั้นส่วนทั้งสองจะเพิ่มมากขึ้น โดยที่จุดต่อที่ 3 ยังคงอยู่ที่แนวกึ่งกลาง ( $X3 = 160$ ) แต่ระยะ Y3 จะเคลื่อนต่ำลงจนกระทั่งพื้นที่หน้าตัด 1.000 ตารางเซนติเมตรไม่เพียงพอที่จะรับหน่วยแรงที่เกิดขึ้นได้ จึงต้องเพิ่มพื้นที่หน้าตัดของชั้นส่วนที่ 1 หรือ ชั้นส่วนที่ 2 ชั้นส่วนใดชั้นส่วนหนึ่ง และจุดต่อที่ 3 จะเคลื่อนออกจากจุดกึ่งกลางโดยรักษาระดับ Y3 ไว้ที่ขอบเขตการพิจารณา คือ Y3 เท่ากับ -100

ตารางที่ 4.2

ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 1 น้ำหนักโครงข้อหมุน (กิโลกรัม)

ครั้งที่	รุ่นที่ 50	รุ่นที่ 100	รุ่นที่ 200	รุ่นที่ 300
1	5.7052	5.7052	5.7052	5.7052
2	5.7052	5.7052	5.7052	5.7052
3	5.7052	5.7052	5.7052	5.7052
4	5.7052	5.7052	5.7052	5.7052
5	5.7052	5.7052	5.7052	5.7052
6	5.7052	5.7052	5.7052	5.7052
7	5.7052	5.7052	5.7052	5.7052
8	5.7052	5.7052	5.7052	5.7052
9	5.7052	5.7052	5.7052	5.7052
10	5.7052	5.7052	5.7052	5.7052
11	5.7052	5.7052	5.7052	5.7052
12	5.7052	5.7052	5.7052	5.7052
13	5.7052	5.7052	5.7052	5.7052
14	5.7052	5.7052	5.7052	5.7052
15	5.7052	5.7052	5.7052	5.7052
16	5.7052	5.7052	5.7052	5.7052
17	5.7052	5.7052	5.7052	5.7052
18	5.7052	5.7052	5.7052	5.7052
19	5.7052	5.7052	5.7052	5.7052
20	5.7053	5.7053	5.7053	5.7053
เฉลี่ย	5.7052	5.7052	5.7052	5.7052
ค่าเบี่ยงเบน	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

ที่มา: ผู้วิจัย

ตารางที่ 4.3

ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 1 พื้นที่หน้าตัดและตำแหน่งของจุดต่อที่ 3

ครั้งที่	น้ำหนักฐานที่ 300 (กิโลกรัม)	พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)		หน่วยแรงในชิ้นส่วน (กก. /ตร.ซม.)		ตำแหน่งของจุดต่อที่ 3 (เซนติเมตร)	
		A1	A2	$\sigma_1$	$\sigma_2$	X3	Y3
1	5.7052	4.029	1.000	1299	1289	24	-100
2	5.7052	4.029	1.000	1299	1289	24	-100
3	5.7052	4.029	1.000	1299	1289	24	-100
4	5.7052	4.029	1.000	1299	1289	24	-100
5	5.7052	4.029	1.000	1299	1289	24	-100
6	5.7052	4.029	1.000	1299	1289	24	-100
7	5.7052	4.029	1.000	1299	1289	24	-100
8	5.7052	4.029	1.000	1299	1289	24	-100
9	5.7052	4.029	1.000	1299	1289	24	-100
10	5.7052	4.029	1.000	1299	1289	24	-100
11	5.7052	4.029	1.000	1299	1289	24	-100
12	5.7052	4.029	1.000	1299	1289	24	-100
13	5.7052	4.029	1.000	1299	1289	24	-100
14	5.7052	1.000	4.029	1289	1299	296	-100
15	5.7052	1.000	4.029	1289	1299	296	-100
16	5.7052	1.000	4.029	1289	1299	296	-100
17	5.7052	1.000	4.029	1289	1299	296	-100
18	5.7052	1.000	4.029	1289	1299	296	-100
19	5.7052	1.000	4.029	1289	1299	296	-100
20	5.7053	4.029	1.000	1297	1338	25	-100

ที่มา: ผู้วิจัย

ตารางที่ 4.4

การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 1

ตัวแปร	วิเคราะห์ด้วย GAs	คำตอบที่แท้จริง
พื้นที่หน้าตัด (ตารางเซนติเมตร)		
A1	4.029	4.029
A2	1.000	1.000
ตำแหน่งของจุดต่อที่ 3 (เซนติเมตร)		
X3	24	24
Y3	-100	-100
น้ำหนัก(กิโลกรัม)	5.7052	5.7052

ที่มา: ผู้วิจัย

ตารางที่ 4.5

แสดงพื้นที่หน้าตัดและการเคลื่อนที่ของจุดต่อที่ 3 เมื่อน้ำหนักกระทำเปลี่ยนแปลง ในตัวอย่างที่ 1

น้ำหนักกระทำ P (กิโลกรัม)	น้ำหนักกระทำที่ 300 (กิโลกรัม)	พื้นที่หน้าตัด (ตารางเซนติเมตร)		หน่วยแรงในชิ้นส่วน (กก./ตร.ซม)		ตำแหน่งของจุดต่อที่ 3 (เซนติเมตร)	
		A1	A2	$\sigma_1$	$\sigma_2$	X3	Y3
1000	2.9623	1.000	1.000	943	943	160	-100
1100	2.9623	1.000	1.000	1038	1038	160	-100
1200	2.9623	1.000	1.000	1132	1132	160	-100
1300	2.9623	1.000	1.000	1226	1226	160	-100
1400	2.9623	1.000	1.000	1321	1321	160	-100
1500	2.9623	1.000	1.000	1415	1415	160	-100
1600	3.0220	1.000	1.000	1439	1439	160	-107
1700	3.1213	1.000	1.000	1432	1432	160	-118
1800	3.2268	1.000	1.000	1434	1434	169	-129
1900	3.3518	1.238	1.000	1437	1436	111	-108
2000	3.4690	1.238	1.000	1438	1439	116	-119
3000	4.2692	2.291	1.000	1234	1234	45	-100
4000	4.7986	2.919	1.000	1294	1288	34	-100
5000	5.1495	3.345	1.000	1415	1394	29	-100
6000	5.7052	4.029	1.000	1417	1406	24	-100
7000	7.0912	5.760	1.000	1167	1187	17	-100
8000	7.0912	5.760	1.000	1334	1356	17	-100
9000	7.6515	6.465	1.000	1342	1354	15	-100
10000	8.1550	7.100	1.000	1360	1408	14	-100
11000	8.5437	7.591	1.000	1405	1336	12	-100
12000	9.3697	8.636	1.000	1350	1340	11	-100

ที่มา: ผู้วิจัย

#### 4.1.2 ตัวอย่างที่ 2

วัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาโครงข้อหมุนที่มีจำนวนชิ้นส่วนทั้งหมด 2 ชิ้นส่วน ชิ้นส่วนทั้งสองรับเฉพาะแรงดึง พื้นที่หน้าตัดของชิ้นส่วนที่ให้เลือกใช้เป็นแบบต่อเนื่อง หน่วยแรงที่ยอมให้ในแต่ละชิ้นส่วนเป็นแบบคงที่

ภาพที่ 4.1 แสดงโครงข้อหมุนที่ประกอบด้วย 2 ชิ้นส่วน ต้องการออกแบบโครงข้อหมุนให้สามารถรับน้ำหนักบรรทุก  $P$  เท่ากับ 5,500 กิโลกรัม ได้ดังภาพ โดยหน่วยแรงที่ยอมให้ในแต่ละชิ้นส่วนเป็นแบบคงที่ โครงข้อหมุนทำมาจากวัสดุที่มีโมดูลัสยืดหยุ่นเท่ากับ  $2.04 \times 10^6$  กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และมีหน่วยน้ำหนัก  $7.85 \times 10^{-3}$  กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร โดยมีข้อกำหนดในการออกแบบ คือหน่วยแรงดึงหรือหน่วยแรงอัดที่เกิดขึ้นในแต่ละชิ้นส่วนต้องไม่เกิน 1,440 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และระยะเคลื่อนที่ของจุดต่อใด ๆ ต้องไม่เกิน 2.00 เซนติเมตร ขนาดหน้าตัดที่สามารถเลือกใช้ได้ในแต่ละชิ้นส่วนมี 1,024 (เท่ากับ  $2^{10}$ ) ขนาด คือ ตั้งแต่ 1.00 ตารางเซนติเมตร ถึง 11.23 ตารางเซนติเมตรโดยมีความละเอียดในแต่ละชั้นเท่ากับ 0.01 ตารางเซนติเมตร การเคลื่อนที่ในแนวราบ (X) สามารถเลือกได้ทั้งหมด 512 (เท่ากับ  $2^9$ ) ตำแหน่ง คือ ตั้งแต่ -95 เซนติเมตร ถึง 417 เซนติเมตร โดยมีความละเอียดในแต่ละชั้นเท่ากับ 1.00 เซนติเมตร การเคลื่อนที่ในแนวตั้ง (Y) สามารถเลือกได้ทั้งหมด 256 (เท่ากับ  $2^8$ ) ตำแหน่ง คือ ตั้งแต่ -100 เซนติเมตร ถึง -356 เซนติเมตร โดยมีความละเอียดในแต่ละชั้นเท่ากับ -1.00 เซนติเมตร

การวิเคราะห์ใช้สายพันธุ์กรรมบรรจุข้อมูลพื้นที่หน้าตัดของชิ้นส่วนที่ 1 และ 2 แต่ละหน้าตัดใช้จำนวน 10 บิตแทนหน้าตัดที่เป็นไปได้จำนวน 1024 หน้าตัดต่อหนึ่งชิ้นส่วน ข้อมูลตำแหน่งทางแนวราบของจุดต่อที่ 3 (X3) ใช้จำนวน 9 บิตแทนตำแหน่งทางแนวราบที่เป็นไปได้จำนวน 512 ตำแหน่ง ข้อมูลตำแหน่งทางแนวตั้งของจุดต่อที่ 3 (Y3) ใช้จำนวน 8 บิตแทนตำแหน่งทางแนวตั้งที่เป็นไปได้จำนวน 256 ตำแหน่ง สายพันธุ์กรรมหนึ่งสายจึงยาวทั้งหมด 37 บิต

#### สรุปผลตัวอย่างที่ 2

จากตารางที่ 4.6 พบว่าเมื่อจำนวนรุ่นของประชากรสูงขึ้น ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของน้ำหนักโครงข้อหมุนจะมีค่าต่ำลงแสดงว่า GAs มีความน่าเชื่อถือมากขึ้น ส่วนตำแหน่งของจุดต่อที่ 3 นั้นพิจารณาจากตารางที่ 4.7 พบว่าตำแหน่งที่ทำให้โครงข้อหมุนมีน้ำหนักต่ำที่สุดเป็นไปได้ 2 ตำแหน่ง คือ ทางด้านซ้ายของจุดกึ่งกลาง คือ จุด (27,-100) และทางด้านขวาของจุดกึ่งกลาง คือจุด (293,-100) ซึ่งคือจุดเดียวกันเพียงแต่อยู่คนละด้านของจุดกึ่งกลาง ( $X = 160$ ) เท่านั้นเอง

การตรวจสอบตำแหน่งที่วิเคราะห์ได้จาก GAs นั้นเป็นตำแหน่งที่เหมาะสมหรือไม่ พิจารณาจากตารางที่ 4.8 เมื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์จาก GAs กับคำตอบที่แท้จริง (หาน้ำหนักที่จุดต่าง ๆ ภายในขอบเขตแล้วพิจารณาว่าจุดใดให้น้ำหนักโครงข้อหมุนต่ำที่สุด) พบว่าเป็นตำแหน่งเดียวกัน สรุปได้ว่าพื้นที่หน้าตัดและตำแหน่งที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย GAs นั้นเหมาะสม

ข้อสังเกตเพิ่มเติมจากตารางที่ 4.9 ขณะที่พื้นที่หน้าตัดของชิ้นส่วนทั้งสองเท่ากับ 1.00 ตารางเซนติเมตร (พื้นที่หน้าตัดที่เล็กสุด) เมื่อน้ำหนักกระทำเพิ่มมากขึ้น หน่วยแรงที่เกิดขึ้นในชิ้นส่วนทั้งสองจะเพิ่มมากขึ้น โดยที่จุดต่อที่ 3 ยังคงอยู่ที่แนวกึ่งกลาง ( $X3 = 160$ ) แต่ระยะ  $Y$  จะเคลื่อนต่ำลงจนกระทั่งพื้นที่หน้าตัด 1.00 ตารางเซนติเมตร ไม่เพียงพอที่จะรับหน่วยแรงที่เกิดขึ้นได้ จึงต้องเพิ่มพื้นที่หน้าตัดของชิ้นส่วนที่ 1 หรือ ชิ้นส่วนที่ 2 ขึ้นใดชิ้นหนึ่งและจุดต่อที่ 3 จะเคลื่อนออกจากจุดกึ่งกลางโดยรักษาระดับ  $Y$  ไว้ที่ขอบเขตการพิจารณาคือ  $Y = -100$

จากตัวอย่างที่ 1 และ 2 จะพบว่าพฤติกรรมการรับน้ำหนักของโครงข้อหมุนที่มีพื้นที่หน้าตัดชนิดไม่ต่อเนื่องจะเหมือนกับโครงข้อหมุนที่มีพื้นที่หน้าตัดชนิดต่อเนื่อง เมื่อโครงข้อหมุนรับเฉพาะแรงดึง และออกแบบโดยกำหนดให้หน่วยแรงที่ยอมให้ในแต่ละชิ้นส่วนเป็นแบบคงที่

ตารางที่ 4.6  
ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 2 น้ำหนักโครงข้อมุมน (กิโลกรัม)

ครั้งที่	รุ่นที่ 50	รุ่นที่ 100	รุ่นที่ 200	รุ่นที่ 300
1	5.4251	5.3900	5.3819	5.3819
2	5.4038	5.3819	5.3819	5.3819
3	5.4235	5.3912	5.3900	5.3819
4	5.4001	5.3902	5.3819	5.3819
5	5.3902	5.3900	5.3819	5.3819
6	5.4550	5.3900	5.3819	5.3819
7	5.6075	5.4001	5.3900	5.3819
8	5.3982	5.3819	5.3819	5.3819
9	5.4604	5.3819	5.3819	5.3819
10	5.4388	5.3900	5.3819	5.3819
11	5.5279	5.3819	5.3819	5.3819
12	5.4082	5.3900	5.3900	5.3819
13	5.3820	5.3819	5.3819	5.3819
14	5.3824	5.3819	5.3819	5.3819
15	5.4243	5.3819	5.3819	5.3819
16	5.3902	5.3900	5.3900	5.3819
17	5.3820	5.3819	5.3819	5.3819
18	5.3921	5.3900	5.3819	5.3819
19	5.5037	5.3820	5.3819	5.3819
20	5.3902	5.3900	5.3900	5.3900
เฉลี่ย	5.4293	5.3869	5.3839	5.3823
ค่าเบี่ยงเบน	0.0582	0.0052	0.0036	0.0018

ที่มา: ผู้วิจัย

ตารางที่ 4.7

สรุปผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 2 พื้นที่หน้าตัดและตำแหน่งของจุดต่อที่ 3

ครั้งที่	น้ำหนักฐาน ที่ 300 (กิโลกรัม)	พื้นที่หน้าตัด (ตารางเซนติเมตร)		หน่วยแรงในชิ้นส่วน (กก./ตร.ซม)		ตำแหน่งของจุดต่อที่ 3 (เซนติเมตร)	
		A1	A2	$\sigma_1$	$\sigma_2$	X3	Y3
1	5.3819	3.63	1.00	1,437	1,437	27	-100
2	5.3819	3.63	1.00	1,437	1,437	27	-100
3	5.3819	3.63	1.00	1,437	1,437	27	-100
4	5.3819	3.63	1.00	1,437	1,437	27	-100
5	5.3819	3.63	1.00	1,437	1,437	27	-100
6	5.3819	3.63	1.00	1,437	1,437	27	-100
7	5.3819	3.63	1.00	1,437	1,437	27	-100
8	5.3819	3.63	1.00	1,437	1,437	27	-100
9	5.3819	3.63	1.00	1,437	1,437	27	-100
10	5.3819	3.63	1.00	1,437	1,437	27	-100
11	5.3819	1.00	3.63	1,437	1,437	293	-100
12	5.3819	1.00	3.63	1,437	1,437	293	-100
13	5.3819	1.00	3.63	1,437	1,437	293	-100
14	5.3819	1.00	3.63	1,437	1,437	293	-100
15	5.3819	1.00	3.63	1,437	1,437	293	-100
16	5.3819	1.00	3.63	1,437	1,437	293	-100
17	5.3819	1.00	3.63	1,437	1,437	293	-100
18	5.3819	1.00	3.63	1,437	1,437	293	-100
19	5.3819	3.59	1.14	1,439	1,436	33	-106
20	5.3900	1.00	3.64	1,437	1,433	293	-100

ที่มา: ผู้วิจัย

ตารางที่ 4.8  
การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 2

ตัวแปร	วิเคราะห์ด้วย GAs	คำตอบที่แท้จริง
พื้นที่หน้าตัด (ตารางเซนติเมตร)		
A1	3.63	3.63
A2	1.00	1.00
ตำแหน่งของจุดต่อที่ 3 (เซนติเมตร)		
X3	27	27
Y3	-100	-100
น้ำหนัก(กิโลกรัม)	5.3819	5.3819

ที่มา: ผู้วิจัย

ตารางที่ 4.9

แสดงพื้นที่หน้าตัดและการเคลื่อนที่ของจุดต่อที่ 3 เมื่อน้ำหนักกระทำเปลี่ยนแปลง ในตัวอย่างที่ 2

น้ำหนักกระทำ P (กิโลกรัม)	น้ำหนักฐานที่ 300 (กิโลกรัม)	พื้นที่หน้าตัด (ตารางเซนติเมตร)		หน่วยแรงในชิ้นส่วน (กก./ตร.ซม)		ตำแหน่งของจุดต่อที่ 3 (เซนติเมตร)	
		A1	A2	$\sigma_1$	$\sigma_2$	X3	Y3
1,000	2.9623	1.00	1.00	943	943	160	-100
1,100	2.9623	1.00	1.00	1,038	1,038	160	-100
1,200	2.9623	1.00	1.00	1,132	1,132	160	-100
1,300	2.9623	1.00	1.00	1,226	1,226	160	-100
1,400	2.9623	1.00	1.00	1,321	1,321	160	-100
1,500	2.9623	1.00	1.00	1,415	1,415	160	-100
1,600	3.0220	1.00	1.00	1,439	1,439	160	-107
1,700	3.1213	1.00	1.00	1,432	1,432	160	-118
1,800	3.2268	1.00	1.00	1,434	1,434	160	-129
1,900	3.3149	1.27	1.00	1,440	1,268	83	-100
2,000	3.3823	1.33	1.00	1,439	1,240	75	-100
3,000	3.9883	1.97	1.00	1,439	1,439	54	-100
4,000	4.5490	2.62	1.00	1,439	1,421	38	-100
5,000	5.1004	3.29	1.00	1,438	1,438	30	-100
6,000	5.6576	3.97	1.00	1,438	1,406	24	-100
7,000	6.2049	4.65	1.00	1,439	1,383	20	-100
8,000	6.7654	5.35	1.00	1,439	1,280	16	-100
9,000	7.3776	6.12	1.00	1,417	1,354	15	-100
10,000	7.8458	6.71	1.00	1,439	1,408	14	-100
11,000	8.4006	7.41	1.00	1,439	1,336	12	-100
12,000	8.9464	8.10	1.00	1,439	1,340	11	-100
13,000	9.4915	8.79	1.00	1,440	1,323	10	-100

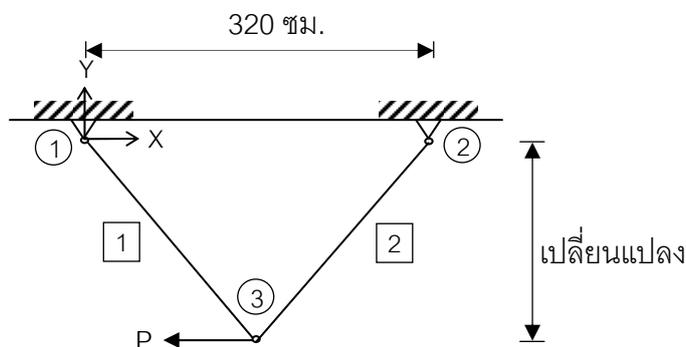
ที่มา: ผู้วิจัย

### 4.1.3 ตัวอย่างที่ 3

วัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาโครงข้อหมุนที่มีจำนวนชิ้นส่วนทั้งหมด 2 ชิ้นส่วน ชิ้นส่วนทั้งสองรับทั้งแรงดึงและแรงอัด พื้นที่หน้าตัดของชิ้นส่วนที่ให้เลือกใช้แบบต่อเนื่อง หน่วยแรงที่ยอมให้ในแต่ละชิ้นส่วนเป็นแบบคงที่

ภาพที่ 4.2

โครงข้อหมุน 2 ชิ้นส่วนรับแรงดึงและแรงอัด



ที่มา: ผู้วิจัย

ภาพที่ 4.2 แสดงโครงข้อหมุนที่ประกอบด้วย 2 ชิ้นส่วน ต้องการออกแบบโครงข้อหมุนให้สามารถรับน้ำหนักบรรทุก  $P$  เท่ากับ 5,500 กิโลกรัม ได้ดังภาพ โดยหน่วยแรงที่ยอมให้ในแต่ละชิ้นส่วนเป็นแบบคงที่ โครงข้อหมุนทำมาจากวัสดุที่มีโมดูลัสยืดหยุ่นเท่ากับ  $2.04 \times 10^6$  กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และมีหน่วยน้ำหนัก  $7.85 \times 10^{-3}$  กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร โดยมีข้อกำหนดในการออกแบบ คือหน่วยแรงดึงหรือหน่วยแรงอัดที่เกิดขึ้นในแต่ละชิ้นส่วนต้องไม่เกิน 1,440 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และระยะเคลื่อนที่ของจุดต่อใด ๆ ต้องไม่เกิน 2.00 เซนติเมตร ขนาดหน้าตัดที่สามารถเลือกใช้ได้ในแต่ละชิ้นส่วนมี 1,024 (เท่ากับ  $2^{10}$ ) ขนาด คือ ตั้งแต่ 1.00 ตารางเซนติเมตร ถึง 11.23 ตารางเซนติเมตรโดยมีความละเอียดในแต่ละชั้นเท่ากับ 0.01 ตารางเซนติเมตร การเคลื่อนที่ในแนวราบ (X) สามารถเลือกได้ทั้งหมด 512 (เท่ากับ  $2^9$ ) ตำแหน่ง คือ ตั้งแต่ -95 เซนติเมตร ถึง 417 เซนติเมตรโดยมีความละเอียดในแต่ละชั้นเท่ากับ 1.00 เซนติเมตร การเคลื่อนที่ในแนวตั้ง (Y) สามารถเลือกได้ทั้งหมด 256 (เท่ากับ  $2^8$ ) ตำแหน่ง คือ ตั้งแต่ -100 เซนติเมตร ถึง -356 เซนติเมตร โดยมีความละเอียดในแต่ละชั้นเท่ากับ -1.00 เซนติเมตร

การวิเคราะห์ที่ใช้สายพันธุ์กรรมบรรจุข้อมูลพื้นที่หน้าตัดของชั้นส่วนที่ 1(A1) และ 2 (A2) แต่ละหน้าตัดใช้จำนวน 10 บิทแทนหน้าตัดที่เป็นไปได้จำนวน 1024 หน้าตัดต่อหนึ่งชั้น ส่วนข้อมูลตำแหน่งทางแนวราบของจุดต่อที่ 3 (X3) ใช้จำนวน 9 บิทแทนตำแหน่งทางแนวราบที่เป็นไปได้จำนวน 512 ตำแหน่ง ข้อมูลตำแหน่งทางแนวตั้งของจุดต่อที่ 3 (Y3) ใช้จำนวน 8 บิทแทนตำแหน่งทางแนวตั้งที่เป็นไปได้จำนวน 256 ตำแหน่ง สายพันธุ์กรรมหนึ่งสายจึงยาวทั้งหมด 37 บิท

### สรุปผลตัวอย่างที่ 3

จากตารางที่ 4.10 พบว่าเมื่อจำนวนรุ่นของประชากรสูงขึ้น ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของน้ำหนักโครงข้อหมุนมีค่าต่ำลงแสดงว่า GAs มีความน่าเชื่อถือมากขึ้น ส่วนตำแหน่งของจุดต่อที่ 3 นั้นพิจารณาจากตารางที่ 4.11 พบว่าตำแหน่งที่ทำให้โครงข้อหมุนมีน้ำหนักต่ำที่สุดคือ ตำแหน่ง (162,-100)

การตรวจสอบว่าตำแหน่งที่วิเคราะห์ได้จาก GAs นั้นเป็นตำแหน่งที่เหมาะสมหรือไม่ พิจารณาได้จากตารางที่ 4.12 เมื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์จาก GAs กับคำตอบที่แท้จริง (หาน้ำหนักที่จุดต่าง ๆ ภายในขอบเขตแล้วพิจารณาว่าจุดใดให้น้ำหนักโครงข้อหมุนต่ำที่สุด) พบว่า พื้นที่หน้าตัดที่ได้จากทั้งสองวิธีแตกต่างกันเพียง 0.02 ตารางเซนติเมตร ตำแหน่งในทางราบ (X) แตกต่างกันเพียง 2.00 เซนติเมตร รวมทั้งน้ำหนักโครงข้อหมุนต่ำที่สุดแตกต่างกันเพียง 0.01 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น สรุปได้ว่าพื้นที่หน้าตัดและตำแหน่งที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย GAs นั้นเหมาะสม

ข้อสังเกตเพิ่มเติมจากตารางที่ 4.13 คือขณะที่พื้นที่หน้าตัดของชั้นส่วนทั้งสองเท่ากับ 1.00 ตารางเซนติเมตร (พื้นที่หน้าตัดที่เล็กสุด) เมื่อน้ำหนักกระทำเพิ่มมากขึ้น หน่วยแรงที่เกิดขึ้นในชั้นส่วนทั้งสองจะมีค่าเพิ่มมากขึ้น โดยที่จุดต่อที่ 3 ยังคงอยู่ที่แนวกึ่งกลาง (X3 = 160, Y3 = -100) จนกระทั่งพื้นที่หน้าตัด 1.00 ตารางเซนติเมตร ไม่เพียงพอที่จะรับที่จะรับหน่วยแรงที่เกิดขึ้นได้ จึงต้องเพิ่มพื้นที่หน้าตัดทั้งสองชั้นส่วน โดยเพิ่มพื้นที่หน้าตัดของชั้นส่วนที่ 1 ให้ใกล้เคียงกับพื้นที่หน้าตัดของชั้นส่วนที่ 2 และจุดต่อที่ 3 ยังคงพยายามรักษาตำแหน่งให้อยู่ที่แนวกึ่งกลาง (160, -100) เช่นเดิมซึ่งแตกต่างจากโครงข้อหมุนที่รับเฉพาะแรงดึงดั่งที่ได้กล่าวแล้วในตัวอย่างที่ 1 และตัวอย่างที่ 2

ตารางที่ 4.10

ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 3 น้ำหนักโครงข้อหมุน (กิโลกรัม)

ครั้งที่	รุ่นที่ 50	รุ่นที่ 100	รุ่นที่ 200	รุ่นที่ 300
1	6.6962	6.6954	6.6954	6.6954
2	6.7397	6.6954	6.6954	6.6954
3	6.8284	6.6954	6.6954	6.6954
4	6.7684	6.7306	6.6962	6.6962
5	7.0080	6.8855	6.8855	6.6962
6	6.7453	6.7049	6.7005	6.7005
7	6.9234	6.7762	6.7025	6.7025
8	6.7262	6.7049	6.7049	6.7049
9	6.8388	6.7094	6.7094	6.7094
10	6.9577	6.9236	6.7659	6.7247
11	6.7882	6.7585	6.7408	6.7306
12	6.7493	6.7356	6.7356	6.7356
13	6.7835	6.7540	6.7540	6.7540
14	6.7835	6.7540	6.7540	6.7540
15	6.7689	6.7540	6.7540	6.7540
16	6.7989	6.7540	6.7540	6.7540
17	6.7687	6.7540	6.7540	6.7540
18	6.9035	6.7540	6.7540	6.7540
19	6.8158	6.7540	6.7540	6.7540
20	6.7838	6.7540	6.7540	6.7540
เฉลี่ย	6.8088	6.7524	6.7380	6.7259
ค่าเบี่ยงเบน	0.0809	0.0583	0.0438	0.0261

ที่มา: ผู้วิจัย

ตารางที่ 4.11

สรุปผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 3 พื้นที่หน้าตัดและตำแหน่งของจุดต่อที่ 3

ครั้งที่	น้ำหนักฐาน ที่300 (กิโลกรัม)	พื้นที่หน้าตัด (ตารางเซนติเมตร)		หน่วยแรงในชิ้นส่วน (กก./ตร.ซม)		ตำแหน่งของจุดต่อที่ 3 (เซนติเมตร)	
		A1	A2	$\sigma_1$	$\sigma_2$	X3	Y3
1	6.6954	2.28	2.24	-1,435	1,435	162	-100
2	6.6954	2.28	2.24	-1,435	1,435	162	-100
3	6.6954	2.24	2.28	-1,435	1,435	158	-100
4	6.6962	2.29	2.23	-1,435	1,435	163	-100
5	6.6962	2.23	2.29	-1,435	1,435	157	-100
6	6.7005	2.32	2.20	-1,436	1,435	166	-100
7	6.7025	2.33	2.19	-1,436	1,434	167	-100
8	6.7049	2.18	2.34	-1,434	1,436	152	-100
9	6.7094	2.18	2.34	-1,434	1,436	152	-100
10	6.7247	2.28	2.26	-1,435	1,422	162	-100
11	6.7306	2.11	2.41	-1,435	1,437	145	-100
12	6.7356	2.10	2.42	-1,435	1,438	144	-100
13	6.7540	2.28	2.28	-1,429	1,416	161	-100
14	6.7540	2.28	2.28	-1,429	1,416	161	-100
15	6.7540	2.28	2.28	-1,429	1,416	161	-100
16	6.7540	2.28	2.28	-1,429	1,416	161	-100
17	6.7540	2.28	2.28	-1,422	1,422	160	-100
18	6.7540	2.28	2.28	-1,429	1,416	161	-100
19	6.7540	2.28	2.28	-1,429	1,416	161	-100
20	6.7540	2.28	2.28	-1,422	1,422	160	-100

ที่มา: ผู้วิจัย

ตารางที่ 4.12

การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 3

ตัวแปร	วิเคราะห์ด้วย GAs	ค่าตอบที่แท้จริง
พื้นที่หน้าตัด (ตารางเซนติเมตร)		
A1	2.28	2.26
A2	2.24	2.26
ตำแหน่งของจุดต่อที่ 3 (เซนติเมตร)		
X3	162	160
Y3	-100	-100
น้ำหนัก (กิโลกรัม)	6.6954	6.6947

ที่มา: ผู้วิจัย

ตารางที่ 4.13

แสดงพื้นที่หน้าตัดและการเคลื่อนที่ของจุดต่อที่ 3 เมื่อน้ำหนักกระทำเปลี่ยนแปลง ในตัวอย่างที่ 3

น้ำหนักกระทำ P (กิโลกรัม)	น้ำหนักฐานที่ 300 (กิโลกรัม)	พื้นที่หน้าตัด (ตารางเซนติเมตร)		หน่วยแรงในชิ้นส่วน (กก./ตร.ซม)		ตำแหน่งของจุดต่อที่ 3 (เซนติเมตร)	
		A1	A2	$\sigma_1$	$\sigma_2$	X3	Y3
1,000	2.9623	1.00	1.00	-590	590	160	-100
1,100	2.9623	1.00	1.00	-649	649	160	-100
1,200	2.9623	1.00	1.00	-708	708	160	-100
1,300	2.9623	1.00	1.00	-767	767	160	-100
1,400	2.9623	1.00	1.00	-825	825	160	-100
1,500	2.9623	1.00	1.00	-884	884	160	-100
1,600	2.9623	1.00	1.00	-943	943	160	-100
1,700	2.9623	1.00	1.00	-1,002	1,002	160	-100
1,800	2.9623	1.00	1.00	-1,061	1,061	160	-100
1,900	2.9623	1.00	1.00	-1,120	1,120	160	-100
2,000	2.9623	1.00	1.00	-1,179	1,179	160	-100
3,000	3.6436	1.23	1.23	-1,438	1,438	160	-100
4,000	4.8581	1.64	1.64	-1,438	1,438	160	-100
5,000	6.1864	1.84	2.28	-1,433	1,435	136	-100
6,000	7.2886	2.43	2.49	-1,436	1,440	157	-100
7,000	8.5017	2.87	2.87	-1,438	1,438	160	-100
8,000	9.8145	3.01	3.56	-1,436	1,440	141	-100
9,000	10.9317	3.72	3.66	-1,439	1,437	162	-100
10,000	12.1558	4.21	3.99	-1,438	1,438	166	-100
11,000	13.3678	4.61	4.41	-1,439	1,438	165	-100
12,000	14.5610	4.96	4.87	-1,439	1,440	162	-100

ที่มา: ผู้วิจัย

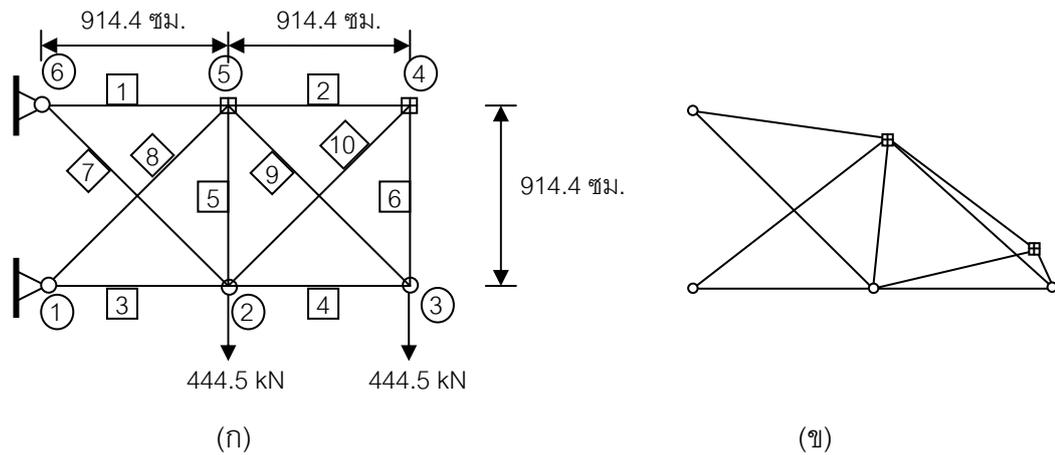
#### 4.1.4 ตัวอย่างที่ 4

วัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาโครงข้อหมุนจำนวนชิ้นส่วนทั้งหมด 10 ชิ้นส่วน โดยเปรียบเทียบการศึกษางานในวิชานี้กับการวิจัยในอดีต เมื่อโครงข้อหมุนมีชิ้นส่วนที่รับทั้งแรงดึงและแรงอัด มีพื้นที่หน้าตัดของชิ้นส่วนที่ให้เลือกใช้เป็นแบบไม่ต่อเนื่อง หน่วยแรงที่ยอมให้ของชิ้นส่วนคงที่ และจุดต่อโครงข้อหมุนเคลื่อนที่ได้เฉพาะจุดที่กำหนดเท่านั้น

ภาพที่ 4.3

เปรียบเทียบรูปร่างเริ่มต้นและรูปร่างที่เหมาะสมของโครงข้อหมุน 10 ชิ้นส่วน รับแรงดึงและแรงอัด

(ก) รูปร่างเริ่มต้น (ข) รูปร่างที่เหมาะสม



ที่มา: ผู้วิจัย

ภาพที่ 4.3 แสดงโครงข้อหมุนที่ประกอบด้วย 10 ชิ้นส่วน ต้องการออกแบบโครงข้อหมุนให้สามารถรับน้ำหนักบรรทุกทุกได้ดังภาพ โครงข้อหมุนทำมาจากวัสดุที่มีโมดูลัสยืดหยุ่นเท่ากับ 6,894,756 นิวตันต่อตารางเซนติเมตร และมีหน่วยน้ำหนัก 0.02714 นิวตันต่อลูกบาศก์เซนติเมตร โดยมีข้อกำหนดในการออกแบบ คือ หน่วยแรงดึงและหน่วยแรงอัดที่เกิดขึ้นในแต่ละชิ้นส่วนต้องไม่เกิน 17,225 นิวตันต่อตารางเซนติเมตร และระยะเคลื่อนที่ของจุดต่อใด ๆ ต้องไม่เกิน 5.08 เซนติเมตร ขนาดหน้าตัดที่สามารถเลือกใช้ได้สำหรับชิ้นส่วนที่ 1, 3, 4, 7, 8 และ 9 มีให้เลือก 32 (เท่ากับ  $2^5$ ) ขนาด คือ 3.13, 3.38, 3.47, 3.53, 3.63, 3.84, 3.87, 4.18, 4.22, 4.49, 4.59, 4.80, 4.97, 5.12, 5.74, 7.22, 7.97, 11.5, 13.5, 13.9, 14.2, 15.5, 16.0, 16.9, 18.8, 19.9, 22.0, 22.9, 26.5, 30.0 และ 33.5 ตารางนิ้ว และขนาดหน้าตัดที่สามารถเลือกใช้ได้สำหรับ

ชั้นส่วนที่ 2, 5, 6 และ 10 มีให้เลือก 32 (เท่ากับ  $2^5$ ) ขนาด คือ 1.62, 1.80, 1.99, 2.13, 2.38, 2.62, 2.63, 2.88, 2.93, 3.09, 3.13, 3.38, 3.47, 3.55, 3.63, 3.84, 3.87, 4.18, 4.22, 4.49, 4.59, 4.80, 4.97, 5.12, 5.74, 7.22, 7.97, 11.5, 13.5, 13.9 และ 14.2 ตารางนี้ จุดต่อที่สามารถเคลื่อนที่ได้ คือ จุดต่อที่ 4 และ จุดต่อที่ 5 และการเคลื่อนที่ในแนวราบ (X) สามารถเลือกได้ทั้งหมด 1,024 (เท่ากับ  $2^{10}$ ) ตำแหน่ง คือ เคลื่อนที่จากตำแหน่งที่กำหนดในรูปร่างเริ่มต้นไปทางซ้ายได้ 512 เซนติเมตรและเคลื่อนที่จากตำแหน่งที่กำหนดในรูปร่างเริ่มต้นไปทางขวาได้ 512 เซนติเมตร โดยมีความละเอียดในการเพิ่มขึ้นละ 1.00 เซนติเมตร การเคลื่อนที่ในแนวตั้ง (Y) สามารถเลือกได้ทั้งหมด 1,024 (เท่ากับ  $2^{10}$ ) ตำแหน่ง คือเคลื่อนที่ขึ้นจากตำแหน่งที่กำหนดในรูปร่างเริ่มต้นได้ 110 เซนติเมตรและเคลื่อนที่ลงจากตำแหน่งที่กำหนดในรูปร่างเริ่มต้นได้ 914 เซนติเมตร โดยมีความละเอียดในแต่ละชั้น 1.00 เซนติเมตร

การวิเคราะห์ที่ใช้สายพันธุกรรมบรรจุข้อมูลพื้นที่หน้าตัดของชั้นส่วนที่ 1 (A1) ถึง 10 (A10) แต่ละหน้าตัดใช้จำนวน 5 บิตแทนหน้าตัดที่เป็นไปได้จำนวน 32 หน้าตัดต่อหนึ่งชั้น ส่วนข้อมูลตำแหน่งทางแนวราบของจุดต่อที่ 4 (X4) และ 5 (X5) ใช้จำนวน 10 บิตแทนตำแหน่งทางแนวราบที่เป็นไปได้จำนวน 1024 ตำแหน่ง ข้อมูลตำแหน่งทางแนวตั้งของจุดต่อที่ 4 (Y4) และ 5 (Y5) ใช้จำนวน 10 บิตแทนตำแหน่งทางแนวตั้งที่เป็นไปได้จำนวน 1,024 ตำแหน่ง สายพันธุกรรมหนึ่งสายจึงยาวทั้งหมด 90 บิต

#### สรุปผลตัวอย่างที่ 4

ตารางที่ 4.14 แสดงน้ำหนักโครงข้อหมุนที่สามารถรับน้ำหนักบรรทุกทุกได้โดยไม่ละเมิดข้อกำหนด โดยแสดงผลการวิเคราะห์เมื่อเวลาผ่านไป 100, 200, 300 และ 400 รุ่นตามลำดับ โดยแสดงผลการวิเคราะห์ 20 ครั้งเรียงจากครั้งที่ประสบความสำเร็จมากที่สุด (22,734 นิวตัน) จนถึงครั้งที่ประสบความสำเร็จน้อยที่สุด (22,918 นิวตัน) บรรทัดสุดท้ายคือร้อยละของส่วนต่างระหว่างน้ำหนักเฉลี่ยจากการวิเคราะห์รวม 20 ครั้งกับน้ำหนักโครงข้อหมุนที่น้อยที่สุด (22,632 นิวตัน) จากงานวิจัย [3]

จากผลการวิเคราะห์พบว่าโดยเฉลี่ยวิธีที่ศึกษาสามารถค้ำน้ำหนักโครงข้อหมุนที่หนักเกินกว่า 22,632 นิวตันคิดเป็นร้อยละ 2.37, 1.37, 1.02 และ 0.81 ที่รุ่นที่ 100, 200, 300 และ 400 ตามลำดับ น้ำหนักของโครงข้อหมุนที่น้อยที่สุดที่วิเคราะห์ได้คือ 22,734 นิวตัน ซึ่งหนักกว่า 22,632 นิวตันอยู่ประมาณ 102 นิวตัน (ร้อยละ 0.45)

ตารางที่ 4.16 แสดงผลการวิเคราะห์ที่ดีที่สุดของวิธีที่ศึกษาเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ที่ดีที่สุดของงานวิจัยในอดีต จะเห็นว่าผลการวิเคราะห์ที่ดีที่สุดของวิธีที่ศึกษามีน้ำหนักโครงข้อหมุนน้อยกว่างานวิจัย [10] แต่มีน้ำหนักโครงข้อหมุนมากกว่างานวิจัย [3]

ความแตกต่างระหว่างงานวิจัยนี้กับงานวิจัยในอดีตที่เกิดขึ้น เนื่องมาจากการตั้งค่ากำหนด (Parameters) ต่าง ๆ ของ GAs เช่น จำนวนสายพันธุกรรมในหนึ่งรุ่น ความน่าจะเป็นในการใช้สายพันธุ ความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ และขอบเขตของการเคลื่อนที่ของจุดต่อของโครงข้อหมุนรวมทั้งความละเอียดของการเคลื่อนที่ในแต่ละชั้น

ตารางที่ 4.14  
ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 4 นำหนักโครงข้อหมุน (นิวตัน)

ครั้งที่	รุ่นที่ 100	รุ่นที่ 200	รุ่นที่ 300	รุ่นที่ 400
1	23053	22851	22737	22734
2	23031	22827	23039	22736
3	23650	22767	22767	22742
4	23251	22834	22770	22750
5	23050	22785	22775	22755
6	22904	22854	22814	22759
7	22790	22777	22774	22769
8	22830	22807	22785	22779
9	23135	23042	22956	22784
10	23194	22953	22795	22787
11	23506	22894	22813	22813
12	22877	22841	22833	22818
13	23155	22914	22823	22861
14	23242	22969	22957	22867
15	22924	22902	22868	22880
16	23504	22966	22887	22883
17	23361	23161	22885	22885
18	23622	23195	22989	22890
19	22977	22910	22910	22910
20	23297	23585	23064	22918
เฉลี่ย	23167.65	22941.7	22862.05	22816
ค่าเบี่ยงเบน	260.28	191.17	96.11	64.10
ร้อยละ	2.37	1.37	1.02	0.81

ที่มา: ผู้วิจัย

ตารางที่ 4.15  
สรุปผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 4 พื้นที่หน้าตัดและตำแหน่งจุดต่อที่ 4 และ 5

ครั้งที่	น้ำหนัก (นิวตัน)	พื้นที่หน้าตัด (ตารางนิ้ว)										ตำแหน่ง (เมตร)			
		A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	X4	Y4	X5	Y5
1	22734	33.50	4.80	22.90	15.50	1.62	2.93	5.74	18.80	19.90	1.62	17.10	1.92	9.86	7.69
2	22736	33.50	2.62	22.90	15.50	1.62	2.13	7.97	16.90	19.90	1.62	17.42	2.04	10.93	6.89
3	22742	33.50	5.12	22.00	13.50	1.62	2.13	5.74	19.90	18.80	2.62	17.69	1.31	10.65	7.17
4	22750	33.50	4.59	26.50	16.90	1.62	5.12	7.22	16.00	16.90	1.62	15.70	3.21	10.37	7.05
5	22755	33.50	2.93	22.00	13.90	1.62	2.62	7.22	18.80	19.90	1.62	16.67	3.00	10.80	7.39
6	22759	33.50	2.88	22.90	16.90	1.62	2.62	7.99	16.90	18.80	1.62	16.80	2.57	11.22	6.78
7	22769	33.50	7.18	22.90	16.00	1.62	3.47	7.22	18.80	16.90	1.62	15.76	3.12	11.05	6.73
8	22779	33.50	2.88	22.90	13.90	1.62	2.38	7.22	19.90	19.90	1.80	17.74	1.25	9.75	7.85
9	22784	33.50	5.12	22.90	13.50	1.62	3.09	7.97	19.90	16.00	1.99	16.50	2.97	10.74	7.21
10	22787	33.50	4.80	26.50	13.90	1.62	4.22	7.22	16.90	16.90	1.99	16.28	2.93	10.85	7.13
11	22813	33.50	4.18	22.00	14.20	1.62	2.63	7.97	18.80	16.00	1.62	16.44	2.98	11.71	6.98
12	22818	30.00	3.88	22.90	13.90	1.62	3.55	7.22	22.00	16.90	1.80	17.32	1.95	11.31	7.13
13	22861	33.50	5.74	22.00	13.90	1.62	5.74	7.22	18.80	15.50	1.99	16.08	2.95	11.93	6.45
14	22867	33.50	3.63	22.00	13.90	1.80	3.88	7.97	19.90	18.80	2.13	16.28	2.94	9.97	7.71
15	22880	33.50	4.80	26.50	18.80	1.62	3.47	7.22	14.20	19.90	1.80	17.04	1.61	9.71	6.94
16	22883	33.50	4.49	18.80	13.50	1.62	4.22	7.22	22.00	15.50	1.62	16.51	2.61	11.80	6.97
17	22885	33.50	2.38	26.50	15.50	1.62	2.88	7.22	16.00	22.90	1.62	17.30	2.04	9.33	7.39
18	22890	30.00	4.80	26.50	14.20	1.62	3.88	11.50	15.50	16.90	2.93	16.57	3.24	10.75	7.10
19	22910	33.50	1.99	22.90	15.50	1.62	1.99	7.97	16.00	19.90	1.62	17.16	2.33	12.07	6.41
20	22918	33.50	2.93	26.50	15.50	1.62	5.74	7.97	16.00	18.80	1.99	15.66	3.60	10.23	7.10

ที่มา: ผู้วิจัย

ตารางที่ 4.16  
เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 4 กับงานวิจัยในอดีต

งาน	น้ำหนัก (นิวตัน)	พื้นที่หน้าตัด (ตารางนิ้ว)										ตำแหน่ง (เมตร)			
		A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	X4	Y4	X5	Y5
[3]	22632.00	33.50	4.80	22.90	15.50	1.62	3.88	7.22	18.80	16.90	1.80	16.23	2.73	10.50	7.09
งานนี้	22734.00	33.50	4.80	22.90	15.50	1.62	2.93	5.74	18.80	19.90	1.62	17.10	1.92	9.86	7.69
[10]	22897.53	30.00	2.63	22.90	15.50	1.62	2.13	7.22	18.80	22.00	1.62	16.28	2.74	11.25	7.13

ที่มา: ผู้วิจัย

## 4.2 การวิจัยกลุ่มที่ 2

วัตถุประสงค์ของการวิจัยในกลุ่มนี้ คือเพื่อศึกษาโครงข้อหมุนที่มีหน่วยแรงที่ยอมให้ในแต่ละชั้นส่วนเป็นแบบไม่คงที่ โดยหน่วยแรงที่ยอมให้แปรเปลี่ยนตามอัตราส่วนความชะลูด โดยวิธีตัวคุณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก (AISC/LRFD (2005)) ซึ่งเป็นการพัฒนาเพิ่มเติมจากพื้นฐานในการวิจัยที่ [7] ตัวอย่างที่ศึกษามีทั้งตัวอย่างที่จุดต่อของโครงข้อหมุนไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ (รูปร่างของโครงข้อหมุนตายตัว) และมีตัวอย่างที่จุดต่อสามารถเคลื่อนที่ได้ตามขอบเขตที่กำหนด (รูปร่างของโครงข้อหมุนสามารถเปลี่ยนแปลงได้) ตัวอย่างที่ใช้สำหรับการวิจัยในกลุ่มนี้มีจำนวน 5 ตัวอย่าง คือ

ตัวอย่างที่ 5 เป็นการศึกษาโครงข้อหมุนที่มีชั้นส่วนที่รับทั้งแรงดึงและแรงอัด มีพื้นที่หน้าตัดของชั้นส่วนที่ให้เลือกใช้เป็นแบบไม่ต่อเนื่องและผ่านข้อกำหนดเรื่องอัตราส่วนความชะลูดทุกหน้าตัด

ตัวอย่างที่ 6 เป็นการศึกษาโครงข้อหมุนที่มีชั้นส่วนที่รับทั้งแรงดึงและแรงอัด มีพื้นที่หน้าตัดของชั้นส่วนที่ให้เลือกใช้เป็นแบบไม่ต่อเนื่องและมีหน้าตัดที่ไม่ผ่านข้อกำหนดเรื่องอัตราส่วนความชะลูดให้เลือกใช้

ตัวอย่างที่ 7 เป็นการศึกษาโครงข้อหมุนที่มีชั้นส่วนที่รับเฉพาะแรงดึง มีพื้นที่หน้าตัดของชั้นส่วนที่ให้เลือกใช้เป็นแบบต่อเนื่อง

ตัวอย่างที่ 8 เป็นการศึกษาโครงข้อหมุนที่มีชั้นส่วนที่รับทั้งแรงดึงและแรงอัด มีพื้นที่หน้าตัดของชั้นส่วนที่ให้เลือกใช้เป็นแบบต่อเนื่อง

ตัวอย่างที่ 9 เป็นการเปรียบเทียบการศึกษาในงานวิจัยนี้กับงานวิจัยในอดีต เป็นการศึกษาโครงข้อหมุนที่มีจำนวนชั้นส่วนทั้งหมด 18 ชั้นส่วน มีชั้นส่วนที่รับทั้งแรงดึงและแรงอัด มีพื้นที่หน้าตัดของชั้นส่วนที่ให้เลือกใช้เป็นแบบต่อเนื่อง

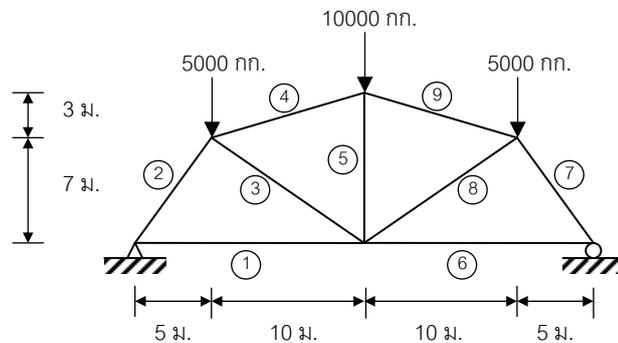
รายละเอียดของตัวอย่างที่ใช้วิจัยและผลการวิจัยของแต่ละตัวอย่างมีดังนี้

#### 4.2.1 ตัวอย่างที่ 5

วัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาโครงข้อหมุนที่มีจำนวนชิ้นส่วนทั้งหมด 9 ชิ้นส่วน มีชิ้นส่วนที่รับทั้งแรงดึงและแรงอัด โดยวิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก (AISC/LRFD (2005)) พื้นที่หน้าตัดของชิ้นส่วนที่ให้เลือกใช้เป็นชนิดไม่ต่อเนื่องและผ่านข้อกำหนดเรื่องอัตราส่วนความชะลูดทุกหน้าตัด โดยที่รูปร่างโครงข้อหมุนตายตัว

ภาพที่ 4.4

โครงข้อหมุน 9 ชิ้นส่วนรับแรงดึงและแรงอัด



ที่มา: ผู้วิจัย

ภาพที่ 4.4 แสดงโครงข้อหมุนที่ประกอบด้วย 9 ชิ้นส่วน ต้องการออกแบบโครงข้อหมุนให้สามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้ดังภาพ โดยวิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก (AISC/LRFD (2005)) โครงข้อหมุนทำมาจากวัสดุที่มีโมดูลัสยืดหยุ่นเท่ากับ  $2.04 \times 10^6$  กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และมีหน่วยน้ำหนัก  $7.85 \times 10^{-3}$  กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร โดยมีข้อกำหนดในการออกแบบ คือ หน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้นในแต่ละชิ้นส่วนต้องไม่เกิน  $0.9f_y$  หรือเท่ากับ 2,160 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยที่ค่าอัตราส่วนความชะลูด  $\frac{l}{r}$  ต้องไม่เกิน 300 ส่วนหน่วยแรงอัดที่เกิดขึ้นในแต่ละชิ้นส่วนต้องไม่เกิน  $0.85F_{cr}$  กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยที่ค่าอัตราส่วนความชะลูด  $\frac{kl}{r}$  ต้องไม่เกิน 200 ขนาดหน้าตัดที่สามารถเลือกใช้ได้ในแต่ละชิ้นส่วนมี 8 (เท่ากับ  $2^3$ ) ขนาด คือ 51.21, 23.18, 27.16, 39.01, 63.53, 71.53, 83.69 และ 32.68 ตารางเซนติเมตร และมี

ค่ารัศมีไจเรชัน,  $r$  ที่สอดคล้องกันตามลำดับดังนี้ 7.50, 8.26, 8.24, 8.30, 8.62, 8.35, 8.83 และ 10.40 เซนติเมตร

การวิเคราะห์ที่ใช้สายพันธุ์กรรมบรรจข้อมูลพื้นที่หน้าตัดของชั้นส่วนที่ 1 (A1) ถึง 9 (A9) แต่ละหน้าตัดใช้จำนวน 3 บิทแทนหน้าตัดที่เป็นไปได้จำนวน 8 หน้าตัดต่อหนึ่งชั้นส่วน สายพันธุ์กรรมหนึ่งสายจึงยาวทั้งหมด 27 บิท

#### สรุปผลตัวอย่างที่ 5

จากตารางที่ 4.17 พบว่าเมื่อจำนวนรุ่นของประชากรสูงขึ้น ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของน้ำหนักโครงข้อหมุนจะต่ำลงแสดงว่า GAs มีความน่าเชื่อถือมากขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์จาก GAs กับคำตอบที่แท้จริงซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 4.19 พบว่า พื้นที่หน้าตัดของทั้ง 9 ชั้นส่วนจากทั้ง 2 วิธีตรงกัน สรุปได้ว่าพื้นที่หน้าตัดที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย GAs เป็นพื้นที่หน้าตัดที่เหมาะสม และ GAs สามารถใช้ได้กับโครงข้อหมุนที่มีรูปร่างตายตัวโดยที่ยังไม่ได้พิจารณาถึงผลกระทบจากอัตราส่วนชะลูดเนื่องจากหน้าตัดที่ให้เลือกใช้ผ่านข้อกำหนดเรื่องอัตราส่วนความชะลูดทุกหน้าตัด

ตารางที่ 4.17

ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 5 น้ำหนักโครมซัลเฟต (กิโลกรัม)

ครั้งที่	รุ่นที่ 50	รุ่นที่ 100	รุ่นที่ 200	รุ่นที่ 300
1	1865.0912	1865.0912	1865.0912	1865.0912
2	1865.0912	1865.0912	1865.0912	1865.0912
3	1865.0912	1865.0912	1865.0912	1865.0912
4	1865.0912	1865.0912	1865.0912	1865.0912
5	1865.0912	1865.0912	1865.0912	1865.0912
6	1865.0912	1865.0912	1865.0912	1865.0912
7	1865.0912	1865.0912	1865.0912	1865.0912
8	1865.0912	1865.0912	1865.0912	1865.0912
9	1897.7098	1865.0912	1865.0912	1865.0912
10	1897.7098	1865.0912	1865.0912	1865.0912
11	1865.0912	1865.0912	1865.0912	1865.0912
12	1938.8319	1865.0912	1865.0912	1865.0912
13	1865.0912	1865.0912	1865.0912	1865.0912
14	1865.0912	1865.0912	1865.0912	1865.0912
15	1865.0912	1865.0912	1865.0912	1865.0912
16	1865.0912	1865.0912	1865.0912	1865.0912
17	1911.9557	1865.0912	1865.0912	1865.0912
18	1891.9674	1865.0912	1865.0912	1865.0912
19	1865.0912	1865.0912	1865.0912	1865.0912
20	1896.3342	1865.0912	1865.0912	1865.0912
เฉลี่ย	1877.28928	1865.0912	1865.0912	1865.0912
ค่าเบี่ยงเบน	21.13	0.00	0.00	0.00

ที่มา: ผู้วิจัย

ตารางที่ 4.18  
สรุปผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 5 พื้นที่หน้าตัด

ครั้งที่	น้ำหนักสุทธิ 300 (กิโลกรัม)	พื้นที่หน้าตัด (ตารางเซนติเมตร)								
		A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9
1	1865.0912	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18
2	1865.0912	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18
3	1865.0912	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18
4	1865.0912	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18
5	1865.0912	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18
6	1865.0912	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18
7	1865.0912	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18
8	1865.0912	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18
9	1865.0912	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18
10	1865.0912	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18
11	1865.0912	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18
12	1865.0912	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18
13	1865.0912	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18
14	1865.0912	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18
15	1865.0912	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18
16	1865.0912	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18
17	1865.0912	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18
18	1865.0912	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18
19	1865.0912	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18
20	1865.0912	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18	23.18

ที่มา: ผู้วิจัย

ตารางที่ 4.19

การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 5

ตัวแปร	วิเคราะห์ด้วย GAs	ค่าตอบที่แท้จริง
พื้นที่หน้าตัด (ตารางเซนติเมตร)		
A1	23.18	23.18
A2	23.18	23.18
A3	23.18	23.18
A4	23.18	23.18
A5	23.18	23.18
A6	23.18	23.18
A7	23.18	23.18
A8	23.18	23.18
A9	23.18	23.18
น้ำหนัก(กิโลกรัม)	1865.0912	1865.0912

ที่มา: ผู้วิจัย

#### 4.2.2 ตัวอย่างที่ 6

วัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาโครงข้อหมุนที่มีจำนวนชิ้นส่วนทั้งหมด 9 ชิ้นส่วน มีชิ้นส่วนที่รับทั้งแรงดึงและแรงอัด โดยวิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก (AISC/LRFD (2005)) พื้นที่หน้าตัดของชิ้นส่วนที่ให้เลือกใช้เป็นชนิดไม่ต่อเนื่องและมีหน้าตัดที่ไม่ผ่านข้อกำหนดเรื่องอัตราส่วนความชะลูดให้เลือกใช้ โดยที่รูปร่างโครงข้อหมุนตายตัว

ภาพที่ 4.4 แสดงโครงข้อหมุนที่ประกอบด้วย 9 ชิ้นส่วน ต้องการออกแบบโครงข้อหมุนให้สามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้ดังภาพ โดยวิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก (AISC/LRFD (2005)) โครงข้อหมุนทำมาจากวัสดุที่มีโมดูลัสยืดหยุ่นเท่ากับ  $2.04 \times 10^6$  กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และมีหน่วยน้ำหนัก  $7.85 \times 10^{-3}$  กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร โดยมีข้อกำหนดในการออกแบบ คือ หน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้นในแต่ละชิ้นส่วนต้องไม่เกิน  $0.9f_y$  หรือเท่ากับ 2,160 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยที่ค่าอัตราส่วนความชะลูด  $\frac{l}{r}$  ต้องไม่เกิน 300 ส่วนหน่วยแรงอัดที่เกิดขึ้นในแต่ละชิ้นส่วนต้องไม่เกิน  $0.85F_{cr}$  กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยที่ค่าอัตราส่วนความชะลูด  $\frac{kl}{r}$  ต้องไม่เกิน 200 ขนาดหน้าตัดที่สามารถเลือกใช้ได้ในแต่ละชิ้นส่วนมี 8 (เท่ากับ  $2^3$ ) ขนาด คือ 11.85, 21.90, 16.84, 30.31, 17.85, 26.84, 40.14 และ 23.04 ตารางเซนติเมตร และมีค่ารัศมีไจเรชั่น,  $r$  ที่สอดคล้องกันตามลำดับดังนี้ 7.50, 8.26, 8.24, 8.30, 8.62, 8.35, 8.83 และ 10.40 เซนติเมตร

การวิเคราะห์ที่ใช้สายพันธุ์กรรมบรรจุข้อมูลพื้นที่หน้าตัดของชิ้นส่วนที่ 1 (A1) ถึง 9 (A9) แต่ละหน้าตัดใช้จำนวน 3 บิตแทนหน้าตัดที่เป็นไปได้จำนวน 8 หน้าตัดต่อหนึ่งชิ้นส่วน สายพันธุ์กรรมหนึ่งสายจึงยาวทั้งหมด 27 บิต

#### สรุปผลตัวอย่างที่ 6

จากตารางที่ 4.20 พบว่าเมื่อจำนวนรุ่นของประชากรสูงขึ้น ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของน้ำหนักโครงข้อหมุนจะต่ำลงแสดงว่า GAs มีความน่าเชื่อถือมากขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์จาก GAs กับคำตอบที่แท้จริงซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 4.22 พบว่า พื้นที่หน้าตัดของทั้ง 9 ชิ้นส่วน จากทั้ง 2 วิธีตรงกัน สรุปได้ว่าพื้นที่หน้าตัดที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย GAs เป็นพื้นที่หน้าตัดที่เหมาะสม และ GAs สามารถใช้ได้กับโครงข้อหมุนที่มีรูปร่างตายตัว และมีความสามารถในการรับน้ำหนักของแต่ละชิ้นส่วนเปลี่ยนแปลงตามค่าอัตราส่วนความชะลูด (เนื่องจากหน้าตัดที่ให้เลือกใช้มีทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านข้อกำหนดเรื่องอัตราส่วนความชะลูด)

ตารางที่ 4.20

ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 6 น้ำหนักโครงข้อหมุน (กิโลกรัม)

ครั้งที่	รุ่นที่ 50	รุ่นที่ 100	รุ่นที่ 200	รุ่นที่ 300
1	1511.6256	1501.9477	1501.9477	1501.9477
2	1511.6256	1501.9477	1501.9477	1501.9477
3	1501.9477	1501.9477	1501.9477	1501.9477
4	1501.9477	1501.9477	1501.9477	1501.9477
5	1511.6256	1511.6256	1511.6256	1501.9477
6	1536.9948	1501.9477	1501.9477	1501.9477
7	1501.9477	1501.9477	1501.9477	1501.9477
8	1501.9477	1501.9477	1501.9477	1501.9477
9	1501.9477	1501.9477	1501.9477	1501.9477
10	1501.9477	1501.9477	1501.9477	1501.9477
11	1501.9477	1501.9477	1501.9477	1501.9477
12	1501.9477	1501.9477	1501.9477	1501.9477
13	1501.9477	1501.9477	1501.9477	1501.9477
14	1511.6256	1501.9477	1501.9477	1501.9477
15	1501.9477	1501.9477	1501.9477	1501.9477
16	1501.9477	1501.9477	1501.9477	1501.9477
17	1501.9477	1501.9477	1501.9477	1501.9477
18	1501.9477	1501.9477	1501.9477	1501.9477
19	1501.9477	1501.9477	1501.9477	1501.9477
20	1501.9477	1501.9477	1501.9477	1501.9477
เฉลี่ย	1505.6356	1502.4316	1502.4316	1501.9477
ค่าเบี่ยงเบน	8.37	2.16	2.16	0.00

ที่มา: ผู้วิจัย

ตารางที่ 4.21  
สรุปผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 6 พื้นที่หน้าตัด

ครั้งที่	น้ำหนักสุทธิ 300 (กิโลกรัม)	พื้นที่หน้าตัด (ตารางเซนติเมตร)								
		A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9
1	1501.9477	17.85	17.85	16.84	23.04	17.85	17.85	17.85	16.84	23.04
2	1501.9477	17.85	17.85	16.84	23.04	17.85	17.85	17.85	16.84	23.04
3	1501.9477	17.85	17.85	16.84	23.04	17.85	17.85	17.85	16.84	23.04
4	1501.9477	17.85	17.85	16.84	23.04	17.85	17.85	17.85	16.84	23.04
5	1501.9477	17.85	17.85	16.84	23.04	17.85	17.85	17.85	16.84	23.04
6	1501.9477	17.85	17.85	16.84	23.04	17.85	17.85	17.85	16.84	23.04
7	1501.9477	17.85	17.85	16.84	23.04	17.85	17.85	17.85	16.84	23.04
8	1501.9477	17.85	17.85	16.84	23.04	17.85	17.85	17.85	16.84	23.04
9	1501.9477	17.85	17.85	16.84	23.04	17.85	17.85	17.85	16.84	23.04
10	1501.9477	17.85	17.85	16.84	23.04	17.85	17.85	17.85	16.84	23.04
11	1501.9477	17.85	17.85	16.84	23.04	17.85	17.85	17.85	16.84	23.04
12	1501.9477	17.85	17.85	16.84	23.04	17.85	17.85	17.85	16.84	23.04
13	1501.9477	17.85	17.85	16.84	23.04	17.85	17.85	17.85	16.84	23.04
14	1501.9477	17.85	17.85	16.84	23.04	17.85	17.85	17.85	16.84	23.04
15	1501.9477	17.85	17.85	16.84	23.04	17.85	17.85	17.85	16.84	23.04
16	1501.9477	17.85	17.85	16.84	23.04	17.85	17.85	17.85	16.84	23.04
17	1501.9477	17.85	17.85	16.84	23.04	17.85	17.85	17.85	16.84	23.04
18	1501.9477	17.85	17.85	16.84	23.04	17.85	17.85	17.85	16.84	23.04
19	1501.9477	17.85	17.85	16.84	23.04	17.85	17.85	17.85	16.84	23.04
20	1501.9477	17.85	17.85	16.84	23.04	17.85	17.85	17.85	16.84	23.04

ที่มา: ผู้วิจัย

ตารางที่ 4.22  
การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 6

ตัวแปร	วิเคราะห์ด้วย GAs	คำตอบที่แท้จริง
พื้นที่หน้าตัด (ตารางเซนติเมตร)		
A1	17.85	17.85
A2	17.85	17.85
A3	16.84	16.84
A4	23.04	23.04
A5	17.85	17.85
A6	17.85	17.85
A7	17.85	17.85
A8	16.84	16.84
A9	23.04	23.04
น้ำหนัก(กิโลกรัม)	1501.9477	1501.9477

ที่มา: ผู้วิจัย

### 4.2.3 ตัวอย่างที่ 7

วัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาโครงข้อหมุนที่มีจำนวนชั้นส่วนทั้งหมด 2 ชั้นส่วน มีชั้นส่วนที่รับเฉพาะแรงดึง โดยวิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก (AISC/LRFD (2005)) พื้นที่หน้าตัดของชั้นส่วนที่ให้เลือกใช้เป็นชนิดต่อเนื่อง โดยที่รูปร่างโครงข้อหมุนไม่ตายตัว

ภาพที่ 4.1 แสดงโครงข้อหมุนที่ประกอบด้วย 2 ชั้นส่วน ต้องการออกแบบโครงข้อหมุนให้สามารถรับน้ำหนักบรรทุก  $P$  เท่ากับ  $5,500 \times 1.7$  กิโลกรัม ได้ดังภาพ โดยวิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก (AISC/LRFD (2005)) โครงข้อหมุนทำมาจากวัสดุที่มีโมดูลัสยืดหยุ่นเท่ากับ  $2.04 \times 10^6$  กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และมีหน่วยน้ำหนัก  $7.85 \times 10^{-3}$  กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร โดยมีข้อกำหนดในการออกแบบ คือ หน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้นในแต่ละชั้นส่วนต้องไม่เกิน  $0.9f_y$  หรือเท่ากับ 2,160 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยที่ค่าอัตราส่วนความชะลูด  $\frac{l}{r}$  ต้องไม่เกิน 300 ส่วนหน่วยแรงอัดที่เกิดขึ้นในแต่ละชั้นส่วนต้องไม่เกิน  $0.85F_{cr}$  กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยที่ค่าอัตราส่วนความชะลูด  $\frac{kl}{r}$  ต้องไม่เกิน 200 และระยะเคลื่อนที่ของจุดต่อใด ๆ ต้องไม่เกิน 2.00 เซนติเมตร ขนาดหน้าตัดที่สามารถเลือกใช้ได้ในแต่ละชั้นส่วนมี 1,024 (เท่ากับ  $2^{10}$ ) ขนาด คือตั้งแต่ 1.00 ตารางเซนติเมตร ถึง 11.23 ตารางเซนติเมตรโดยมีความละเอียดในแต่ละชั้นเท่ากับ 0.01 ตารางเซนติเมตร การเคลื่อนที่ในแนวราบ (X) สามารถเลือกได้ทั้งหมด 512 (เท่ากับ  $2^9$ ) ตำแหน่ง คือ ตั้งแต่ -95 เซนติเมตร ถึง 417 เซนติเมตร โดยมีความละเอียดในแต่ละชั้นเท่ากับ 1.00 เซนติเมตร การเคลื่อนที่ในแนวตั้ง (Y) สามารถเลือกได้ทั้งหมด 256 (เท่ากับ  $2^8$ ) ตำแหน่ง คือ ตั้งแต่ -100 เซนติเมตร ถึง -356 เซนติเมตร โดยมีความละเอียดในแต่ละชั้นเท่ากับ -1.00 เซนติเมตร

การวิเคราะห์ใช้สายพันธุกรรมบรรจุข้อมูลพื้นที่หน้าตัดของชั้นส่วนที่ 1 (A1) และ 2 (A2) แต่ละหน้าตัดใช้จำนวน 10 บิตแทนหน้าตัดที่เป็นไปได้จำนวน 1,024 หน้าตัดต่อหนึ่งชั้นส่วน ข้อมูลตำแหน่งทางแนวราบของจุดต่อที่ 3 (X3) ใช้จำนวน 9 บิตแทนตำแหน่งทางแนวราบที่เป็นไปได้จำนวน 512 ตำแหน่ง ข้อมูลตำแหน่งทางแนวตั้งของจุดต่อที่ 3 (Y3) ใช้จำนวน 8 บิตแทนตำแหน่งทางแนวตั้งที่เป็นไปได้จำนวน 256 ตำแหน่ง สายพันธุกรรมหนึ่งสายจึงยาวทั้งหมด 37 บิต

### สรุปผลตัวอย่างที่ 7

จากตารางที่ 4.23 พบว่าเมื่อจำนวนรุ่นของประชากรสูงขึ้น ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของน้ำหนักโครงข้อหมุนจะต่ำลงแสดงว่า GAs มีความน่าเชื่อถือมากขึ้น ส่วนตำแหน่ง

ของจุดต่อที่ 3 นั้นพิจารณาจากตารางที่ 4.24 จะพบว่าตำแหน่งที่ทำให้น้ำหนักของโครงข้อหมุนต่ำที่สุด คือ จุด (158,-100)

การตรวจสอบตำแหน่งที่วิเคราะห์ได้จาก GAs นั้นเป็นตำแหน่งที่เหมาะสมหรือไม่ พิจารณาจากตารางที่ 4.25 เมื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์จาก GAs กับคำตอบที่แท้จริง (หาน้ำหนักที่จุดต่าง ๆ ภายในขอบเขตแล้วพิจารณาว่าจุดใดให้น้ำหนักต่ำสุด) พบว่าตำแหน่งทางแนวราบต่างกันเพียง 1.00 เซนติเมตร รวมทั้งน้ำหนักโครงข้อหมุนที่ต่ำที่สุดแตกต่างกันเพียง 0.21 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น ดังนั้นตำแหน่งที่ได้จึงถือว่าเหมาะสม

ข้อสังเกตเพิ่มเติมจากตารางที่ 4.26 ในการออกแบบชิ้นส่วนรับแรงดึงโดยวิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก (AISC/LRFD (2005)) เมื่อน้ำหนักกระทำกับโครงข้อหมุนเพิ่มมากขึ้นพื้นที่หน้าตัดของทั้งสองชิ้นส่วนจะเพิ่มมากขึ้นด้วย โดยไม่เพิ่มเฉพาะชิ้นส่วนใดชิ้นส่วนหนึ่งเหมือนกับการออกแบบโดยที่หน่วยแรงที่ยอมให้เป็นแบบคงที่ และจุดต่อที่ 3 จะไม่เอียงไปทางด้านใดด้านหนึ่งเหมือนกับการออกแบบโดยที่หน่วยแรงที่ยอมให้เป็นแบบคงที่ ทั้งนี้เนื่องจากกฎอัตราส่วนความชะลูดควบคุมเอาไว้ จุดสังเกตอีกประการหนึ่ง คือ เมื่อน้ำหนักกระทำน้อย ๆ น้ำหนักที่เหมาะสมของโครงข้อหมุนจะถูกกำหนดโดยอัตราส่วนความชะลูด ซึ่งอัตราส่วนความชะลูดของชิ้นส่วนจะเข้าใกล้อัตราส่วนความชะลูดที่ยอมให้ คือ 300 แต่เมื่อน้ำหนักกระทำสูงขึ้น น้ำหนักที่เหมาะสมของโครงข้อหมุนจะถูกกำหนดโดยหน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้น คือ หน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้นจะเข้าใกล้หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ซึ่งเท่ากับ 2,160 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

ตารางที่ 4.23

ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 7 น้ำหนักโครงข้อมุน (กิโลกรัม)

ครั้งที่	รุ่นที่ 50	รุ่นที่ 100	รุ่นที่ 200	รุ่นที่ 300
1	15.0672	14.7993	14.7697	14.7697
2	15.4488	14.8499	14.8208	14.8183
3	15.4193	14.8208	14.8208	14.8183
4	15.4051	14.8354	14.8208	14.8183
5	15.0939	14.8356	14.8356	14.8356
6	15.4742	14.9815	14.9589	14.8887
7	16.0530	15.8980	14.9028	14.9028
8	15.6294	15.5497	15.5497	15.5497
9	15.9616	15.5633	15.5497	15.5497
10	15.6862	15.5497	15.5497	15.5497
11	15.5963	15.5497	15.5497	15.5497
12	16.3421	16.2594	15.5497	15.5497
13	16.9673	15.5497	15.5497	15.5497
14	15.5769	15.5497	15.5497	15.5497
15	15.7632	15.5620	15.5620	15.5497
16	15.7102	15.5497	15.5497	15.5497
17	15.5648	15.5497	15.5497	15.5497
18	16.0416	15.5648	15.5497	15.5497
19	15.5668	15.5648	15.5620	15.5620
20	15.9405	15.6745	15.6427	15.6427
เฉลี่ย	15.7154	15.4029	15.3097	15.3052
ค่าเบี่ยงเบน	0.43	0.41	0.35	0.35

ที่มา: ผู้วิจัย

ตารางที่ 4.24

สรุปผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 7 พื้นที่หน้าตัดและตำแหน่งจุดต่อที่ 3

ครั้งที่	น้ำหนัก ที่ 300 (กิโลกรัม)	พื้นที่หน้าตัด (ตาราง เซนติเมตร)		ตำแหน่งของ จุดต่อที่ 3 (เซนติเมตร)		หน่วยแรงที่ เกิดขึ้น (กก./ตร.ซม.)		หน่วยแรงที่ ยอมให้ (กก./ตร.ซม.)		อัตราส่วนความ ชะงืด (kl/r)	
		A1	A2	X3	Y3	$\sigma_1$	$\sigma_2$	$\sigma_1^a$	$\sigma_2^a$	ชั้น 1	ชั้น 2
1	14.7697	4.89	5.08	158	-100	1,810	1,730	2,160	2,160	300	299
2	14.8183	4.84	5.16	157	-100	1,832	1,700	2,160	2,160	300	298
3	14.8183	4.84	5.16	157	-100	1,832	1,700	2,160	2,160	300	298
4	14.8183	4.84	5.16	157	-100	1,832	1,700	2,160	2,160	300	298
5	14.8356	5.40	4.58	169	-100	1,604	1,953	2,160	2,160	300	300
6	14.8887	4.52	5.48	149	-100	1,984	1,574	2,160	2,160	299	300
7	14.9028	4.53	5.48	149	-100	1,979	1,574	2,160	2,160	299	300
8	15.5497	6.12	4.20	179	-100	1,380	2,153	2,160	2,160	294	299
9	15.5497	6.12	4.20	179	-100	1,380	2,153	2,160	2,160	294	299
10	15.5497	6.12	4.20	179	-100	1,380	2,153	2,160	2,160	294	299
11	15.5497	6.12	4.20	179	-100	1,380	2,153	2,160	2,160	294	299
12	15.5497	6.12	4.20	179	-100	1,380	2,153	2,160	2,160	294	299
13	15.5497	6.12	4.20	179	-100	1,380	2,153	2,160	2,160	294	299
14	15.5497	6.12	4.20	179	-100	1,380	2,153	2,160	2,160	294	299
15	15.5497	6.12	4.20	179	-100	1,380	2,153	2,160	2,160	294	299
16	15.5497	6.12	4.20	179	-100	1,380	2,153	2,160	2,160	294	299
17	15.5497	6.12	4.20	179	-100	1,380	2,153	2,160	2,160	294	299
18	15.5497	4.20	6.12	141	-100	2,153	1,380	2,160	2,160	299	294
19	15.5620	4.22	6.12	142	-100	2,140	1,384	2,160	2,160	300	293
20	15.6427	6.12	4.30	176	-100	1,392	2,097	2,160	2,160	290	300

ที่มา: ผู้วิจัย

ตารางที่ 4.25

การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 7

ตัวแปร	วิเคราะห์ด้วย GAs	ค่าตอบที่แท้จริง
พื้นที่หน้าตัด (ตารางเซนติเมตร)		
A1	4.89	4.93
A2	5.08	5.02
ตำแหน่งของจุดต่อที่ 3 (เซนติเมตร)		
X3	158	159
Y3	-100	-100
น้ำหนัก(กิโลกรัม)	14.7697	14.7380

ที่มา: ผู้วิจัย

ตารางที่ 4.26

แสดงพื้นที่หน้าตัดและการเคลื่อนที่ของจุดต่อที่ 3 เมื่อน้ำหนักกระทำเปลี่ยนแปลง ในตัวอย่างที่ 7

น้ำหนักกระทำ P (กิโลกรัม)	น้ำหนักฐานที่ 300 (กิโลกรัม)	พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)		ตำแหน่งของจุดต่อที่ 3 (ซม.)		หน่วยแรงที่เกิดขึ้น (กก./ตร.ซม.)		หน่วยแรงที่ยอมให้ (กก./ตร.ซม.)		อัตราส่วนความชะลูด	
		A1	A2	X3	Y3	$\sigma_1$	$\sigma_2$	$\sigma_1^a$	$\sigma_2^a$	ชั้น 1	ชั้น 2
1,700	14.7677	4.93	5.04	159	-100	326	318	2,160	2,160	300	299
1,870	14.7547	5.07	4.89	162	-100	347	362	2,160	2,160	300	300
2,040	14.8183	4.84	5.16	157	-100	400	371	2,160	2,160	300	298
2,210	14.7432	5.11	4.84	163	-100	406	433	2,160	2,160	300	300
2,380	14.7380	4.93	5.02	159	-100	456	446	2,160	2,160	300	300
2,550	14.8206	4.72	5.27	154	-100	515	451	2,160	2,160	300	299
2,720	14.7817	5.00	4.98	160	-100	513	515	2,160	2,160	299	300
2,890	14.7432	4.84	5.11	157	-100	566	531	2,160	2,160	300	300
3,060	14.7582	4.84	5.12	157	-100	599	561	2,160	2,160	300	300
3,230	15.3978	4.04	6.12	137	-100	776	471	2,160	2,160	299	299
3,400	14.7626	5.16	4.80	164	-100	617	673	2,160	2,160	300	300
5,100	14.7521	4.98	4.98	160	-100	966	966	2,160	2,160	300	300
6,800	14.7380	5.02	4.93	161	-100	1,276	1,303	2,160	2,160	300	300
8,500	14.7582	5.12	4.84	163	-100	1,558	1,665	2,160	2,160	300	300
10,200	14.7432	5.11	4.84	163	-100	1,873	1,998	2,160	2,160	300	300
11,900	15.2213	5.10	5.09	160	-100	2,155	2,160	2,160	2,160	299	299
13,600	17.5601	5.71	6.13	175	100	2,159	2,123	2,160	2,160	300	253
15,300	18.8765	6.12	6.12	160	-114	2,154	2,154	2,160	2,160	282	282
17,000	20.1766	6.17	6.26	163	-131	2,158	2,159	2,160	2,160	298	290
18,700	21.9602	6.67	6.53	156	-139	2,160	2,160	2,160	2,160	287	298
20,400	23.9831	7.43	7.08	151	-137	2,158	2,159	2,160	2,160	265	290

ที่มา: ผู้วิจัย

#### 4.2.4 ตัวอย่างที่ 8

วัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาโครงข้อมุมที่มีชั้นส่วนที่รับทั้งแรงดึงและแรงอัดมีพื้นที่หน้าตัดของชั้นส่วนที่ให้เลือกใช้เป็นแบบต่อเนื่อง โดยวิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก (AISC/LRFD(2005)) โดยรูปร่างโครงข้อมุมไม่ตายตัว

ภาพที่ 4.2 แสดงโครงข้อมุมที่ประกอบด้วย 2 ชั้นส่วน ต้องการออกแบบโครงข้อมุมให้สามารถรับน้ำหนักบรรทุก  $P$  เท่ากับ  $5,500 \times 1.7 = 9,350$  กิโลกรัม ได้ดังภาพโดยวิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก (AISC/LRFD (2005)) โครงข้อมุมทำมาจากวัสดุที่มีโมดูลัสยืดหยุ่นเท่ากับ  $2.04 \times 10^6$  กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และมีหน่วยน้ำหนัก  $7.85 \times 10^{-3}$  กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร โดยมีข้อกำหนดในการออกแบบ คือ หน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้นในแต่ละชั้นส่วนต้องไม่เกิน  $0.9f_y$  หรือเท่ากับ 2,160 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยที่ค่าอัตราส่วนความชะลูด  $\frac{l}{r}$  ต้องไม่เกิน 300 ส่วนหน่วยแรงอัดที่เกิดขึ้นในแต่ละชั้นส่วนต้องไม่เกิน  $0.85F_{cr}$  กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยที่ค่าอัตราส่วนความชะลูด  $\frac{kl}{r}$  ต้องไม่เกิน 200 และระยะเคลื่อนที่ของจุดต่อใด ๆ ต้องไม่เกิน 2.00 เซนติเมตร ขนาดหน้าตัดที่สามารถเลือกใช้ได้ในแต่ละชั้นส่วนมี 1,024 (เท่ากับ  $2^{10}$ ) ขนาด คือ ตั้งแต่ 1.00 จนถึง 11.23 ตารางเซนติเมตร โดยมีความละเอียดในแต่ละชั้นเท่ากับ 0.01 ตารางเซนติเมตร การเคลื่อนที่ในแนวราบ (X) สามารถเลือกได้ทั้งหมด 512 (เท่ากับ  $2^9$ ) ตำแหน่ง คือ ตั้งแต่ -95 ถึง 417 โดยมีความละเอียดในแต่ละชั้นเท่ากับ 1.00 เซนติเมตร การเคลื่อนที่ในแนวดิ่ง (Y) สามารถเลือกได้ทั้งหมด 256 (เท่ากับ  $2^8$ ) ตำแหน่ง คือ -100 ถึง -356 โดยมีความละเอียดในแต่ละชั้นเท่ากับ -1.00 เซนติเมตร

การวิเคราะห์ใช้สายพันธุกรรมบรรจุข้อมูลพื้นที่หน้าตัดของชั้นส่วนที่ 1 (A1) และ 2 (A2) แต่ละหน้าตัดใช้จำนวน 10 บิตแทนหน้าตัดที่เป็นไปได้จำนวน 1,024 หน้าตัดต่อหนึ่งชั้นส่วน ข้อมูลตำแหน่งทางแนวราบของจุดต่อที่ 3 (X3) ใช้จำนวน 9 บิตแทนตำแหน่งทางแนวราบที่เป็นไปได้จำนวน 512 ตำแหน่ง ข้อมูลตำแหน่งทางแนวดิ่งของจุดต่อที่ 3 (Y3) ใช้จำนวน 8 บิตแทนตำแหน่งทางแนวดิ่งที่เป็นไปได้จำนวน 256 ตำแหน่ง สายพันธุกรรมหนึ่งสายจึงยาวทั้งหมด 37 บิต

#### สรุปผลตัวอย่างที่ 8

จากตารางที่ 4.27 พบว่าเมื่อจำนวนรุ่นของประชากรสูงขึ้น ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของน้ำหนักโครงข้อมุมจะต่ำลงแสดงว่า GAs มีความน่าเชื่อถือมากขึ้น ส่วนพื้นที่หน้าตัดและตำแหน่งของจุดต่อที่ 3 ที่วิเคราะห์ได้จาก GAs นั้นเป็นค่าและตำแหน่งที่

เหมาะสมหรือไม่ พิจารณาจากตารางที่ 4.29 เมื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์จาก GAs กับคำตอบที่แท้จริง พบว่าพื้นที่หน้าตัดแตกต่างกันเพียง 0.21 ตารางเซนติเมตร ตำแหน่งจุดต่อที่ 3 ทางแนวราบ (X) แตกต่างกันเพียง 3.00 เซนติเมตร และน้ำหนักโครงข้อหมุนที่ต่ำที่สุดแตกต่างกันเพียง 0.067 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น ดังนั้นพื้นที่หน้าตัดและตำแหน่งที่ได้จาก GAs จึงถือว่าเหมาะสม

ข้อสังเกตเพิ่มเติมจากตารางที่ 4.30 ในการออกแบบชิ้นส่วนรับแรงดึงและแรงอัดโดยวิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก (AISC/LRFD (2005)) เมื่อน้ำหนักกระทำกับโครงข้อหมุนเพิ่มมากขึ้นพื้นที่หน้าตัดของทั้งสองชิ้นส่วนจะเพิ่มมากขึ้นด้วย และจุดต่อที่ 3 จะเอียงไปทางด้านที่รับแรงอัดซึ่งแตกต่างจากการออกแบบโดยที่หน่วยแรงที่ยอมให้เป็นแบบคงที่ ทั้งนี้เนื่องจากความสามารถในการรับแรงอัดจะต่ำกว่าความสามารถในการรับแรงดึง

ตารางที่ 4.27

ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 8 น้ำหนักโครงข้อมน (กิโลกรัม)

ครั้งที่	รุ่นที่ 50	รุ่นที่ 100	รุ่นที่ 200	รุ่นที่ 300
1	24.8682	24.1945	24.1216	24.1216
2	24.8071	24.3223	24.1517	24.1446
3	24.4978	24.2659	24.1486	24.1486
4	26.1573	24.2393	24.1736	24.1486
5	24.7755	24.2174	24.2047	24.1559
6	24.4319	24.2229	24.2048	24.2048
7	24.7007	24.2591	24.2048	24.2048
8	24.8949	24.3462	24.2755	24.2048
9	24.4918	24.3940	24.2163	24.2163
10	24.4532	24.3940	24.3940	24.2163
11	26.2985	24.4712	24.2163	24.2163
12	24.7738	24.2885	24.2163	24.2163
13	30.7638	24.4831	24.3940	24.2281
14	24.9896	24.4095	24.2430	24.2430
15	24.4606	24.3838	24.2430	24.2430
16	29.6013	24.5688	24.3796	24.3796
17	25.4935	25.3694	25.3268	24.7120
18	25.3624	25.3268	25.3268	25.3268
19	26.2235	25.3481	25.3268	25.3268
20	27.1235	26.0416	25.3268	25.3268
เฉลี่ย	25.6584	24.5773	24.4548	24.3993
ค่าเบี่ยงเบน	1.73	0.51	0.45	0.42

ที่มา: ผู้วิจัย

ตารางที่ 4.28

สรุปผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 8 พื้นที่หน้าตัดและตำแหน่งจุดต่อที่ 3

ครั้งที่	น้ำหนักกรัม 300 (กิโลกรัม)	พื้นที่หน้าตัด (ตาราง เซนติเมตร)		ตำแหน่งของ จุดต่อที่ 3 (เซนติเมตร)		หน่วยแรงที่ เกิดขึ้น (กก./ตร.ซม.)		หน่วยแรงที่ ยอมให้ (กก./ตร.ซม.)		อัตราส่วน ความชะลุด (kl/r)	
		A1	A2	X3	Y3	$\sigma_1$	$\sigma_2$	$\sigma_1^a$	$\sigma_2^a$	ชั้น 1	ชั้น 2
1	24.1216	9.52	7.10	118	-100	-475	928	-475	2,160	178	300
2	24.1446	9.67	7.00	120	-100	-472	933	-473	2,160	178	300
3	24.1486	9.96	6.77	124	-100	-467	950	-469	2,160	179	300
4	24.1486	9.96	6.77	124	-100	-467	950	-469	2,160	179	300
5	24.1559	9.60	7.06	119	-100	-473	929	-475	2,160	178	300
6	24.2048	9.10	7.44	112	-100	-482	906	-482	2,160	176	300
7	24.2048	9.10	7.44	112	-100	-482	906	-482	2,160	176	300
8	24.2048	9.10	7.44	112	-100	-482	906	-482	2,160	176	300
9	24.2163	9.17	7.40	113	-100	-481	908	-481	2,160	177	300
10	24.2163	9.17	7.40	113	-100	-481	908	-481	2,160	177	300
11	24.2163	9.17	7.40	113	-100	-481	908	-481	2,160	177	300
12	24.2163	9.17	7.40	113	-100	-481	908	-481	2,160	177	300
13	24.2281	9.18	7.40	113	-100	-480	908	-482	2,160	177	300
14	24.2430	9.04	7.50	111	-100	-483	903	-484	2,160	176	300
15	24.2430	9.04	7.50	111	-100	-483	903	-484	2,160	176	300
16	24.3796	8.77	7.74	107	-100	-488	888	-488	2,160	175	300
17	24.7120	10.72	6.46	131	-100	-449	967	-471	2,160	178	298
18	25.3268	7.84	8.68	92	-100	-506	838	-507	2,160	172	300
19	25.3268	7.84	8.68	92	-100	-506	838	-507	2,160	172	300
20	25.3268	7.84	8.68	92	-100	-506	838	-507	2,160	172	300

ที่มา: ผู้วิจัย

ตารางที่ 4.29

การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 8

ตัวแปร	วิเคราะห์ด้วย GAs	ค่าตอบที่แท้จริง
พื้นที่หน้าตัด (ตารางเซนติเมตร)		
A1	9.52	9.73
A2	7.10	6.93
ตำแหน่งของจุดต่อที่ 3 (เซนติเมตร)		
X3	118	121
Y3	-100	-100
น้ำหนัก(กิโลกรัม)	24.1216	24.1055

ที่มา: ผู้วิจัย

ตารางที่ 4.30

แสดงพื้นที่หน้าตัดและการเคลื่อนที่ของจุดต่อที่ 3 เมื่อน้ำหนักกระทำเปลี่ยนแปลง ในตัวอย่างที่ 8

น้ำหนักกระทำ P (กก.)	น้ำหนักฐาน ที่ 300 (กก.)	พื้นที่หน้าตัด (ตาราง เซนติเมตร)		ตำแหน่งของจุด ต่อที่ 3 (เซนติเมตร)		หน่วยแรงที่ เกิดขึ้น (กก./ตร.ซม.)		หน่วยแรงที่ ยอมให้ (กก./ตร.ซม.)		อัตราส่วนความ ชะลูด (kl/r)	
		A1	A2	X3	Y3	$\sigma_1$	$\sigma_2$	$\sigma_1^a$	$\sigma_2^a$	ชั้น 1	ชั้น 2
1,700	21.6585	7.90	6.82	123	-100	-107	172	-375	2,160	200	300
1,870	21.7508	7.60	7.08	119	-100	-120	185	-376	2,160	200	299
2,040	21.7081	8.37	6.49	129	-100	-124	212	-375	2,160	200	300
2,210	21.6895	8.14	6.66	126	-100	-136	226	-376	2,160	200	300
2,380	21.6899	7.98	6.78	124	-100	-148	241	-376	2,160	200	300
2,550	21.7396	7.68	7.02	120	-100	-162	254	-376	2,160	200	299
2,720	21.6887	8.06	6.72	125	-100	-169	277	-376	2,160	200	300
2,890	21.7203	7.45	7.16	117	-100	-187	285	-376	2,160	200	300
3,060	21.6796	8.21	6.60	127	-100	-188	315	-375	2,160	200	300
3,230	21.6796	8.21	6.60	127	-100	-199	332	-375	2,160	200	300
3,400	21.6715	8.06	6.71	125	-100	-211	347	-376	2,160	200	300
5,100	21.7477	8.04	6.77	124	-100	-316	518	-378	2,160	199	300
6,800	22.2591	8.80	6.49	129	-100	-394	706	-395	2,160	195	300
8,500	23.5500	9.42	6.82	123	-100	-447	860	-448	2,160	183	300
10,200	24.6562	9.88	7.16	117	-100	-497	1,007	-498	2,160	174	300
11,900	25.5917	10.19	7.50	111	-100	-545	1,149	-545	2,160	166	300
13,600	26.5207	10.35	7.92	104	-100	-592	1,277	-594	2,160	159	300
15,300	27.5159	10.18	8.53	94	-100	-645	1,385	-646	2,160	152	300
17,000	27.9579	11.14	8.22	99	-100	-671	1,568	-672	2,160	149	300
18,700	28.7828	11.08	8.68	92	-100	-717	1,676	-717	2,160	145	300
20,400	29.5398	11.07	9.05	86	-100	-760	1,793	-760	2,160	141	300
22,100	30.3554	11.03	9.44	80	-100	-802	1,902	-803	2,160	137	300
23,800	31.1044	11.14	9.72	76	-100	-839	2,018	-840	2,160	133	300
25,500	31.9344	11.16	10.06	71	-100	-876	2,126	-876	2,160	130	300

ที่มา: ผู้วิจัย

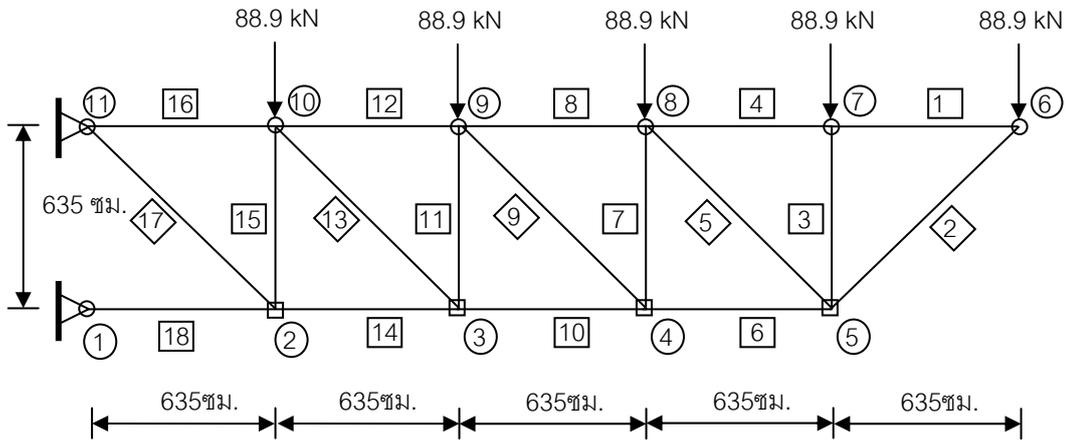
#### 4.2.5 ตัวอย่างที่ 9

วัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาโครงข้อหมุนจำนวน 18 ชิ้นส่วน โดยเปรียบเทียบ การศึกษาในงานวิจัยนี้กับงานวิจัยในอดีต เมื่อโครงข้อหมุนมีชิ้นส่วนที่รับทั้งแรงดึงและแรงอัด มี พื้นที่หน้าตัดของชิ้นส่วนที่ให้เลือกใช้เป็นแบบต่อเนื่อง หน่วยแรงที่ยอมให้ของชิ้นส่วนไม่คงที่ เปลี่ยนแปลงตามอัตราส่วนความชะลูดและมีการเคลื่อนที่ของจุดต่อ

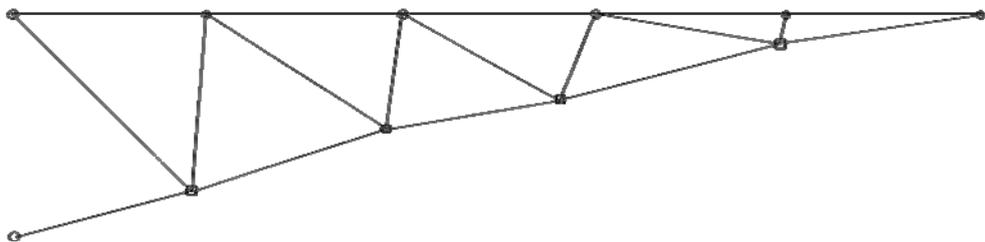
ภาพที่ 4.5

เปรียบเทียบรูปร่างเริ่มต้นและรูปร่างที่เหมาะสมโครงข้อหมุน 18 ชิ้นส่วนรับแรงดึงและแรงอัด

(ก) รูปร่างเริ่มต้น (ข) รูปร่างที่เหมาะสม



(ก)



(ข)

ที่มา: ผู้วิจัย

ภาพที่ 4.5 แสดงโครงข้อหมุนที่ประกอบด้วยชิ้นส่วนทั้งหมดจำนวน 18 ชิ้นส่วน ต้องการออกแบบโครงข้อหมุนให้สามารถรับน้ำหนักบรรทุกทุกได้ดังภาพ โครงข้อหมุนทำมาจากวัสดุที่มีโมดูลัสยืดหยุ่นเท่ากับ 6,890,000 นิวตันต่อตารางเซนติเมตร และมีหน่วยน้ำหนัก 0.02714 นิวตันต่อลูกบาศก์เซนติเมตร โดยมีข้อกำหนดในการออกแบบ คือ หน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้นในแต่ละชิ้นส่วนต้องไม่เกิน 13,789 นิวตันต่อตารางเซนติเมตร ส่วนหน่วยแรงอัดที่เกิดขึ้นในแต่ละชิ้นส่วนต้องไม่เกิน  $\sigma_b = \frac{-10\pi EA_i}{8L_i^2}$  นิวตันต่อตารางเซนติเมตร เมื่อ  $i = 1$  ถึง 18,  $\sigma_b$  คือ ความเค้น

วิกฤติของการโก่งเดาะออยเลอร์ (critical Euler buckling stress),  $E$  คือ โมดูลัสยืดหยุ่น,  $A_i$  คือ พื้นที่หน้าตัดของชิ้นส่วนที่  $i$ ,  $L_i$  คือ ความยาวของชิ้นส่วนที่  $i$  ขนาดหน้าตัดที่สามารถเลือกใช้ได้สำหรับชิ้นส่วนที่ 1 ถึง 18 มีให้เลือก 2,048 (เท่ากับ  $2^{11}$ ) ขนาด คือ ตั้งแต่ 12.9 ถึง 129 ตารางนิ้ว การเคลื่อนที่ในแนวราบ (X) สามารถเลือกได้ทั้งหมด 8,192 (เท่ากับ  $2^{13}$ ) ตำแหน่ง คือ เคลื่อนที่จากจุดที่พิจารณาไปทางซ้ายได้ 317.5 เซนติเมตรและเคลื่อนที่จากจุดที่พิจารณาไปทางขวาได้ 317.5 เซนติเมตร โดยมีความละเอียดในการเพิ่มขึ้นละ 0.0775 เซนติเมตร การเคลื่อนที่ในแนวตั้ง (Y) สามารถเลือกได้ทั้งหมด 8192 (เท่ากับ  $2^{13}$ ) ตำแหน่ง คือเคลื่อนที่ขึ้นจากจุดที่พิจารณาได้ 630 เซนติเมตร โดยมีความละเอียดในการเพิ่มขึ้นละ 0.0769 เซนติเมตร

การวิเคราะห์ใช้สายพันธุกรรมบรรจุข้อมูลพื้นที่หน้าตัดจำนวน 4 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 (G1) ประกอบด้วย  $A_1 = A_4 = A_8 = A_{12} = A_{16}$  กลุ่มที่ 2 (G2) ประกอบด้วย  $A_2 = A_6 = A_{10} = A_{14} = A_{18}$  กลุ่มที่ 3 (G3) ประกอบด้วย  $A_3 = A_7 = A_{11} = A_{15}$  และกลุ่มที่ 4 (G4) ประกอบด้วย  $A_5 = A_9 = A_{13} = A_{17}$  แต่ละกลุ่มใช้จำนวน 11 บิตแทนหน้าตัดที่เป็นไปได้จำนวน 2,048 หน้าตัดต่อหนึ่งกลุ่ม ข้อมูลตำแหน่งทางแนวราบ ของจุดต่อที่ 2, 3, 4 และ 5 ใช้จำนวน 13 บิตแทนตำแหน่งทางแนวราบที่เป็นไปได้จำนวน 8,192 ตำแหน่ง และข้อมูลตำแหน่งทางแนวตั้ง ของจุดต่อที่ 2, 3, 4 และ 5 ใช้จำนวน 13 บิตแทนตำแหน่งทางแนวตั้งที่เป็นไปได้จำนวน 8,192 ตำแหน่ง สายพันธุกรรมหนึ่งสายจึงยาวทั้งหมด 148 บิต

ตารางที่ 4.31

ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 9 น้ำหนักโครงข้อหมุน (นิวตัน)

ครั้งที่	รุ่นที่ 100	รุ่นที่ 200	รุ่นที่ 300
1	21573	21448	21425
2	22577	21721	21711
3	22281	21879	21747
4	22747	21989	21782
5	22503	22697	21824
6	23018	21910	21874
7	23811	22066	22019
8	23637	22774	22032
9	22656	22119	22109
10	22571	22322	22195
11	22447	22236	22232
12	23358	22321	22243
13	22506	22422	22329
14	22567	22410	22330
15	24222	22579	22379
16	22391	22819	22423
17	22870	22494	22485
18	22941	22894	22548
19	23849	23018	22734
20	23015	22933	22933
เฉลี่ย	22,877.00	22,352.55	22,167.70
ค่าเบี่ยงเบน	631.54	434.54	374.08
ร้อยละ	11.26	8.71	7.81

ที่มา: ผู้วิจัย

ตารางที่ 4.32

สรุปผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 9 พื้นที่หน้าตัดและตำแหน่งจุดต่อที่ 2, 3, 4 และ 5

ครั้งที่	น้ำหนัก (N)	พื้นที่หน้าตัด (ตารางเซนติเมตร)				ตำแหน่ง (เซนติเมตร)							
		G1	G2	G3	G4	X2	Y2	X3	Y3	X4	Y4	X5	Y5
1	21425	85.46	117.66	56.66	22.59	525	88	1092	254	1728	387	2464	503
2	21711	77.87	111.03	72.93	29.34	514	55	1085	179	1733	299	2443	512
3	21747	70.89	116.76	53.55	45.84	559	19	1155	244	1775	386	2481	551
4	21782	82	118.4	75.71	22.48	542	99	1105	275	1742	390	2450	540
5	21824	78.43	114.66	71.52	27.75	533	68	1073	229	1741	305	2412	48
6	21874	82.51	115	71.63	23.1	512	86	1028	233	1694	308	2447	471
7	22019	82.06	114.94	72.08	22.08	510	87	985	151	1689	283	2504	472
8	22032	78.55	114.77	71.4	31.1	522	63	1056	226	1685	311	2424	512
9	22109	72.56	116.41	59.44	41.98	552	23	1122	225	1652	292	2463	464
10	22195	76	114.49	71.01	33.59	481	31	1061	186	1734	303	2404	464
11	22232	77.47	122.37	72.42	27.87	549	70	1183	273	1745	311	2519	539
12	22243	73.1	116.36	72.25	35.58	551	35	1096	230	1745	314	2300	471
13	22329	76.68	117.49	71.4	31.32	561	68	1066	146	1775	332	2395	462
14	22330	74.8	117.32	71.52	33.71	552	49	1063	190	1758	313	2365	458
15	22379	74.69	118.34	62.39	43.12	561	54	1095	227	1759	386	2335	472
16	22423	74.58	108.08	71.97	43.34	489	11	1039	153	1658	313	2335	434
17	22485	78.49	114.71	71.63	33.14	476	34	1084	155	1764	309	2367	466
18	22548	87.5	120.04	74.63	21.12	568	130	1111	224	1790	367	2298	495
19	22734	73.22	113.13	71.46	42.44	516	11	1029	188	1619	264	2286	446
20	22933	74.35	127.13	61.99	43	639	69	1210	279	1823	446	2443	499

ที่มา: ผู้วิจัย

ตารางที่ 4.33

เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 9 กับงานวิจัยในอดีต

ครั้งที่	น้ำหนัก (นิวตัน)	พื้นที่หน้าตัด (ตารางเซนติเมตร)				ตำแหน่ง (เซนติเมตร)							
		G1	G2	G3	G4	X2	Y2	X3	Y3	X4	Y4	X5	Y5
[12]	20562	80.65	104.84	51.61	25.81	468	59	979	184	1551	300	2265	369
[6]	20763	72.50	101.14	51.15	41.86	460	8	992	145	1545	268	2275	365
[10]	21377	77.68	115.14	51.41	30.49	489	44	1054	197	1689	311	2400	381
งานนี้	21425	85.46	117.66	56.66	22.59	525	88	1092	254	1728	387	2464	503
[5]	25444	73.16	124.39	70.77	34.19	563	43	1226	84	1898	261	2526	412

ที่มา: ผู้วิจัย

สรุปผลตัวอย่างที่ 9

ตารางที่ 4.31 แสดงน้ำหนักโครงข้อหมุนที่สามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้โดยไม่ละเมิดข้อกำหนด โดยแสดงผลการวิเคราะห์เมื่อเวลาผ่านไป 100, 200 และ 300 รุ่นตามลำดับ โดยแสดงผลการวิเคราะห์ 20 ครั้งเรียงจากครั้งที่ประสบความสำเร็จมากที่สุด (21,425 นิวตัน) จนถึงครั้งที่ประสบความสำเร็จน้อยที่สุด (22,933 นิวตัน) บรรทัดสุดท้ายคือร้อยละของส่วนต่างระหว่างน้ำหนักเฉลี่ยจากการวิเคราะห์รวม 20 ครั้งกับน้ำหนักโครงข้อหมุนที่น้อยที่สุด (20,562 นิวตัน) จากงานวิจัย [12]

จากผลการวิเคราะห์พบว่าโดยเฉลี่ยวิธีที่ศึกษาสามารถค้นหาน้ำหนักโครงข้อหมุนที่หนักเกินกว่า 20,562 นิวตันคิดเป็นร้อยละ 11.26, 8.71, และ 7.81 ที่รุ่นที่ 100, 200 และ 300 ตามลำดับ น้ำหนักของโครงข้อหมุนที่น้อยที่สุดที่วิเคราะห์ได้คือ 21,425 นิวตัน ซึ่งหนักกว่า 20,562 นิวตันอยู่ประมาณ 863 นิวตัน (ร้อยละ 4.20)

ตารางที่ 4.33 แสดงผลการวิเคราะห์ที่ดีที่สุดของวิธีที่ศึกษาเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ที่ดีที่สุดของงานวิจัยในอดีต จะเห็นว่าผลการวิเคราะห์ที่ดีที่สุดของการวิจัยนี้มีน้ำหนักโครงข้อหมุนน้อยกว่างานวิจัย [5] แต่มีน้ำหนักโครงข้อหมุนมากกว่างานวิจัย [6], [10] และ [12]

ความแตกต่างระหว่างงานวิจัยนี้กับงานวิจัยในอดีตที่เกิดขึ้น เนื่องมาจากการตั้งค่ากำหนด (Parameters) ต่าง ๆ ของ GAs เช่น จำนวนสายพันธุกรรมในหนึ่งรุ่น ความน่าจะเป็นในการใช้สายพันธุกรรม ความน่าจะเป็นในการกลายพันธุกรรม และขอบเขตของการเคลื่อนที่ของจุดต่อของโครงข้อหมุนรวมทั้งความละเอียดของการเคลื่อนที่ในแต่ละขั้น

### 4.3 การวิจัยกลุ่มที่ 3

วัตถุประสงค์ของการวิจัยในกลุ่มนี้ คือเพื่อศึกษาถึงโครงข้อมุมที่มีหน่วยแรงที่ยอมรับในแต่ละชั้นส่วนเป็นแบบไม่คงที่ โดยเปลี่ยนแปลงตามอัตราส่วนความชะลูด (วิธีคำนวณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก (AISC/LRFD (2005))) และใช้การค้นหาย่อย (Local Search) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการหาคำตอบ การค้นหาย่อยที่ใช้ คือเมื่ออัตราส่วนความชะลูดของชั้นส่วนใดมีค่ามากกว่าอัตราส่วนความชะลูดที่กำหนด จะดำเนินการเปลี่ยนพื้นที่หน้าตัดโดยเลือกหาพื้นที่หน้าตัดที่น้อยที่สุดเพื่อให้อัตราส่วนความชะลูดของชั้นส่วนอยู่ในค่าที่กำหนด โดยไม่ละเมิดข้อกำหนดอื่น ๆ ตัวอย่างที่ใช้เพื่อการศึกษาในกลุ่มนี้มีจำนวน 7 ตัวอย่าง ดังนี้

ตัวอย่างที่ 10 เป็นการศึกษาโครงข้อมุมที่มีชั้นส่วนที่รับเฉพาะแรงดึง มีพื้นที่หน้าตัดของชั้นส่วนที่ให้เลือกใช้เป็นแบบต่อเนื่อง และพื้นที่หน้าตัดที่ให้เลือกใช้จะแปรผันเป็นสัดส่วนโดยตรงกับรัศมีไจเรชั่น ซึ่งเป็นการปรับปรุงจากตัวอย่างที่ 7

ตัวอย่างที่ 11 เป็นการศึกษาโครงข้อมุมที่มีชั้นส่วนที่รับทั้งแรงดึงและแรงอัด มีพื้นที่หน้าตัดของชั้นส่วนที่ให้เลือกใช้เป็นแบบต่อเนื่อง และพื้นที่หน้าตัดที่ให้เลือกใช้จะแปรผันเป็นสัดส่วนโดยตรงกับรัศมีไจเรชั่น ซึ่งเป็นการปรับปรุงจากตัวอย่างที่ 8

ตัวอย่างที่ 12 เป็นการศึกษาโครงข้อมุมที่มีชั้นส่วนที่รับเฉพาะแรงดึง มีพื้นที่หน้าตัดของชั้นส่วนที่ให้เลือกใช้เป็นแบบไม่ต่อเนื่อง และไม่มีความสัมพันธ์ที่แน่ชัดระหว่างพื้นที่หน้าตัดกับรัศมีไจเรชั่น

ตัวอย่างที่ 13 เป็นการศึกษาโครงข้อมุมที่มีชั้นส่วนที่รับทั้งแรงดึงและแรงอัด มีพื้นที่หน้าตัดของชั้นส่วนที่ให้เลือกใช้เป็นแบบไม่ต่อเนื่อง และไม่มีความสัมพันธ์ที่แน่ชัดระหว่างพื้นที่หน้าตัดกับรัศมีไจเรชั่น

ตัวอย่างที่ 14ก และ ตัวอย่างที่ 14ข เป็นการศึกษาโครงข้อมุมที่มีชั้นส่วนจำนวน 9 ชั้นส่วนเหมือนกันแต่มีตำแหน่งของจุดต่อในรูปร่างเริ่มต้นที่ต่างกัน โดยโครงข้อมุมมีชั้นส่วนที่รับทั้งแรงดึงและแรงอัด มีพื้นที่หน้าตัดของชั้นส่วนที่ให้เลือกใช้เป็นแบบไม่ต่อเนื่อง และไม่มีความสัมพันธ์ที่แน่ชัดระหว่างพื้นที่หน้าตัดกับรัศมีไจเรชั่น

ตัวอย่างที่ 15ก และ ตัวอย่างที่ 15ข เป็นการศึกษาโครงข้อมุมที่มีชั้นส่วนจำนวน 11 ชั้นส่วนเหมือนกันแต่มีตำแหน่งของจุดต่อในรูปร่างเริ่มต้นที่ต่างกัน โดยโครงข้อมุมมีชั้นส่วนที่รับทั้งแรงดึงและแรงอัด มีพื้นที่หน้าตัดของชั้นส่วนที่ให้เลือกใช้เป็นแบบไม่ต่อเนื่อง และไม่มีความสัมพันธ์ที่แน่ชัดระหว่างพื้นที่หน้าตัดกับรัศมีไจเรชั่น

ตัวอย่างที่ 16 เป็นการศึกษาโครงข้อหมุนที่มีชิ้นส่วนจำนวน 13 ชิ้นส่วน โดยศึกษาการจัดน้ำหนักบรรทุกที่กระทำกับโครงข้อหมุนรวม 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 น้ำหนักบรรทุกที่กระทำกับโครงข้อหมุนเท่ากับ 1.4 เท่าของน้ำหนักบรรทุกคงที่ กลุ่มที่ 2 น้ำหนักบรรทุกที่กระทำกับโครงข้อหมุนเท่ากับ 1.2 เท่าของน้ำหนักบรรทุกคงที่รวมกับ 1.6 เท่าของน้ำหนักบรรทุกจร กลุ่มที่ 3 น้ำหนักบรรทุกที่กระทำกับโครงข้อหมุนเป็นการกระทำของกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 ชิ้นส่วนของโครงข้อหมุนเป็นชิ้นส่วนที่รับทั้งแรงดึงและแรงอัด เมื่อพื้นที่หน้าตัดของชิ้นส่วนที่ให้เลือกใช้เป็นแบบไม่ต่อเนื่องและไม่มีความสัมพันธ์ที่แน่ชัดระหว่างพื้นที่หน้าตัดกับรัศมีเฉยเรชัน

#### 4.3.1 ตัวอย่างที่ 10

วัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาโครงข้อหมุนที่มีชั้นส่วนที่รับเฉพาะแรงดึง มีพื้นที่หน้าตัดของชั้นส่วนที่ให้เลือกใช้เป็นแบบต่อเนื่อง และพื้นที่หน้าตัดที่ให้เลือกใช้จะแปรผันเป็นสัดส่วนโดยตรงกับรัศมีไจเรชั่น โดยวิธีตัวคุณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก (AISC/LRFD (2005)) โดยรูปร่างโครงข้อหมุนไม่ตายตัว (ปรับปรุงจากตัวอย่างที่ 7)

ภาพที่ 4.1 แสดงโครงข้อหมุนที่ประกอบด้วย 2 ชั้นส่วน ต้องการออกแบบโครงข้อหมุนให้สามารถรับน้ำหนักบรรทุก  $P$  เท่ากับ  $5,500 \times 1.7$  หรือ  $9,350$  กิโลกรัม ได้ดังภาพ โดยวิธีตัวคุณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก (AISC/LRFD(2005)) โครงข้อหมุนทำมาจากวัสดุที่มีโมดูลัสยืดหยุ่นเท่ากับ  $2.04 \times 10^6$  กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และมีหน่วยน้ำหนัก  $7.85 \times 10^{-3}$  กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร โดยมีข้อกำหนดในการออกแบบ คือ หน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้นในแต่ละชั้นส่วนต้องไม่เกิน  $0.9f_y$  หรือเท่ากับ  $2,160$  กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยที่ค่าอัตราส่วนความชะลูด  $\frac{l}{r}$  ต้องไม่เกิน 300 ส่วนหน่วยแรงอัดที่เกิดขึ้นในแต่ละชั้นส่วนต้องไม่เกิน  $0.85F_{cr}$  กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยที่ค่าอัตราส่วนความชะลูด  $\frac{kl}{r}$  ต้องไม่เกิน 200 และระยะเคลื่อนที่ของจุดต่อใด ๆ ต้องไม่เกิน 2.00 เซนติเมตร ขนาดหน้าตัดที่สามารถเลือกใช้ได้ในแต่ละชั้นส่วนมี  $1,024$  (เท่ากับ  $2^{10}$ ) ขนาด คือตั้งแต่ 1.00 ตารางเซนติเมตร ถึง 11.23 ตารางเซนติเมตรโดยมีความละเอียดในแต่ละชั้นเท่ากับ 0.01 ตารางเซนติเมตร การเคลื่อนที่ในแนวราบ (X) สามารถเลือกได้ทั้งหมด 512 (เท่ากับ  $2^9$ ) ตำแหน่ง คือ ตั้งแต่ -95 เซนติเมตร ถึง 417 เซนติเมตร โดยมีความละเอียดในแต่ละชั้นเท่ากับ 1.00 เซนติเมตร การเคลื่อนที่ในแนวตั้ง (Y) สามารถเลือกได้ทั้งหมด 256 (เท่ากับ  $2^8$ ) ตำแหน่ง คือ ตั้งแต่ -100 เซนติเมตร ถึง -356 เซนติเมตร โดยมีความละเอียดในแต่ละชั้นเท่ากับ -1.00 เซนติเมตร

การวิเคราะห์ใช้สายพันธุ์กรรมบรรจุข้อมูลพื้นที่หน้าตัดของชั้นส่วนที่ 1 (A1) และ 2 (A2) แต่ละหน้าตัดใช้จำนวน 10 บิตแทนหน้าตัดที่เป็นไปได้จำนวน 1,024 หน้าตัดต่อหนึ่งชั้นส่วน ข้อมูลตำแหน่งทางแนวราบของจุดต่อที่ 3 (X3) ใช้จำนวน 9 บิตแทนตำแหน่งทางแนวราบที่เป็นไปได้จำนวน 512 ตำแหน่ง ข้อมูลตำแหน่งทางแนวตั้งของจุดต่อที่ 3 (Y3) ใช้จำนวน 8 บิตแทนตำแหน่งทางแนวตั้งที่เป็นไปได้จำนวน 256 ตำแหน่ง สายพันธุ์กรรมหนึ่งสายจึงยาวทั้งหมด 37 บิต

### สรุปผลตัวอย่างที่ 10

จากตารางที่ 4.34 พบว่าเมื่อจำนวนรุ่นของประชากรสูงขึ้น ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของน้ำหนักโครงข้อหมุนไม่มีการเปลี่ยนแปลงยังคงมีค่าเป็นศูนย์แสดงว่า GAs มีความน่าเชื่อถือมาก ส่วนตำแหน่งของจุดต่อที่ 3 นั้นพิจารณาจากตารางที่ 4.35 จะพบว่าตำแหน่งที่ทำให้น้ำหนักของโครงข้อหมุนต่ำที่สุดเป็นไปได้ 2 ตำแหน่ง คือ ทางด้านซ้ายของจุดกึ่งกลาง คือ จุด (159,-100) และทางด้านขวาของจุดกึ่งกลาง คือจุด (161,-100) ซึ่งคือจุดเดียวกันเพียงแต่อยู่คนละด้านของจุดกึ่งกลางเท่านั้นเอง

การตรวจสอบตำแหน่งที่วิเคราะห์ได้จาก GAs นั้นเป็นตำแหน่งที่เหมาะสมหรือไม่ พิจารณาจากตารางที่ 4.36 เมื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์จาก GAs กับคำตอบที่แท้จริง (หาน้ำหนักที่จุดต่าง ๆ ภายในขอบเขตแล้วพิจารณาว่าจุดใดให้น้ำหนักต่ำสุด) พบว่าเป็นตำแหน่งเดียวกัน ดังนั้นตำแหน่งที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย GAs จึงถือว่าเหมาะสม

ตารางที่ 4.34  
ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 10 น้ำหนักโครมซ้อหมุน (กิโลกรัม)

ครั้งที่	รุ่นที่ 50	รุ่นที่ 100	รุ่นที่ 200	รุ่นที่ 300
1	14.7380	14.7380	14.7380	14.7380
2	14.7380	14.7380	14.7380	14.7380
3	14.7380	14.7380	14.7380	14.7380
4	14.7380	14.7380	14.7380	14.7380
5	14.7380	14.7380	14.7380	14.7380
6	14.7380	14.7380	14.7380	14.7380
7	14.7380	14.7380	14.7380	14.7380
8	14.7380	14.7380	14.7380	14.7380
9	14.7380	14.7380	14.7380	14.7380
10	14.7380	14.7380	14.7380	14.7380
11	14.7380	14.7380	14.7380	14.7380
12	14.7380	14.7380	14.7380	14.7380
13	14.7380	14.7380	14.7380	14.7380
14	14.7380	14.7380	14.7380	14.7380
15	14.7380	14.7380	14.7380	14.7380
16	14.7380	14.7380	14.7380	14.7380
17	14.7380	14.7380	14.7380	14.7380
18	14.7380	14.7380	14.7380	14.7380
19	14.7380	14.7380	14.7380	14.7380
20	14.7380	14.7380	14.7380	14.7380
เฉลี่ย	14.7380	14.7380	14.7380	14.7380
ค่าเบี่ยงเบน	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

ที่มา: ผู้วิจัย

ตารางที่ 4.35

สรุปผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 10 พื้นที่หน้าตัดและตำแหน่งจุดต่อที่ 3

ครั้งที่	น้ำหนัก ที่ 300 (กิโลกรัม)	พื้นที่หน้าตัด (ตาราง เซนติเมตร)		ตำแหน่งของ จุดต่อที่ 3 (เซนติเมตร)		หน่วยแรงที่ เกิดขึ้น (กก./ตร.ซม.)		หน่วยแรงที่ ยอมให้ (กก./ตร.ซม.)		อัตราส่วนความ ชะงืด (kl/r)	
		A1	A2	X3	Y3	$\sigma_1$	$\sigma_2$	$\sigma_1^a$	$\sigma_2^a$	ชั้น 1	ชั้น 2
1	14.7380	4.93	5.02	159	-100	1,792	1,754	2,160	2,160	300	300
2	14.7380	4.93	5.02	159	-100	1,792	1,754	2,160	2,160	300	300
3	14.7380	4.93	5.02	159	-100	1,792	1,754	2,160	2,160	300	300
4	14.7380	4.93	5.02	159	-100	1,792	1,754	2,160	2,160	300	300
5	14.7380	4.93	5.02	159	-100	1,792	1,754	2,160	2,160	300	300
6	14.7380	4.93	5.02	159	-100	1,792	1,754	2,160	2,160	300	300
7	14.7380	4.93	5.02	159	-100	1,792	1,754	2,160	2,160	300	300
8	14.7380	4.93	5.02	159	-100	1,792	1,754	2,160	2,160	300	300
9	14.7380	4.93	5.02	159	-100	1,792	1,754	2,160	2,160	300	300
10	14.7380	4.93	5.02	159	-100	1,792	1,754	2,160	2,160	300	300
11	14.7380	4.93	5.02	159	-100	1,792	1,754	2,160	2,160	300	300
12	14.7380	5.02	4.93	161	-100	1,754	1,792	2,160	2,160	300	300
13	14.7380	5.02	4.93	161	-100	1,754	1,792	2,160	2,160	300	300
14	14.7380	5.02	4.93	161	-100	1,754	1,792	2,160	2,160	300	300
15	14.7380	5.02	4.93	161	-100	1,754	1,792	2,160	2,160	300	300
16	14.7380	5.02	4.93	161	-100	1,754	1,792	2,160	2,160	300	300
17	14.7380	5.02	4.93	161	-100	1,754	1,792	2,160	2,160	300	300
18	14.7380	5.02	4.93	161	-100	1,754	1,792	2,160	2,160	300	300
19	14.7380	5.02	4.93	161	-100	1,754	1,792	2,160	2,160	300	300
20	14.7380	5.02	4.93	161	-100	1,754	1,792	2,160	2,160	300	300

ที่มา: ผู้วิจัย

ตารางที่ 4.36  
การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 10

ตัวแปร	วิเคราะห์ด้วย GAs	ค่าตอบที่แท้จริง
พื้นที่หน้าตัด (ตารางเซนติเมตร)		
A1	4.93	4.93
A2	5.02	5.02
ตำแหน่งของจุดต่อที่ 3 (เซนติเมตร)		
X3	159	159
Y3	-100	-100
น้ำหนัก(กิโลกรัม)	14.7380	14.7380

ที่มา: ผู้วิจัย

#### 4.3.2 ตัวอย่างที่ 11

วัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาโครงข้อมุมที่มีชิ้นส่วนที่รับทั้งแรงดึงและแรงอัด โดยมีพื้นที่หน้าตัดของชิ้นส่วนที่ให้เลือกใช้เป็นแบบต่อเนื่อง และพื้นที่หน้าตัดที่ให้เลือกใช้จะแปรผันเป็นสัดส่วนโดยตรงกับรัศมีไจเรชั่น โดยวิธีตัวคุณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก (AISC/LRFD (2005)) โดยรูปร่างโครงข้อมุมไม่ตายตัว (ปรับปรุงจากตัวอย่างที่ 7)

ภาพที่ 4.2 แสดงโครงข้อมุมที่ประกอบด้วย 2 ชิ้นส่วน ต้องการออกแบบโครงข้อมุมให้สามารถรับน้ำหนักบรรทุก  $P$  เท่ากับ 9,350 กิโลกรัม ได้ดังภาพโดยวิธีตัวคุณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก (AISC/LRFD (2005)) โครงข้อมุมทำมาจากวัสดุที่มีโมดูลัสยืดหยุ่นเท่ากับ  $2.04 \times 10^6$  กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และมีหน่วยน้ำหนัก  $7.85 \times 10^{-3}$  กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร โดยมีข้อกำหนดในการออกแบบ คือ หน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้นในแต่ละชิ้นส่วนต้องไม่เกิน  $0.9f_y$  หรือเท่ากับ 2,160 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยที่ค่าอัตราส่วนความชะลูด  $\frac{l}{r}$  ต้องไม่เกิน 300 หน่วยแรงอัดที่เกิดขึ้นในแต่ละชิ้นส่วนต้องไม่เกิน  $0.85F_{cr}$  กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยที่ค่าอัตราส่วนความชะลูด  $\frac{kl}{r}$  ต้องไม่เกิน 200 และระยะเคลื่อนที่ของจุดต่อใด ๆ ต้องไม่เกิน 2.00 เซนติเมตร ขนาดหน้าตัดที่สามารถเลือกใช้ได้ในแต่ละชิ้นส่วนมี  $1,024$  (เท่ากับ  $2^{10}$ ) ขนาด คือ ตั้งแต่ 1.00 จนถึง 11.23 ตารางเซนติเมตรโดยมีความละเอียดในแต่ละชั้นเท่ากับ 0.01 ตารางเซนติเมตร การเคลื่อนที่ในแนวราบ (X) สามารถเลือกได้ทั้งหมด 512 (เท่ากับ  $2^9$ ) ตำแหน่ง คือ ตั้งแต่ -95 ถึง 417 โดยมีความละเอียดในแต่ละชั้นเท่ากับ 1.00 เซนติเมตร การเคลื่อนที่ในแนวตั้ง (Y) สามารถเลือกได้ทั้งหมด 256 (เท่ากับ  $2^8$ ) ตำแหน่ง คือ -100 ถึง -356 โดยมีความละเอียดในแต่ละชั้นเท่ากับ -1.00 เซนติเมตร

การวิเคราะห์ใช้สายพันธุกรรมบรรจุข้อมูลพื้นที่หน้าตัดของชิ้นส่วนที่ 1 (A1) และ 2 (A2) แต่ละหน้าตัดใช้จำนวน 10 บิตแทนหน้าตัดที่เป็นไปได้จำนวน 1,024 หน้าตัดต่อหนึ่งชิ้นส่วน ข้อมูลตำแหน่งทางแนวราบของจุดต่อที่ 3 (X3) ใช้จำนวน 9 บิตแทนตำแหน่งทางแนวราบที่เป็นไปได้จำนวน 512 ตำแหน่ง ข้อมูลตำแหน่งทางแนวตั้งของจุดต่อที่ 3 (Y3) ใช้จำนวน 8 บิตแทนตำแหน่งทางแนวตั้งที่เป็นไปได้จำนวน 256 ตำแหน่ง สายพันธุกรรมหนึ่งสายจึงยาวทั้งหมด 37 บิต

#### สรุปผลตัวอย่างที่ 11

จากตารางที่ 4.37 พบว่าเมื่อจำนวนรุ่นของประชากรสูงขึ้น ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของน้ำหนักโครงข้อมุมจะต่ำลงแสดงว่า GAs มีความน่าเชื่อถือมากขึ้น ส่วนตำแหน่ง

ของจุดต่อที่ 3 นั้นพิจารณาจากตารางที่ 4.38 จะพบว่าตำแหน่งที่ทำให้น้ำหนักของโครงข้อหมุนต่ำที่สุด คือ จุด (121,-100)

การตรวจสอบตำแหน่งที่วิเคราะห์ได้จาก GAs นั้นเป็นตำแหน่งที่เหมาะสมหรือไม่ พิจารณาจากตารางที่ 4.39 เมื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์จาก GAs กับคำตอบที่แท้จริง (หาค่าน้ำหนักที่จุดต่าง ๆ ภายในขอบเขตแล้วพิจารณาว่าจุดใดให้น้ำหนักต่ำสุด) พบว่าพื้นที่หน้าตัดเท่ากันและเป็นตำแหน่งเดียวกัน สรุปได้ว่าพื้นที่หน้าตัดและตำแหน่งที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย GAs นั้นเหมาะสม

ตารางที่ 4.37

ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 11 น้ำหนักโครงข้อหมุน (กิโลกรัม)

ครั้งที่	รุ่นที่ 50	รุ่นที่ 100	รุ่นที่ 200	รุ่นที่ 300
1	24.1055	24.1055	24.1055	24.1055
2	24.1055	24.1055	24.1055	24.1055
3	24.1055	24.1055	24.1055	24.1055
4	24.1055	24.1055	24.1055	24.1055
5	24.1055	24.1055	24.1055	24.1055
6	24.1055	24.1055	24.1055	24.1055
7	24.1055	24.1055	24.1055	24.1055
8	24.1055	24.1055	24.1055	24.1055
9	24.1055	24.1055	24.1055	24.1055
10	24.1055	24.1055	24.1055	24.1055
11	24.1055	24.1055	24.1055	24.1055
12	24.1055	24.1055	24.1055	24.1055
13	24.1055	24.1055	24.1055	24.1055
14	24.1055	24.1055	24.1055	24.1055
15	24.1055	24.1055	24.1055	24.1055
16	24.1055	24.1055	24.1055	24.1055
17	24.1055	24.1055	24.1055	24.1055
18	24.1085	24.1055	24.1055	24.1055
19	24.1085	24.1085	24.1055	24.1055
20	24.1085	24.1085	24.1085	24.1085
เฉลี่ย	24.1060	24.1058	24.1057	24.1057
ค่าเบี่ยงเบน	0.0011	0.0009	0.0007	0.0007

ที่มา: ผู้วิจัย

ตารางที่ 4.38

สรุปผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 11 พื้นที่หน้าตัดและตำแหน่งจุดต่อที่ 3

ครั้งที่	น้ำหนัก ที่ 300 (กิโลกรัม)	พื้นที่หน้าตัด (ตารางเซนติเมตร)		ตำแหน่งของจุด ต่อที่ 3 (เซนติเมตร)		หน่วยแรงที่ เกิดขึ้น (กก./ตร.ซม.)		หน่วยแรงที่ ยอมให้ (กก./ตร.ซม.)		อัตราส่วน ความชะลูด (kl/r)	
		A1	A2	X3	Y3	$\sigma_1$	$\sigma_2$	$\sigma_1^a$	$\sigma_2^a$	ชั้น 1	ชั้น 2
1	24.1055	9.73	6.93	121	-100	-471	939	-472	2,160	178	300
2	24.1055	9.73	6.93	121	-100	-471	939	-472	2,160	178	300
3	24.1055	9.73	6.93	121	-100	-471	939	-472	2,160	178	300
4	24.1055	9.73	6.93	121	-100	-471	939	-472	2,160	178	300
5	24.1055	9.73	6.93	121	-100	-471	939	-472	2,160	178	300
6	24.1055	9.73	6.93	121	-100	-471	939	-472	2,160	178	300
7	24.1055	9.73	6.93	121	-100	-471	939	-472	2,160	178	300
8	24.1055	9.73	6.93	121	-100	-471	939	-472	2,160	178	300
9	24.1055	9.73	6.93	121	-100	-471	939	-472	2,160	178	300
10	24.1055	9.73	6.93	121	-100	-471	939	-472	2,160	178	300
11	24.1055	9.73	6.93	121	-100	-471	939	-472	2,160	178	300
12	24.1055	9.73	6.93	121	-100	-471	939	-472	2,160	178	300
13	24.1055	9.73	6.93	121	-100	-471	939	-472	2,160	178	300
14	24.1055	9.73	6.93	121	-100	-471	939	-472	2,160	178	300
15	24.1055	9.73	6.93	121	-100	-471	939	-472	2,160	178	300
16	24.1055	9.73	6.93	121	-100	-471	939	-472	2,160	178	300
17	24.1055	9.73	6.93	121	-100	-471	939	-472	2,160	178	300
18	24.1055	9.73	6.93	121	-100	-471	939	-472	2,160	178	300
19	24.1055	9.73	6.93	121	-100	-471	939	-472	2,160	178	300
20	24.1085	9.59	7.04	119	-100	-474	932	-474	2,160	178	300

ที่มา: ผู้วิจัย

ตารางที่ 4.39  
การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 11

ตัวแปร	วิเคราะห์ด้วย GAs	คำตอบที่แท้จริง
พื้นที่หน้าตัด (ตารางเซนติเมตร)		
A1	9.73	9.73
A2	6.93	6.93
ตำแหน่งของจุดต่อที่ 3 (เซนติเมตร)		
X3	121	121
Y3	-100	-100
น้ำหนัก(กิโลกรัม)	24.1055	24.1055

ที่มา: ผู้วิจัย

### 4.3.3 ตัวอย่างที่ 12

วัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาโครงข้อหมุนที่มีชิ้นส่วนที่รับเฉพาะแรงดึง มีพื้นที่หน้าตัดของชิ้นส่วนที่ให้เลือกใช้เป็นแบบไม่ต่อเนื่อง และไม่มีความสัมพันธ์ที่แน่ชัดระหว่างพื้นที่หน้าตัดกับรัศมีไจเรชั่น โดยวิธีคำนวณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก (AISC/LRFD (2005)) โดยรูปร่างโครงข้อหมุนไม่ตายตัว

ภาพที่ 4.1 แสดงโครงข้อหมุนที่ประกอบด้วย 2 ชิ้นส่วน ต้องการออกแบบโครงข้อหมุนให้สามารถรับน้ำหนักบรรทุก  $P$  เท่ากับ 9,350x7 หรือ 65,450 กิโลกรัม ได้ดังภาพ โดยวิธีคำนวณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก (AISC/LRFD (2005)) โครงข้อหมุนทำมาจากวัสดุที่มีโมดูลัสยืดหยุ่นเท่ากับ  $2.04 \times 10^6$  กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และมีหน่วยน้ำหนัก  $7.85 \times 10^{-3}$  กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร โดยมีข้อกำหนดในการออกแบบ คือ หน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้นในแต่ละชิ้นส่วนต้องไม่เกิน  $0.9f_y$  หรือเท่ากับ 2,160 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยที่ค่าอัตราส่วนความชะลูด  $\frac{l}{r}$  ต้องไม่เกิน 300 ส่วนหน่วยแรงอัดที่เกิดขึ้นในแต่ละชิ้นส่วนต้องไม่เกิน  $0.85F_{cr}$  กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยที่ค่าอัตราส่วนความชะลูด  $\frac{kl}{r}$  ต้องไม่เกิน 200 และระยะเคลื่อนที่ของจุดต่อใด ๆ ต้องไม่เกิน 2.00 เซนติเมตร ขนาดหน้าตัดที่สามารถเลือกใช้ได้ในแต่ละชิ้นส่วนมี 32 ขนาด คือ 9.085 7.349 10.69 8.636 7.591 15.17 12.26 9.892 19.12 15.52 12.52 11.17 25.22 19.13 17.07 15.4 34.79 30.01 25.16 22.72 40.4 34.82 29.17 25.32 52.35 46.03 39.61 29.94 73.06 65.19 57.27 และ 49.27 ตารางเซนติเมตร โดยมีรัศมีไจเรชั่นที่สอดคล้องกับพื้นที่หน้าตัดตามลำดับดังนี้ 2.56 2.59 3.01 3.04 3.05 3.42 3.45 3.48 3.85 3.89 3.92 3.93 4.74 4.79 4.80 4.82 5.60 5.63 5.67 5.68 6.5 6.53 6.57 6.59 7.37 7.40 7.44 7.49 9.14 9.18 9.21 และ 9.24 เซนติเมตร การเคลื่อนที่ในแนวราบ (X) สามารถเลือกได้ทั้งหมด 512 (เท่ากับ  $2^9$ ) ตำแหน่ง คือ ตั้งแต่ -95 เซนติเมตร ถึง 417 เซนติเมตร โดยมีความละเอียดในแต่ละชิ้นเท่ากับ 1.00 เซนติเมตร การเคลื่อนที่ในแนวตั้ง (Y) สามารถเลือกได้ทั้งหมด 256 (เท่ากับ  $2^8$ ) ตำแหน่ง คือ ตั้งแต่ -100 เซนติเมตร ถึง -356 เซนติเมตร โดยมีความละเอียดในแต่ละชิ้นเท่ากับ 1.00 เซนติเมตร

การวิเคราะห์ใช้สายพันธุ์กรรมบรรจุข้อมูลพื้นที่หน้าตัดของชิ้นส่วนที่ 1 (A1) และ 2 (A2) แต่ละหน้าตัดใช้จำนวน 5 บิตแทนหน้าตัดที่เป็นไปได้จำนวน 32 หน้าตัดต่อหนึ่งชิ้นส่วน ข้อมูลตำแหน่งทางแนวราบของจุดต่อที่ 3 (X3) ใช้จำนวน 9 บิตแทนตำแหน่งทางแนวราบ

ที่เป็นไปได้จำนวน 512 ตำแหน่ง ข้อมูลตำแหน่งทางแนวตั้งของจุดต่อที่ 3 (Y3) ใช้จำนวน 8 บิต แทนตำแหน่งทางแนวตั้งที่เป็นไปได้จำนวน 256 ตำแหน่ง สายพันธุกรรมหนึ่งสายจึงยาวทั้งหมด 27 บิต

#### สรุปผลตัวอย่างที่ 12

จากตารางที่ 4.40 พบว่าเมื่อ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของน้ำหนักโครงข้อหมุนมีค่าต่ำแสดงว่า GAs มีความน่าเชื่อถือ ส่วนตำแหน่งของจุดต่อที่ 3 นั้นพิจารณาจากตารางที่ 4.41 จะพบว่าตำแหน่งที่ทำให้น้ำหนักของโครงข้อหมุนต่ำที่สุดเป็นไปได้ 2 ตำแหน่ง คือ ทางด้านซ้ายของจุดกึ่งกลาง คือ จุด (24,-100) และทางด้านขวาของจุดกึ่งกลาง คือจุด (296,-100) ซึ่งคือจุดเดียวกันเพียงแต่อยู่คนละด้านของจุดกึ่งกลางเท่านั้นเอง

การตรวจสอบตำแหน่งที่วิเคราะห์ได้จาก GAs นั้นเป็นตำแหน่งที่เหมาะสมหรือไม่ พิจารณาจากตารางที่ 4.42 เมื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์จาก GAs กับคำตอบที่แท้จริง พบว่าเป็นตำแหน่งเดียวกัน ดังนั้นตำแหน่งที่วิเคราะห์ได้จาก GAs ถือว่าเหมาะสม

ตารางที่ 4.40

ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 12 น้ำหนักโครงข้อหมุน (กิโลกรัม)

ครั้งที่	รุ่นที่ 50	รุ่นที่ 100	รุ่นที่ 200	รุ่นที่ 300
1	41.5730	41.5730	41.5730	41.5730
2	41.5730	41.5730	41.5730	41.5730
3	41.5730	41.5730	41.5730	41.5730
4	41.5730	41.5730	41.5730	41.5730
5	41.5730	41.5730	41.5730	41.5730
6	41.5730	41.5730	41.5730	41.5730
7	41.5730	41.5730	41.5730	41.5730
8	41.5730	41.5730	41.5730	41.5730
9	41.5730	41.5730	41.5730	41.5730
10	41.5730	41.5730	41.5730	41.5730
11	41.5730	41.5730	41.5730	41.5730
12	41.5730	41.5730	41.5730	41.5730
13	41.5730	41.5730	41.5730	41.5730
14	41.5730	41.5730	41.5730	41.5730
15	41.5753	41.5730	41.5730	41.5730
16	41.5753	41.5730	41.5730	41.5730
17	41.5753	41.5730	41.5730	41.5730
18	41.5753	41.5730	41.5730	41.5730
19	41.5753	41.5730	41.5730	41.5730
20	41.5753	41.5753	41.5753	41.5753
เฉลี่ย	41.5737	41.5731	41.5731	41.5731
ค่าเบี่ยงเบน	0.0011	0.0005	0.0005	0.0005

ที่มา: ผู้วิจัย

ตารางที่ 4.41

สรุปผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 12 พื้นที่หน้าตัดและตำแหน่งจุดต่อที่ 3

ครั้งที่	น้ำหนัก ที่ 300 (กิโลกรัม)	พื้นที่หน้าตัด (ตารางเซนติเมตร)		ตำแหน่งของจุด ต่อที่ 3 (เซนติเมตร)		หน่วยแรงที่เกิดขึ้น (กก./ตร.ซม.)		หน่วยแรงที่ ยอมให้ (กก./ตร.ซม.)		อัตราส่วน ความชะลูด (kl/r)	
		A1	A2	X3	Y3	$\sigma_1$	$\sigma_2$	$\sigma_1^a$	$\sigma_2^a$	ชั้น 1	ชั้น 2
1	41.5730	29.17	7.349	24	-100	2,134	2,087	2,160	2,160	16	121
2	41.5730	29.17	7.349	24	-100	2,134	2,087	2,160	2,160	16	121
3	41.5730	29.17	7.349	24	-100	2,134	2,087	2,160	2,160	16	121
4	41.5730	29.17	7.349	24	-100	2,134	2,087	2,160	2,160	16	121
5	41.5730	29.17	7.349	24	-100	2,134	2,087	2,160	2,160	16	121
6	41.5730	29.17	7.349	24	-100	2,134	2,087	2,160	2,160	16	121
7	41.5730	29.17	7.349	24	-100	2,134	2,087	2,160	2,160	16	121
8	41.5730	29.17	7.349	24	-100	2,134	2,087	2,160	2,160	16	121
9	41.5730	29.17	7.349	24	-100	2,134	2,087	2,160	2,160	16	121
10	41.5730	29.17	7.349	24	-100	2,134	2,087	2,160	2,160	16	121
11	41.5730	7.349	29.17	296	-100	2,087	2,134	2,160	2,160	121	16
12	41.5730	7.349	29.17	296	-100	2,087	2,134	2,160	2,160	121	16
13	41.5730	7.349	29.17	296	-100	2,087	2,134	2,160	2,160	121	16
14	41.5730	7.349	29.17	296	-100	2,087	2,134	2,160	2,160	121	16
15	41.5730	7.349	29.17	296	-100	2,087	2,134	2,160	2,160	121	16
16	41.5730	7.349	29.17	296	-100	2,087	2,134	2,160	2,160	121	16
17	41.5730	7.349	29.17	296	-100	2,087	2,134	2,160	2,160	121	16
18	41.5730	7.349	29.17	296	-100	2,087	2,134	2,160	2,160	121	16
19	41.5730	7.349	29.17	296	-100	2,087	2,134	2,160	2,160	121	16
20	41.5753	7.349	29.17	297	-100	2,006	2,137	2,160	2,160	121	16

ที่มา: ผู้วิจัย

ตารางที่ 4.42  
การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 12

ตัวแปร	วิเคราะห์ด้วย GAs	ค่าตอบที่แท้จริง
พื้นที่หน้าตัด (ตารางเซนติเมตร)		
A1	7.349	7.349
A2	29.17	29.17
ตำแหน่งของจุดต่อที่ 3 (เซนติเมตร)		
X3	296	296
Y3	-100	-100
น้ำหนัก(กิโลกรัม)	41.573	41.573

ที่มา: ผู้วิจัย

#### 4.3.4 ตัวอย่างที่ 13

วัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาโครงข้อมุมที่มีชั้นส่วนที่รับทั้งแรงดึงและแรงอัดมีพื้นที่หน้าตัดของชั้นส่วนที่ให้เลือกใช้เป็นแบบไม่ต่อเนื่อง และไม่มีความสัมพันธ์ที่แน่ชัดระหว่างพื้นที่หน้าตัดกับรัศมีไจเรชั่น โดยวิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก (AISC/LRFD (2005)) โดยรูปร่างโครงข้อมุมไม่ตายตัว

ภาพที่ 4.2 แสดงโครงข้อมุมที่ประกอบด้วย 2 ชั้นส่วน ต้องการออกแบบโครงข้อมุมให้สามารถรับน้ำหนักบรรทุก P เท่ากับ 9,350x7 หรือ 65,450 กิโลกรัม กิโลกรัม ได้ดังภาพ โดยวิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก (AISC/LRFD (2005)) โครงข้อมุมทำมาจากวัสดุที่มีโมดูลัสยืดหยุ่นเท่ากับ  $2.04 \times 10^6$  กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และมีหน่วยน้ำหนัก  $7.85 \times 10^{-3}$  กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร โดยมีข้อกำหนดในการออกแบบ คือ หน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้นในแต่ละชั้นส่วนต้องไม่เกิน  $0.9f_y$  หรือเท่ากับ 2,160 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยที่ค่าอัตราส่วนความชะลูด  $\frac{l}{r}$  ต้องไม่เกิน 300 ส่วนหน่วยแรงอัดที่เกิดขึ้นในแต่ละชั้นส่วนต้องไม่เกิน  $0.85F_{cr}$  กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยที่ค่าอัตราส่วนความชะลูด  $\frac{kl}{r}$  ต้องไม่เกิน 200 และระยะเคลื่อนที่ของจุดต่อใด ๆ ต้องไม่เกิน 2.00 เซนติเมตร ขนาดหน้าตัดที่สามารถเลือกใช้ได้ในแต่ละชั้นส่วนมี 32 ขนาด คือ 9.085 7.349 10.69 8.636 7.591 15.17 12.26 9.892 19.12 15.52 12.52 11.17 25.22 19.13 17.07 15.4 34.79 30.01 25.16 22.72 40.4 34.82 29.17 25.32 52.35 46.03 39.61 29.94 73.06 65.19 57.27 และ 49.27 ตารางเซนติเมตร โดยมีรัศมีไจเรชั่นที่สอดคล้องกับพื้นที่หน้าตัดตามลำดับดังนี้ 2.56 2.59 3.01 3.04 3.05 3.42 3.45 3.48 3.85 3.89 3.92 3.93 4.74 4.79 4.80 4.82 5.60 5.63 5.67 5.68 6.5 6.53 6.57 6.59 7.37 7.40 7.44 7.49 9.14 9.18 9.21 และ 9.24 เซนติเมตร การเคลื่อนที่ในแนวราบ (X) สามารถเลือกได้ทั้งหมด 512 (เท่ากับ  $2^9$ ) ตำแหน่ง คือ ตั้งแต่ -95 เซนติเมตร ถึง 417 เซนติเมตร โดยมีความละเอียดในแต่ละชั้นเท่ากับ 1.00 เซนติเมตร การเคลื่อนที่ในแนวดิ่ง (Y) สามารถเลือกได้ทั้งหมด 256 (เท่ากับ  $2^8$ ) ตำแหน่ง คือ ตั้งแต่ -100 เซนติเมตร ถึง -356 เซนติเมตร โดยมีความละเอียดในแต่ละชั้นเท่ากับ -1.00 เซนติเมตร

การวิเคราะห์ใช้สายพันธุกรรมบรรจุข้อมูลพื้นที่หน้าตัดของชั้นส่วนที่ 1 (A1) และ 2 (A2) แต่ละหน้าตัดใช้จำนวน 5 บิตแทนหน้าตัดที่เป็นไปได้จำนวน 32 หน้าตัดต่อหนึ่งชั้นส่วน ข้อมูลตำแหน่งทางแนวราบของจุดต่อที่ 3 (X3) ใช้จำนวน 9 บิตแทนตำแหน่งทางแนวราบ

ที่เป็นไปได้จำนวน 512 ตำแหน่ง ข้อมูลตำแหน่งทางแนวดิ่งของจุดต่อที่ 3 (Y3) ใช้จำนวน 8 บิต แทนตำแหน่งทางแนวดิ่งที่เป็นไปได้จำนวน 256 ตำแหน่ง สายพันธุกรรมหนึ่งสายจึงยาวทั้งหมด 27 บิต

### สรุปผลตัวอย่างที่ 13

จากตารางที่ 4.43 พบว่าเมื่อจำนวนรุ่นของประชากรสูงขึ้น ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของน้ำหนักโครงข้อหมุนจะต่ำลงแสดงว่า GAs มีความน่าเชื่อถือมากขึ้น ส่วนตำแหน่งของจุดต่อที่ 3 นั้นพิจารณาจากตารางที่ 4.44 จะพบว่าตำแหน่งที่ทำให้น้ำหนักของโครงข้อหมุนต่ำที่สุด คือ จุด (147,-100)

การตรวจสอบตำแหน่งที่วิเคราะห์ได้จาก GAs นั้นเป็นตำแหน่งที่เหมาะสมหรือไม่ พิจารณาจากตารางที่ 4.45 เมื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์จาก GAs กับคำตอบที่แท้จริง พบว่าพื้นที่หน้าตัด และตำแหน่งจุดต่อที่ 3 จากทั้งสองวิธีนั้นไม่แตกต่างกัน ดังนั้นพื้นที่หน้าตัด และตำแหน่งที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย GAs จึงถือว่าเหมาะสม

ตารางที่ 4.43  
ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 13 น้ำหนักโครงข้อมุมน (กิโลกรัม)

ครั้งที่	รุ่นที่ 50	รุ่นที่ 100	รุ่นที่ 200	รุ่นที่ 300
1	56.6904	56.6904	56.6904	56.6904
2	56.6904	56.6904	56.6904	56.6904
3	56.6904	56.6904	56.6904	56.6904
4	56.6904	56.6904	56.6904	56.6904
5	56.6904	56.6904	56.6904	56.6904
6	56.6904	56.6904	56.6904	56.6904
7	56.6904	56.6904	56.6904	56.6904
8	56.6904	56.6904	56.6904	56.6904
9	56.6904	56.6904	56.6904	56.6904
10	56.6904	56.6904	56.6904	56.6904
11	56.6904	56.6904	56.6904	56.6904
12	56.6904	56.6904	56.6904	56.6904
13	56.6904	56.6904	56.6904	56.6904
14	59.3761	59.3761	59.3761	59.3761
15	59.3761	59.3761	59.3761	59.3761
16	59.3761	59.3761	59.3761	59.3761
17	59.3761	59.3761	59.3761	59.3761
18	59.3761	59.3761	59.3761	59.3761
19	59.3761	59.3761	59.3761	59.3761
20	59.3761	59.3761	59.3761	59.3761
เฉลี่ย	57.6304	57.6304	57.6304	57.6304
ค่าเบี่ยงเบน	1.3143	1.3143	1.3143	1.3143

ที่มา: ผู้วิจัย

ตารางที่ 4.44

สรุปผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 13 พื้นที่หน้าตัดและตำแหน่งจุดต่อที่ 3

ครั้งที่	น้ำหนักรุ่นที่ 300 (กิโลกรัม)	พื้นที่หน้าตัด (ตารางเซนติเมตร)		ตำแหน่งของจุดต่อที่ 3 (เซนติเมตร)		หน่วยแรงที่เกิดขึ้น (กก./ตร.ซม.)		หน่วยแรงที่ยอมให้ (กก./ตร.ซม.)		อัตราส่วนความชะลูด (kl/r)	
		A1	A2	X3	Y3	$\sigma_1$	$\sigma_2$	$\sigma_1^a$	$\sigma_2^a$	ชั้น 1	ชั้น 2
1	56.6904	19.13	19.12	147	-100	-1,901	2,138	-1,904	2,160	37	52
2	56.6904	19.13	19.12	147	-100	-1,901	2,138	-1,904	2,160	37	52
3	56.6904	19.13	19.12	147	-100	-1,901	2,138	-1,904	2,160	37	52
4	56.6904	19.13	19.12	147	-100	-1,901	2,138	-1,904	2,160	37	52
5	56.6904	19.13	19.12	147	-100	-1,901	2,138	-1,904	2,160	37	52
6	56.6904	19.13	19.12	147	-100	-1,901	2,138	-1,904	2,160	37	52
7	56.6904	19.13	19.12	147	-100	-1,901	2,138	-1,904	2,160	37	52
8	56.6904	19.13	19.12	147	-100	-1,901	2,138	-1,904	2,160	37	52
9	56.6904	19.13	19.12	147	-100	-1,901	2,138	-1,904	2,160	37	52
10	56.6904	19.13	19.12	147	-100	-1,901	2,138	-1,904	2,160	37	52
11	56.6904	19.13	19.12	147	-100	-1,901	2,138	-1,904	2,160	37	52
12	56.6904	19.13	19.12	147	-100	-1,901	2,138	-1,904	2,160	37	52
13	56.6904	19.13	19.12	147	-100	-1,901	2,138	-1,904	2,160	37	52
14	59.3761	22.72	17.07	171	-100	-1,783	2,150	-1,920	2,160	35	37
15	59.3761	22.72	17.07	171	-100	-1,783	2,150	-1,920	2,160	35	37
16	59.3761	22.72	17.07	171	-100	-1,783	2,150	-1,920	2,160	35	37
17	59.3761	22.72	17.07	171	-100	-1,783	2,150	-1,920	2,160	35	37
18	59.3761	22.72	17.07	171	-100	-1,783	2,150	-1,920	2,160	35	37
19	59.3761	22.72	17.07	171	-100	-1,783	2,150	-1,920	2,160	35	37
20	59.3761	22.72	17.07	171	-100	-1,783	2,150	-1,920	2,160	35	37

ที่มา: ผู้วิจัย

ตารางที่ 4.45  
การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 13

ตัวแปร	วิเคราะห์ด้วย GAs	คำตอบที่แท้จริง
พื้นที่หน้าตัด (ตารางเซนติเมตร)		
A1	19.13	19.13
A2	19.12	19.12
ตำแหน่งของจุดต่อที่ 3 (เซนติเมตร)		
X3	147	147
Y3	-100	-100
น้ำหนัก(กิโลกรัม)	56.6904	56.6904

ที่มา: ผู้วิจัย

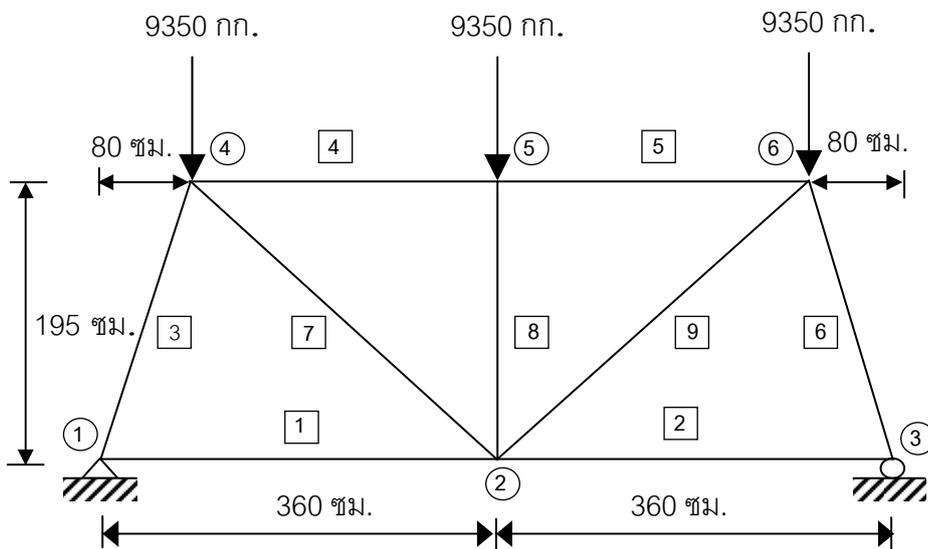
#### 4.3.5 ตัวอย่างที่ 14ก

วัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาโครงข้อหมุนจำนวน 9 ชิ้นส่วน มีชิ้นส่วนที่รับทั้งแรงดึงและแรงอัด มีพื้นที่หน้าตัดของชิ้นส่วนที่ให้เลือกใช้เป็นแบบไม่ต่อเนื่อง และไม่มีความสัมพันธ์ที่แน่ชัดระหว่างพื้นที่หน้าตัดกับรัศมีเฉื่อย โดยวิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก (AISC/LRFD (2005)) โดยรูปร่างโครงข้อหมุนไม่ตายตัว

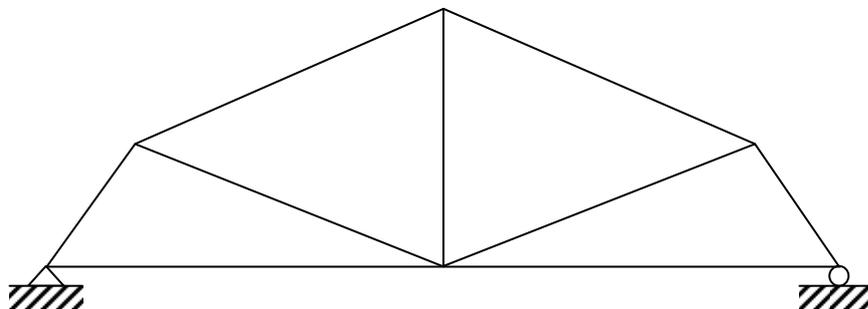
ภาพที่ 4.6

รูปร่างเริ่มต้นและรูปร่างที่เหมาะสมของโครงข้อหมุน 9 ชิ้นส่วนรับแรงดึงและแรงอัด

ในตัวอย่างที่ 14ก (ก) รูปร่างเริ่มต้น (ข) รูปร่างที่เหมาะสม



(ก)



(ข)

ที่มา: ผู้วิจัย

ภาพที่ 4.6 แสดงโครงข้อหมุนที่ประกอบด้วย 9 ชั้นส่วน ต้องการออกแบบโครงข้อหมุนให้สามารถรับน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 9,350 กิโลกรัม จำนวน 3 จุด ดังภาพ โดยวิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก (AISC/LRFD (2005)) โครงข้อหมุนทำมาจากวัสดุที่มีโมดูลัสยืดหยุ่นเท่ากับ  $2.04 \times 10^6$  กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และมีหน่วยน้ำหนัก  $7.85 \times 10^{-3}$  กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร โดยมีข้อกำหนดในการออกแบบ คือ หน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้นในแต่ละชั้นส่วนต้องไม่เกิน  $0.9f_y$  หรือเท่ากับ 2,160 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เมื่อ  $f_y$  เท่ากับ 2,400 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยที่ค่าอัตราส่วนความชะลูด  $\frac{l}{r}$  ต้องไม่เกิน 300 ส่วนหน่วยแรงอัดที่เกิดขึ้นในแต่ละชั้นส่วนต้องไม่เกิน  $0.85F_{cr}$  กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยที่ค่าอัตราส่วนความชะลูด  $\frac{kl}{r}$  ต้องไม่เกิน 200 ข้อกำหนดเรื่องระยะเคลื่อนที่ของจุดต่อ คือ ระยะการเคลื่อนที่ของจุดต่อใด ๆ ต้องมีค่าไม่เกิน 2.00 เซนติเมตร ขนาดพื้นที่หน้าตัดที่สามารถเลือกใช้ได้ในแต่ละชั้นส่วนมี 32 (เท่ากับ  $2^5$ ) ขนาด คือ 9.085 7.349 10.69 8.636 7.591 15.17 12.26 9.892 19.12 15.52 12.52 11.17 25.22 19.13 17.07 15.4 34.79 30.01 25.16 22.72 40.4 34.82 29.17 25.32 52.35 46.03 39.61 29.94 73.06 65.19 57.27 และ 49.27 ตารางเซนติเมตร โดยมีรัศมีไจเรชันที่สอดคล้องกับพื้นที่หน้าตัดตามลำดับดังนี้ 2.56 2.59 3.01 3.04 3.05 3.42 3.45 3.48 3.85 3.89 3.92 3.93 4.74 4.79 4.80 4.82 5.60 5.63 5.67 5.68 6.5 6.53 6.57 6.59 7.37 7.40 7.44 7.49 9.14 9.18 9.21 และ 9.24 เซนติเมตร จุดต่อมีการเคลื่อนที่ได้ 3 ค่า คือ การเคลื่อนที่ในแนวตั้งของจุดต่อที่ 4, 5, และ 6 โดยที่การเคลื่อนที่ในแนวตั้งของจุดต่อที่ 4 และจุดต่อที่ 6 สามารถเลือกได้ทั้งหมด 128 (เท่ากับ  $2^7$ ) ตำแหน่ง คือ ตั้งแต่ 86 เซนติเมตร ถึง 213 เซนติเมตร โดยมีความละเอียดในแต่ละชั้นเท่ากับ 1.00 เซนติเมตร การเคลื่อนที่ในแนวตั้งของจุดต่อที่ 5 สามารถเลือกได้ทั้งหมด 64 (เท่ากับ  $2^6$ ) ตำแหน่ง คือ ตั้งแต่ 166 เซนติเมตร ถึง 229 เซนติเมตร โดยมีความละเอียดในแต่ละชั้นเท่ากับ 1.00 เซนติเมตร

การวิเคราะห์ที่ใช้สายพันธุ์กรรมบรรจุข้อมูลพื้นที่หน้าตัดจำนวน 4 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 (G1) ประกอบด้วย  $A_1 = A_2$  กลุ่มที่ 2 (G2) ประกอบด้วย  $A_3 = A_6 = A_7 = A_9$  กลุ่มที่ 3 (G3) ประกอบด้วย  $A_4 = A_5$  และกลุ่มที่ 4 (G4) คือ  $A_8$  แต่ละกลุ่มใช้จำนวน 5 บิตแทนหน้าตัดที่เป็นไปได้จำนวน 32 หน้าตัดต่อหนึ่งกลุ่ม ข้อมูลตำแหน่งทางแนวตั้งของจุดต่อที่ 4 (Y4) และ 6 (Y6) ใช้จำนวน 7 บิตแทนตำแหน่งทางแนวตั้งที่เป็นไปได้จำนวน 128 ตำแหน่ง และข้อมูลตำแหน่ง

ทางแวนดิ่งของจุดต่อที่ 5 (Y5) ใช้จำนวน 6 บิทแทนตำแหน่งทางแวนดิ่งที่เป็นไปได้จำนวน 64 ตำแหน่ง สายพันธุกรรมหนึ่งสายจึงยาวทั้งหมด 40 บิท

ตารางที่ 4.46

ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 14ก น้ำหนักโครงข้อหมุน (กิโลกรัม)

ครั้งที่	รุ่นที่ 50	รุ่นที่ 100	รุ่นที่ 200	รุ่นที่ 300
1	162.0662	162.0662	162.0662	162.0662
2	162.0662	162.0662	162.0662	162.0662
3	162.1223	162.0662	162.0662	162.0662
4	162.1288	162.0662	162.0662	162.0662
5	162.1288	162.0662	162.0662	162.0662
6	162.1793	162.0662	162.0662	162.0662
7	162.1793	162.0662	162.0662	162.0662
8	162.3651	162.0662	162.0662	162.0662
9	162.3937	162.0662	162.0662	162.0662
10	162.4708	162.0662	162.0662	162.0662
11	162.1288	162.0716	162.0662	162.0662
12	162.1288	162.1288	162.0662	162.0662
13	162.5897	162.4138	162.0662	162.0662
14	163.5642	162.2553	162.0716	162.0662
15	162.8846	162.1288	162.0716	162.0716
16	162.3143	162.1964	162.1964	162.1964
17	162.3143	162.1964	162.1964	162.1964
18	162.3296	162.1964	162.1964	162.1964
19	162.3755	162.1964	162.1964	162.1964
20	162.9361	162.7930	162.1964	162.1964
เฉลี่ย	162.3833	162.1619	162.0993	162.0990
ค่าเบี่ยงเบน	0.3718	0.1743	0.0575	0.0577

ที่มา: ผู้วิจัย

ตารางที่ 4.47

สรุปผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 14ก พื้นที่หน้าตัดของแต่ละชั้นส่วนและตำแหน่งแนวตั้งของจุดต่อ  
ที่ 4, 5 และ 6

ครั้งที่	น้ำหนักกรัมที่ 300 (กิโลกรัม)	พื้นที่หน้าตัด (ตารางเซนติเมตร)				ตำแหน่งของจุดต่อ (เซนติเมตร)		
		G1	G2	G3	G4	Y4	Y5	Y6
1	162.0662	7.349	9.892	9.892	7.349	88	183	88
2	162.0662	7.349	9.892	9.892	7.349	88	183	88
3	162.0662	7.349	9.892	9.892	7.349	88	183	88
4	162.0662	7.349	9.892	9.892	7.349	88	183	88
5	162.0662	7.349	9.892	9.892	7.349	88	183	88
6	162.0662	7.349	9.892	9.892	7.349	88	183	88
7	162.0662	7.349	9.892	9.892	7.349	88	183	88
8	162.0662	7.349	9.892	9.892	7.349	88	183	88
9	162.0662	7.349	9.892	9.892	7.349	88	183	88
10	162.0662	7.349	9.892	9.892	7.349	88	183	88
11	162.0662	7.349	9.892	9.892	7.349	88	183	88
12	162.0662	7.349	9.892	9.892	7.349	88	183	88
13	162.0662	7.349	9.892	9.892	7.349	88	183	88
14	162.0662	7.349	9.892	9.892	7.349	88	183	88
15	162.0716	7.349	9.892	9.892	7.349	89	182	89
16	162.1964	7.349	9.892	9.892	7.349	91	181	91
17	162.1964	7.349	9.892	9.892	7.349	91	181	91
18	162.1964	7.349	9.892	9.892	7.349	91	181	91
19	162.1964	7.349	9.892	9.892	7.349	91	181	91
20	162.1964	7.349	9.892	9.892	7.349	91	181	91

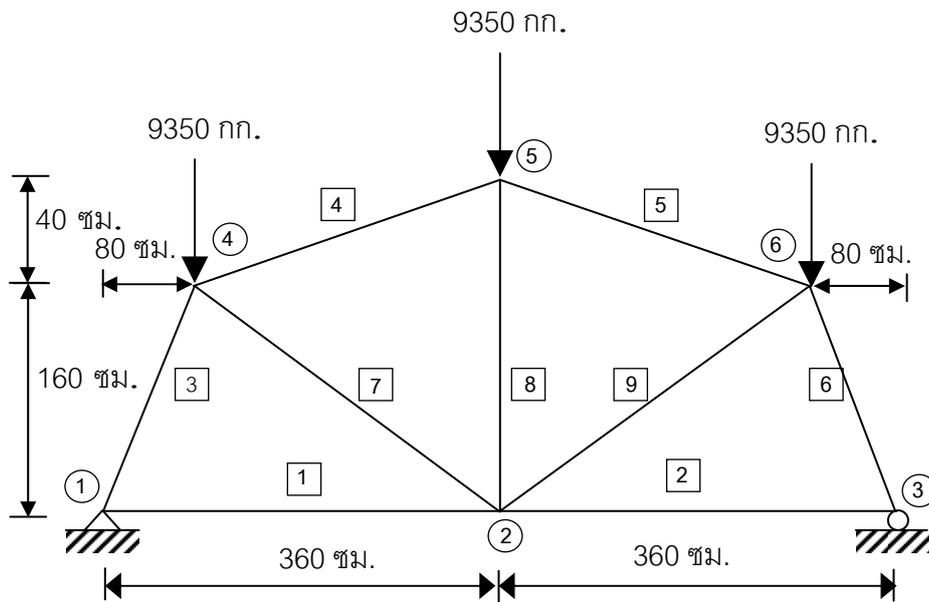
ที่มา: ผู้วิจัย

#### 4.3.6 ตัวอย่างที่ 14ข

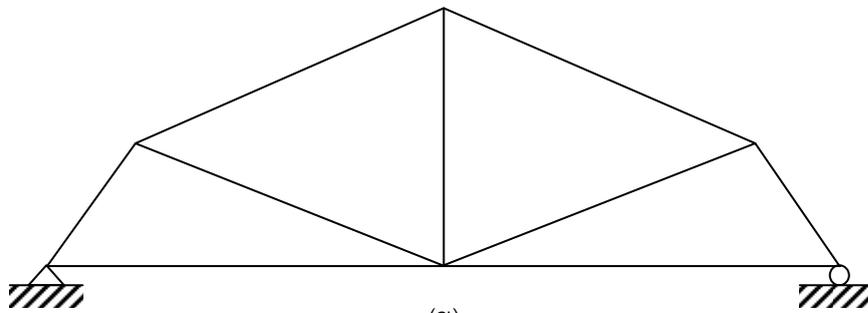
วัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาโครงข้อหมุนจำนวน 9 ชิ้นส่วน มีชิ้นส่วนที่รับทั้งแรงดึงและแรงอัด มีพื้นที่หน้าตัดของชิ้นส่วนที่ให้เลือกใช้เป็นแบบไม่ต่อเนื่อง และไม่มีความสัมพันธ์ที่แน่ชัดระหว่างพื้นที่หน้าตัดกับรัศมีไจเรชั่น โดยวิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก (AISC/LRFD (2005)) โดยรูปร่างโครงข้อหมุนไม่ตายตัว

ภาพที่ 4.7

รูปร่างเริ่มต้นและรูปร่างที่เหมาะสมของโครงข้อหมุน 9 ชิ้นส่วนรับแรงดึงและแรงอัด  
ในตัวอย่างที่ 14ข (ก) รูปร่างเริ่มต้น (ข) รูปร่างที่เหมาะสม



(ก)



(ข)

ที่มา: ผู้วิจัย

ภาพที่ 4.7 แสดงโครงข้อหมุนที่ประกอบด้วย 9 ชั้นส่วน ต้องการออกแบบโครงข้อหมุนให้สามารถรับน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 9,350 กิโลกรัม จำนวน 3 จุด ดังภาพ โดยวิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก (AISC/LRFD (2005)) โครงข้อหมุนทำมาจากวัสดุที่มีโมดูลัสยืดหยุ่นเท่ากับ  $2.04 \times 10^6$  กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และมีหน่วยน้ำหนัก  $7.85 \times 10^{-3}$  กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร โดยมีข้อกำหนดในการออกแบบ คือ หน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้นในแต่ละชั้นส่วนต้องไม่เกิน  $0.9f_y$  หรือเท่ากับ 2,160 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เมื่อ  $f_y$  เท่ากับ 2,400 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยที่ค่าอัตราส่วนความชะลุด  $\frac{l}{r}$  ต้องไม่เกิน 300 ส่วนหน่วยแรงอัดที่เกิดขึ้นในแต่ละชั้นส่วนต้องไม่เกิน  $0.85F_{cr}$  กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยที่ค่าอัตราส่วนความชะลุด  $\frac{kl}{r}$  ต้องไม่เกิน 200 ข้อกำหนดเรื่องระยะเคลื่อนที่ของจุดต่อคือระยะเคลื่อนที่ของจุดต่อใด ๆ ต้องมีค่าไม่เกิน 2.00 เซนติเมตร ขนาดพื้นที่หน้าตัดที่สามารถเลือกใช้ได้ในแต่ละชั้นส่วนมี 32 (เท่ากับ  $2^5$ ) ขนาด คือ 9.085 7.349 10.69 8.636 7.591 15.17 12.26 9.892 19.12 15.52 12.52 11.17 25.22 19.13 17.07 15.4 34.79 30.01 25.16 22.72 40.4 34.82 29.17 25.32 52.35 46.03 39.61 29.94 73.06 65.19 57.27 และ 49.27 ตารางเซนติเมตร โดยมีรัศมีไจเรชันที่สอดคล้องกับพื้นที่หน้าตัดตามลำดับดังนี้ 2.56 2.59 3.01 3.04 3.05 3.42 3.45 3.48 3.85 3.89 3.92 3.93 4.74 4.79 4.80 4.82 5.60 5.63 5.67 5.68 6.5 6.53 6.57 6.59 7.37 7.40 7.44 7.49 9.14 9.18 9.21 และ 9.24 จุดต่อมีการเคลื่อนที่ได้ 3 ค่า คือ การเคลื่อนที่ในแนวตั้งของจุดต่อที่ 4, 5, และ 6 โดยที่การเคลื่อนที่ในแนวตั้งของจุดต่อที่ 4 และจุดต่อที่ 6 สามารถเลือกได้ทั้งหมด 128 (เท่ากับ  $2^7$ ) ตำแหน่ง คือ ตั้งแต่ 86 เซนติเมตร ถึง 213 เซนติเมตร โดยมีความละเอียดในแต่ละชั้นเท่ากับ 1.00 เซนติเมตร การเคลื่อนที่ในแนวตั้งของจุดต่อที่ 5 สามารถเลือกได้ทั้งหมด 64 (เท่ากับ  $2^6$ ) ตำแหน่ง คือ ตั้งแต่ 166 เซนติเมตร ถึง 229 เซนติเมตร โดยมีความละเอียดในแต่ละชั้นเท่ากับ 1.00 เซนติเมตร

การวิเคราะห์ที่ใช้สายพันกรรมบรรจุข้อมูลพื้นที่หน้าตัดจำนวน 4 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 (G1) ประกอบด้วย  $A_1 = A_2$  กลุ่มที่ 2 (G2) ประกอบด้วย  $A_3 = A_6 = A_7 = A_9$  กลุ่มที่ 3 (G3) ประกอบด้วย  $A_4 = A_5$  และกลุ่มที่ 4 (G4) คือ  $A_8$  แต่ละกลุ่มใช้จำนวน 5 บิตแทนหน้าตัดที่เป็นไปได้จำนวน 32 หน้าตัดต่อหนึ่งกลุ่ม ข้อมูลตำแหน่งทางแนวตั้งของจุดต่อที่ 4 (Y4) และ 6 (Y6) ใช้จำนวน 7 บิตแทนตำแหน่งทางแนวตั้งที่เป็นไปได้จำนวน 128 ตำแหน่ง และข้อมูลตำแหน่ง

ทางแวนดิ่งของจุดต่อที่ 5 (Y5) ใช้จำนวน 6 บิทแทนตำแหน่งทางแวนดิ่งที่เป็นไปได้จำนวน 64 ตำแหน่ง สายพันธุกรรมหนึ่งสายจึงยาวทั้งหมด 40 บิท

ตารางที่ 4.48

ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 14x น้ำหนักโครงข้อหมุน (กิโลกรัม)

ครั้งที่	รุ่นที่ 50	รุ่นที่ 100	รุ่นที่ 200	รุ่นที่ 300
1	162.0662	162.0662	162.0662	162.0662
2	162.1288	162.0662	162.0662	162.0662
3	162.1288	162.0662	162.0662	162.0662
4	162.1740	162.0662	162.0662	162.0662
5	162.1793	162.0662	162.0662	162.0662
6	162.2354	162.0662	162.0662	162.0662
7	162.2924	162.0662	162.0662	162.0662
8	162.4138	162.0662	162.0662	162.0662
9	162.4174	162.0662	162.0662	162.0662
10	162.4465	162.0662	162.0662	162.0662
11	162.0716	162.0716	162.0662	162.0662
12	162.1288	162.0716	162.0662	162.0662
13	162.1793	162.1228	162.0662	162.0662
14	162.3621	162.1228	162.0662	162.0662
15	162.1867	162.1288	162.0662	162.0662
16	162.9422	162.2370	162.0662	162.0662
17	162.1288	162.0716	162.0716	162.0662
18	162.3755	162.1964	162.0716	162.0662
19	162.3150	162.1964	162.1964	162.1223
20	162.5337	162.3755	162.1964	162.1964
เฉลี่ย	162.2853	162.1128	162.0798	162.0755
ค่าเบี่ยงเบน	0.2061	0.0813	0.0399	0.0311

ที่มา: ผู้วิจัย

ตารางที่ 4.49

สรุปผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 14x พื้นที่หน้าตัดของแต่ละชั้นส่วนและตำแหน่งแนวตั้งของจุดต่อ  
ที่ 4, 5 และ 6

ครั้งที่	น้ำหนักรุ่นที่300 (กิโลกรัม)	พื้นที่หน้าตัด (ตารางเซนติเมตร)				ตำแหน่งของจุดต่อ (เซนติเมตร)		
		G1	G2	G3	G4	Y4	Y5	Y6
1	162.0662	7.349	9.892	9.892	7.349	88	183	88
2	162.0662	7.349	9.892	9.892	7.349	88	183	88
3	162.0662	7.349	9.892	9.892	7.349	88	183	88
4	162.0662	7.349	9.892	9.892	7.349	88	183	88
5	162.0662	7.349	9.892	9.892	7.349	88	183	88
6	162.0662	7.349	9.892	9.892	7.349	88	183	88
7	162.0662	7.349	9.892	9.892	7.349	88	183	88
8	162.0662	7.349	9.892	9.892	7.349	88	183	88
9	162.0662	7.349	9.892	9.892	7.349	88	183	88
10	162.0662	7.349	9.892	9.892	7.349	88	183	88
11	162.0662	7.349	9.892	9.892	7.349	88	183	88
12	162.0662	7.349	9.892	9.892	7.349	88	183	88
13	162.0662	7.349	9.892	9.892	7.349	88	183	88
14	162.0662	7.349	9.892	9.892	7.349	88	183	88
15	162.0662	7.349	9.892	9.892	7.349	88	183	88
16	162.0662	7.349	9.892	9.892	7.349	88	183	88
17	162.0662	7.349	9.892	9.892	7.349	88	183	88
18	162.0662	7.349	9.892	9.892	7.349	88	183	88
19	162.1223	7.349	9.892	9.892	7.349	89	183	89
20	162.1964	7.349	9.892	9.892	7.349	91	181	91

ที่มา: ผู้วิจัย

### สรุปผลตัวอย่างที่ 14ก และ 14ข

จากตารางที่ 4.46 ในตัวอย่างที่ 14ก และ ตารางที่ 4.48 ในตัวอย่างที่ 14ข พบว่าเมื่อจำนวนรุ่นของประชากรสูงขึ้น ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของน้ำหนักโครงข้อหมุนจะต่ำลง แสดงว่า GAs มีความน่าเชื่อถือมากขึ้น ส่วนค่าตำแหน่งแนวตั้งที่เหมาะสมที่ทำให้น้ำหนักของโครงข้อหมุนต่ำที่สุด ของจุดต่อที่ 4 และ 6 ทั้งในตัวอย่างที่ 14ก และในตัวอย่างที่ 14ข คือค่า 88 เซนติเมตรและค่าตำแหน่งแนวตั้งที่เหมาะสมที่ทำให้น้ำหนักของโครงข้อหมุนต่ำที่สุด ของจุดต่อที่ 5 ทั้งตัวอย่างที่ 14ก และตัวอย่างที่ 14ข คือค่า 183 เซนติเมตร

การตรวจสอบว่าคำตอบที่วิเคราะห์ได้จาก GAs นั้นเป็นคำตอบที่เหมาะสมหรือไม่นั้น การวิจัยได้แบ่งการตรวจสอบออกเป็น 2 ขั้นตอนด้วยกัน คือ

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดให้ตำแหน่งทางแนวตั้งของจุดต่อโครงข้อหมุน มีค่า ดังนี้  $Y_4 = 88$ ,  $Y_5 = 183$  และ  $Y_6 = 88$  เซนติเมตร จากนั้นดำเนินการเปลี่ยนพื้นที่หน้าตัดของ G1, G2, G3 และ G4 ไปจนครบตามจำนวนพื้นที่หน้าตัดทั้งหมดที่มีให้เลือกใช้ พบว่าโครงข้อหมุนมีน้ำหนักต่ำสุดเมื่อ  $G_1 = 7.349$ ,  $G_2 = 9.892$ ,  $G_3 = 9.892$  และ  $G_4 = 7.349$  ตารางเซนติเมตร

ขั้นตอนที่ 2 กำหนดพื้นที่หน้าตัดให้กับชิ้นส่วนทั้งหมดในโครงข้อหมุน มีค่า ดังนี้  $G_1 = 7.349$ ,  $G_2 = 9.892$ ,  $G_3 = 9.892$  และ  $G_4 = 7.349$  ตารางเซนติเมตร จากนั้นดำเนินการเปลี่ยนตำแหน่งทางแนวตั้งของจุดต่อโครงข้อหมุน  $Y_4$ ,  $Y_5$  และ  $Y_6$  ไปจนครบทุกตำแหน่งภายในขอบเขตที่กำหนด พบว่าโครงข้อหมุนมีน้ำหนักต่ำสุดเมื่อ  $Y_4 = 88$ ,  $Y_5 = 183$  และ  $Y_6 = 88$  เซนติเมตร

เมื่อดำเนินการตรวจสอบทั้ง 2 ขั้นตอนข้างต้นแล้ว สามารถยืนยันได้ว่าคำตอบที่วิเคราะห์ได้จาก GAs นั้นเป็นคำตอบที่เหมาะสม

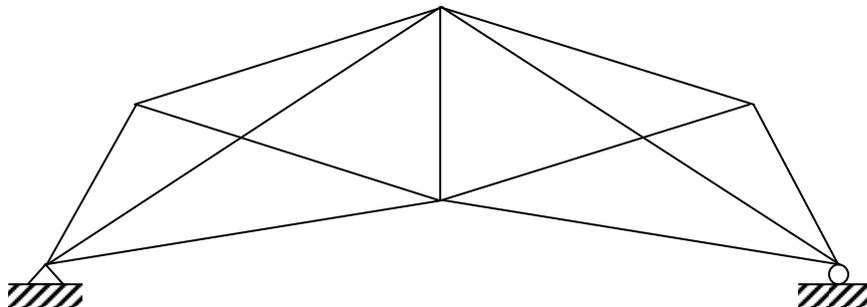
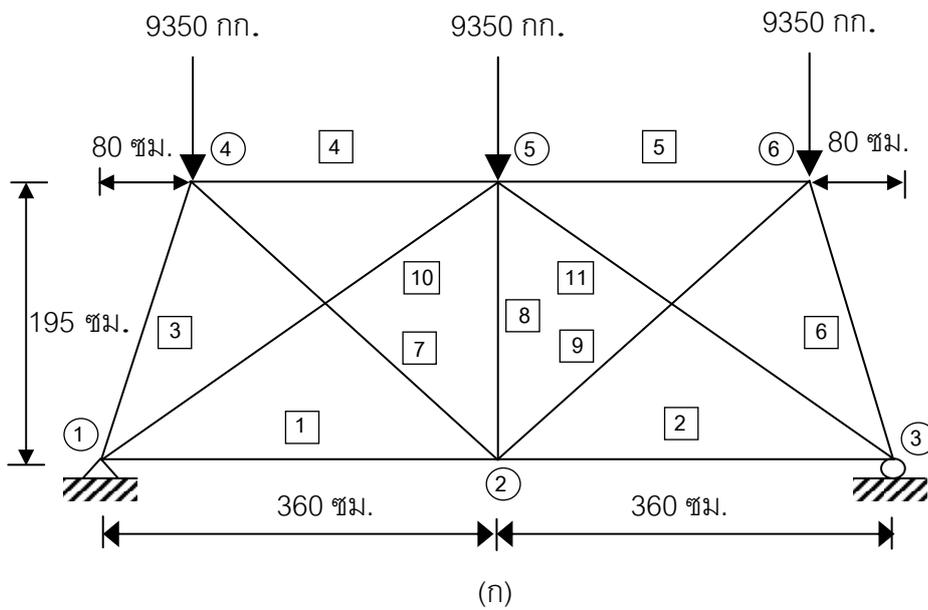
จากตัวอย่างที่ 14ก และตัวอย่างที่ 14ข ที่โครงข้อหมุนมีรูปร่างเริ่มต้นที่แตกต่างกัน แต่ขนาดน้ำหนักบรรทุกที่กระทำกับโครงข้อหมุนและลักษณะการรับน้ำหนักบรรทุกเหมือนกัน เมื่อวิเคราะห์ด้วย GAs พบว่ารูปร่างสุดท้ายซึ่งเป็นรูปร่างที่เหมาะสมนั้นมีรูปร่างเหมือนกันทั้งสองตัวอย่าง และมีพื้นที่หน้าตัดของชิ้นส่วนโครงข้อหมุนในทุกชิ้นส่วนเท่ากันทั้งสองตัวอย่าง ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า การวิเคราะห์ด้วย GAs นั้นสามารถหาพื้นที่หน้าตัดและตำแหน่งที่เหมาะสมที่เป็นคำตอบของทั้ง 2 ตัวอย่างนี้ได้

#### 4.3.7 ตัวอย่างที่ 15ก

วัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาโครงข้อหมุนจำนวน 11 ชิ้นส่วน มีชิ้นส่วนที่รับทั้งแรงดึงและแรงอัด มีพื้นที่หน้าตัดของชิ้นส่วนที่ให้เลือกใช้เป็นแบบไม่ต่อเนื่อง และไม่มีความสัมพันธ์ที่แน่ชัดระหว่างพื้นที่หน้าตัดกับรัศมีไจเรชั่น โดยวิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก (AISC/LRFD (2005)) โดยรูปร่างโครงข้อหมุนไม่ตายตัว

ภาพที่ 4.8

รูปร่างเริ่มต้นและรูปร่างที่เหมาะสมของโครงข้อหมุน 11 ชิ้นส่วนรับแรงดึงและแรงอัด  
ในตัวอย่างที่ 15ก (ก) รูปร่างเริ่มต้น (ข) รูปร่างที่เหมาะสม



ที่มา: ผู้วิจัย

ภาพที่ 4.8 แสดงโครงข้อมุมที่ประกอบด้วย 11 ชั้นส่วน ต้องการออกแบบโครงข้อมุมให้สามารถรับน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 9,350 กิโลกรัม จำนวน 3 จุด ดังภาพ โดยวิธีควบคุมความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก (AISC/LRFD (2005)) โครงข้อมุมทำมาจากวัสดุที่มีโมดูลัสยืดหยุ่นเท่ากับ  $2.04 \times 10^6$  กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และมีหน่วยน้ำหนัก  $7.85 \times 10^{-3}$  กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร โดยมีข้อกำหนดในการออกแบบ คือ หน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้นในแต่ละชั้นส่วนต้องไม่เกิน  $0.9f_y$  หรือเท่ากับ 2,160 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เมื่อ  $f_y$  เท่ากับ 2,400 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยที่ค่าอัตราส่วนความชะลูด  $\frac{l}{r}$  ต้องไม่เกิน 300 ส่วนหน่วยแรงอัดที่เกิดขึ้นในแต่ละชั้นส่วนต้องไม่เกิน  $0.85F_{cr}$  กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยที่ค่าอัตราส่วนความชะลูด  $\frac{kl}{r}$  ต้องไม่เกิน 200 ข้อกำหนดเรื่องระยะเคลื่อนที่ของจุดต่อคือระยะเคลื่อนที่ของจุดต่อใด ๆ ต้องมีค่าไม่เกิน 2.00 เซนติเมตร ขนาดพื้นที่หน้าตัดที่สามารถเลือกใช้ได้ในแต่ละชั้นส่วนมี 32 (เท่ากับ  $2^5$ ) ขนาด คือ 9.085 7.349 10.69 8.636 7.591 15.17 12.26 9.892 19.12 15.52 12.52 11.17 25.22 19.13 17.07 15.4 34.79 30.01 25.16 22.72 40.4 34.82 29.17 25.32 52.35 46.03 39.61 29.94 73.06 65.19 57.27 และ 49.27 ตารางเซนติเมตร โดยมีรัศมีไจเรชันที่สอดคล้องกับพื้นที่หน้าตัดตามลำดับดังนี้ 2.56 2.59 3.01 3.04 3.05 3.42 3.45 3.48 3.85 3.89 3.92 3.93 4.74 4.79 4.80 4.82 5.60 5.63 5.67 5.68 6.5 6.53 6.57 6.59 7.37 7.40 7.44 7.49 9.14 9.18 9.21 และ 9.24 เซนติเมตร จุดต่อมีการเคลื่อนที่ได้ 4 ค่า คือ การเคลื่อนที่ในแนวตั้งของจุดต่อที่ 2, 4, 5, และ 6 การเคลื่อนที่ในแนวตั้งของจุดต่อที่ 2 สามารถเลือกได้ทั้งหมด 64 (เท่ากับ  $2^6$ ) ตำแหน่ง คือ ตั้งแต่ 0 เซนติเมตร ถึง 63 เซนติเมตร โดยมีความละเอียดในแต่ละชั้นเท่ากับ 1.00 เซนติเมตร การเคลื่อนที่ในแนวตั้งของจุดต่อที่ 4 และจุดต่อที่ 6 สามารถเลือกได้ทั้งหมด 256 (เท่ากับ  $2^8$ ) ตำแหน่ง คือ ตั้งแต่ 96 เซนติเมตร ถึง 351 เซนติเมตร โดยมีความละเอียดในแต่ละชั้นเท่ากับ 1.00 เซนติเมตร การเคลื่อนที่ในแนวตั้งของจุดต่อที่ 5 สามารถเลือกได้ทั้งหมด 128 (เท่ากับ  $2^7$ ) ตำแหน่ง คือ ตั้งแต่ 132 เซนติเมตร ถึง 259 เซนติเมตร โดยมีความละเอียดในแต่ละชั้นเท่ากับ 1.00 เซนติเมตร

การวิเคราะห์ที่ใช้สายพันธุ์กรรมบรรจุข้อมูลพื้นที่หน้าตัดจำนวน 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 (G1) ประกอบด้วย  $A_1 = A_2$  กลุ่มที่ 2 (G2) ประกอบด้วย  $A_3 = A_4 = A_5 = A_6$  กลุ่มที่ 3 (G3) ประกอบด้วย  $A_7 = A_8 = A_9 = A_{10} = A_{11}$  แต่ละกลุ่มใช้จำนวน 5 บิตแทนหน้าตัดที่เป็นไปได้จำนวน 32 หน้าตัดต่อหนึ่งกลุ่ม ข้อมูลตำแหน่งทางแนวตั้งของจุดต่อที่ 2 (Y2) ใช้จำนวน 6 บิต

แทนตำแหน่งทางแนวตั้งที่เป็นไปได้จำนวน 64 ตำแหน่ง ข้อมูลตำแหน่งทางแนวตั้งของจุดต่อที่ 4 (Y4) และ 6 (Y6) ใช้จำนวน 8 บิตแทนตำแหน่งทางแนวตั้งที่เป็นไปได้จำนวน 256 ตำแหน่ง และ ข้อมูลตำแหน่งทางแนวตั้งของจุดต่อที่ 5 (Y5) ใช้จำนวน 7 บิตแทนตำแหน่งทางแนวตั้งที่เป็นไปได้ จำนวน 128 ตำแหน่ง สายพันธุกรรมหนึ่งสายจึงยาวทั้งหมด 44 บิต

ตารางที่ 4.50

ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 15ก น้ำหนักโครงข้อหมุน (กิโลกรัม)

ครั้งที่	รุ่นที่ 50	รุ่นที่ 100	รุ่นที่ 200	รุ่นที่ 300
1	179.4268	179.4268	179.4268	179.4268
2	179.4268	179.4268	179.4268	179.4268
3	179.4268	179.4268	179.4268	179.4268
4	179.5699	179.4268	179.4268	179.4268
5	179.6440	179.4268	179.4268	179.4268
6	179.7874	179.4268	179.4268	179.4268
7	180.4416	179.4268	179.4268	179.4268
8	180.7189	179.4268	179.4268	179.4268
9	182.9266	179.4268	179.4268	179.4268
10	180.0409	179.5690	179.4268	179.4268
11	179.5699	179.5699	179.4268	179.4268
12	179.9313	179.5699	179.4268	179.4268
13	180.4956	179.5699	179.4268	179.4268
14	182.9631	179.8580	179.4268	179.4268
15	182.9386	180.2756	179.4268	179.4268
16	180.4416	180.4416	179.4268	179.4268
17	181.5387	180.4416	179.4268	179.4268
18	184.3516	180.6431	179.4268	179.4268
19	181.2508	180.4416	179.6239	179.4268
20	182.8726	182.8726	182.8726	180.4416
เฉลี่ย	180.8882	179.9047	179.6089	179.4775
ค่าเบี่ยงเบน	1.5219	0.8228	0.7694	0.2269

ที่มา: ผู้วิจัย

ตารางที่ 4.51

สรุปผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 15ก พื้นที่หน้าตัดของแต่ละชั้นส่วนและตำแหน่งแนวตั้งของจุดต่อ  
ที่ 2, 4, 5 และ 6

ครั้งที่	น้ำหนักฐานที่300 (กิโลกรัม)	พื้นที่หน้าตัด (ตารางเซนติเมตร)			ตำแหน่งของจุดต่อ (เซนติเมตร)			
		G1	G2	G3	Y2	Y4	Y5	Y6
1	179.4268	7.349	7.591	7.591	63	96	173	96
2	179.4268	7.349	7.591	7.591	63	96	173	96
3	179.4268	7.349	7.591	7.591	63	96	173	96
4	179.4268	7.349	7.591	7.591	63	96	173	96
5	179.4268	7.349	7.591	7.591	63	96	173	96
6	179.4268	7.349	7.591	7.591	63	96	173	96
7	179.4268	7.349	7.591	7.591	63	96	173	96
8	179.4268	7.349	7.591	7.591	63	96	173	96
9	179.4268	7.349	7.591	7.591	63	96	173	96
10	179.4268	7.349	7.591	7.591	63	96	173	96
11	179.4268	7.349	7.591	7.591	63	96	173	96
12	179.4268	7.349	7.591	7.591	63	96	173	96
13	179.4268	7.349	7.591	7.591	63	96	173	96
14	179.4268	7.349	7.591	7.591	63	96	173	96
15	179.4268	7.349	7.591	7.591	63	96	173	96
16	179.4268	7.349	7.591	7.591	63	96	173	96
17	179.4268	7.349	7.591	7.591	63	96	173	96
18	179.4268	7.349	7.591	7.591	63	96	173	96
19	179.4268	7.349	7.591	7.591	63	96	173	96
20	180.4416	7.349	7.591	7.591	63	96	180	96

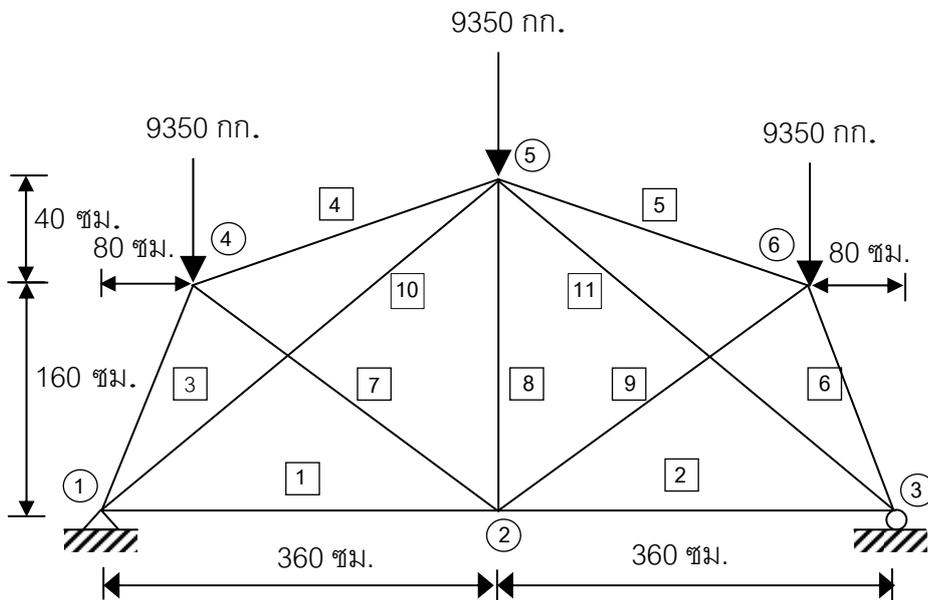
ที่มา: ผู้วิจัย

#### 4.3.8 ตัวอย่างที่ 15ข

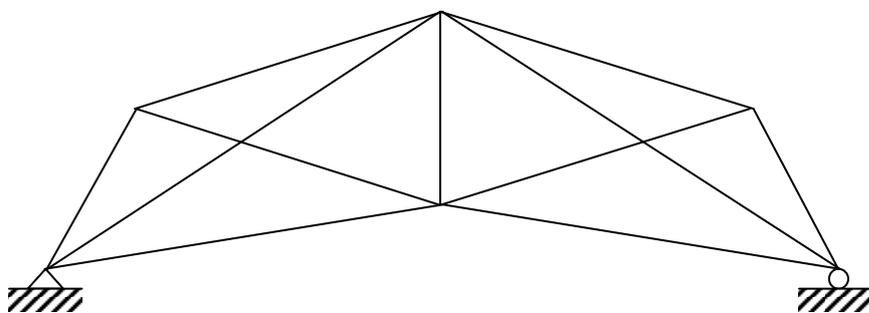
วัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาโครงข้อหมุนจำนวน 11 ชิ้นส่วน มีชิ้นส่วนที่รับทั้งแรงดึงและแรงอัด มีพื้นที่หน้าตัดของชิ้นส่วนที่ให้เลือกใช้เป็นแบบไม่ต่อเนื่อง และไม่มีความสัมพันธ์ที่แน่ชัดระหว่างพื้นที่หน้าตัดกับรัศมีไจเรชั่น โดยวิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุกทุก (AISC/LRFD (2005)) โดยรูปร่างโครงข้อหมุนไม่ตายตัว

ภาพที่ 4.9

รูปร่างเริ่มต้นและรูปร่างที่เหมาะสมของโครงข้อหมุน 9 ชิ้นส่วนรับแรงดึงและแรงอัด ในตัวอย่างที่ 15ข (ก) รูปร่างเริ่มต้น (ข) รูปร่างที่เหมาะสม



(ก)



(ข)

ที่มา: ผู้วิจัย

ภาพที่ 4.9 แสดงโครงข้อหมุนที่ประกอบด้วย 11 ชั้น ส่วน ต้องการออกแบบโครงข้อหมุนให้สามารถรับน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 9,350 กิโลกรัม จำนวน 3 จุด ดังภาพ โดยวิธีที่ควบคุมความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก (AISC/LRFD (2005)) โครงข้อหมุนทำมาจากวัสดุที่มีโมดูลัสยืดหยุ่นเท่ากับ  $2.04 \times 10^6$  กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และมีหน่วยน้ำหนัก  $7.85 \times 10^{-3}$  กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร โดยมีข้อกำหนดในการออกแบบ คือ หน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้นในแต่ละชั้นส่วนต้องไม่เกิน  $0.9f_y$  หรือเท่ากับ 2,160 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เมื่อ  $f_y$  เท่ากับ 2,400 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยที่ค่าอัตราส่วนความชะลูด  $\frac{l}{r}$  ต้องไม่เกิน 300 ส่วนหน่วยแรงอัดที่เกิดขึ้นในแต่ละชั้นส่วนต้องไม่เกิน  $0.85F_{cr}$  กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยที่ค่าอัตราส่วนความชะลูด  $\frac{kl}{r}$  ต้องไม่เกิน 200 ข้อกำหนดเรื่องระยะเคลื่อนที่ของจุดต่อคือระยะเคลื่อนที่ของจุดต่อใด ๆ ต้องมีค่าไม่เกิน 2.00 เซนติเมตร ขนาดพื้นที่หน้าตัดที่สามารถเลือกใช้ได้ในแต่ละชั้นส่วนมี 32 (เท่ากับ  $2^5$ ) ขนาด คือ 9.085 7.349 10.69 8.636 7.591 15.17 12.26 9.892 19.12 15.52 12.52 11.17 25.22 19.13 17.07 15.4 34.79 30.01 25.16 22.72 40.4 34.82 29.17 25.32 52.35 46.03 39.61 29.94 73.06 65.19 57.27 และ 49.27 ตารางเซนติเมตร โดยมีรัศมีไจเรชันที่สอดคล้องกับพื้นที่หน้าตัดตามลำดับดังนี้ 2.56 2.59 3.01 3.04 3.05 3.42 3.45 3.48 3.85 3.89 3.92 3.93 4.74 4.79 4.80 4.82 5.60 5.63 5.67 5.68 6.5 6.53 6.57 6.59 7.37 7.40 7.44 7.49 9.14 9.18 9.21 และ 9.24 เซนติเมตร จุดต่อมีการเคลื่อนที่ได้ 4 ค่า คือ การเคลื่อนที่ในแนวตั้งของจุดต่อที่ 2, 4, 5, และ 6 การเคลื่อนที่ในแนวตั้งของจุดต่อที่ 2 สามารถเลือกได้ทั้งหมด 64 (เท่ากับ  $2^6$ ) ตำแหน่ง คือ ตั้งแต่ 0 เซนติเมตร ถึง 64 เซนติเมตร โดยมีความละเอียดในแต่ละชั้นเท่ากับ 1.00 เซนติเมตร การเคลื่อนที่ในแนวตั้งของจุดต่อที่ 4 และจุดต่อที่ 6 สามารถเลือกได้ทั้งหมด 256 (เท่ากับ  $2^8$ ) ตำแหน่ง คือ ตั้งแต่ 96 เซนติเมตร ถึง 351 เซนติเมตร โดยมีความละเอียดในแต่ละชั้นเท่ากับ 1.00 เซนติเมตร การเคลื่อนที่ในแนวตั้งของจุดต่อที่ 5 สามารถเลือกได้ทั้งหมด 128 (เท่ากับ  $2^7$ ) ตำแหน่ง คือ ตั้งแต่ 132 เซนติเมตร ถึง 259 เซนติเมตร โดยมีความละเอียดในแต่ละชั้นเท่ากับ 1.00 เซนติเมตร

การวิเคราะห์ที่ใช้สายพันธุ์กรรมบรรจุข้อมูลพื้นที่หน้าตัดจำนวน 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 (G1) ประกอบด้วย  $A_1 = A_2$  กลุ่มที่ 2 (G2) ประกอบด้วย  $A_3 = A_4 = A_5 = A_6$  กลุ่มที่ 3 (G3) ประกอบด้วย  $A_7 = A_8 = A_9 = A_{10} = A_{11}$  แต่ละกลุ่มใช้จำนวน 5 บิตแทนหน้าตัดที่เป็นไปได้จำนวน 32 หน้าตัดต่อหนึ่งกลุ่ม ข้อมูลตำแหน่งทางแนวตั้งของจุดต่อที่ 2 (Y2) ใช้จำนวน 6 บิต

แทนตำแหน่งทางแนวตั้งที่เป็นไปได้จำนวน 64 ตำแหน่ง ข้อมูลตำแหน่งทางแนวตั้งของจุดต่อที่ 4 (Y4) และ 6 (Y6) ใช้จำนวน 8 บิตแทนตำแหน่งทางแนวตั้งที่เป็นไปได้จำนวน 256 ตำแหน่ง และ ข้อมูลตำแหน่งทางแนวตั้งของจุดต่อที่ 5 (Y5) ใช้จำนวน 7 บิตแทนตำแหน่งทางแนวตั้งที่เป็นไปได้ จำนวน 128 ตำแหน่ง สายพันธุกรรมหนึ่งสายจึงยาวทั้งหมด 44 บิต

ตารางที่ 4.52

ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 15x น้ำหนักโครงข้อหมุน (กิโลกรัม)

ครั้งที่	รุ่นที่ 50	รุ่นที่ 100	รุ่นที่ 200	รุ่นที่ 300
1	179.4268	179.4268	179.4268	179.4268
2	179.4268	179.4268	179.4268	179.4268
3	179.4268	179.4268	179.4268	179.4268
4	179.5699	179.4268	179.4268	179.4268
5	179.7676	179.4268	179.4268	179.4268
6	179.8580	179.4268	179.4268	179.4268
7	179.8580	179.4268	179.4268	179.4268
8	180.0760	179.4268	179.4268	179.4268
9	180.4416	179.4268	179.4268	179.4268
10	180.4416	179.4268	179.4268	179.4268
11	180.4590	179.4268	179.4268	179.4268
12	180.8436	179.4268	179.4268	179.4268
13	180.5504	179.5699	179.4268	179.4268
14	180.5153	179.6440	179.4268	179.4268
15	179.8580	179.8580	179.4268	179.4268
16	180.3670	179.8580	179.4268	179.4268
17	180.4416	179.8580	179.4268	179.4268
18	182.8726	182.8726	179.4268	179.4268
19	182.8726	180.7371	179.5699	179.4268
20	179.8580	179.8580	179.8580	179.8580
เฉลี่ย	180.3466	179.7689	179.4555	179.4484
ค่าเบี่ยงเบน	0.9631	0.7968	0.1000	0.0964

ที่มา: ผู้วิจัย

ตารางที่ 4.53

สรุปผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 15x พื้นที่หน้าตัดของแต่ละชั้นส่วนและตำแหน่งแนวตั้งของจุดต่อ  
ที่ 2, 4, 5 และ 6

ครั้งที่	น้ำหนักฐานที่300 (กิโลกรัม)	พื้นที่หน้าตัด (ตารางเซนติเมตร)			ตำแหน่งของจุดต่อ (เซนติเมตร)			
		G1	G2	G3	Y2	Y4	Y5	Y6
1	179.4268	7.349	7.591	7.591	63	96	173	96
2	179.4268	7.349	7.591	7.591	63	96	173	96
3	179.4268	7.349	7.591	7.591	63	96	173	96
4	179.4268	7.349	7.591	7.591	63	96	173	96
5	179.4268	7.349	7.591	7.591	63	96	173	96
6	179.4268	7.349	7.591	7.591	63	96	173	96
7	179.4268	7.349	7.591	7.591	63	96	173	96
8	179.4268	7.349	7.591	7.591	63	96	173	96
9	179.4268	7.349	7.591	7.591	63	96	173	96
10	179.4268	7.349	7.591	7.591	63	96	173	96
11	179.4268	7.349	7.591	7.591	63	96	173	96
12	179.4268	7.349	7.591	7.591	63	96	173	96
13	179.4268	7.349	7.591	7.591	63	96	173	96
14	179.4268	7.349	7.591	7.591	63	96	173	96
15	179.4268	7.349	7.591	7.591	63	96	173	96
16	179.4268	7.349	7.591	7.591	63	96	173	96
17	179.4268	7.349	7.591	7.591	63	96	173	96
18	179.4268	7.349	7.591	7.591	63	96	173	96
19	179.4268	7.349	7.591	7.591	63	96	173	96
20	179.8580	7.349	7.591	7.591	63	96	176	96

ที่มา: ผู้วิจัย

### สรุปผลตัวอย่างที่ 15ก และ 15ข

จากตารางที่ 4.50 ในตัวอย่างที่ 15ก และตารางที่ 4.52 ในตัวอย่างที่ 15ข พบว่า ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของน้ำหนักโครงข้อหมุนมีค่าต่ำ แสดงว่า GAs มีความน่าเชื่อถือ ส่วนค่าตำแหน่งแนวตั้งที่เหมาะสมที่ทำให้น้ำหนักของโครงข้อหมุนต่ำที่สุด ของจุดต่อที่ 2 ทั้งในตัวอย่างที่ 15ก และในตัวอย่างที่ 15ข คือค่า 63 เซนติเมตร ตำแหน่งแนวตั้งที่เหมาะสมของจุดต่อที่ 4 และ 6 ทั้งในตัวอย่างที่ 15ก และในตัวอย่างที่ 15ข คือค่า 96 เซนติเมตรและค่าตำแหน่งแนวตั้งที่เหมาะสมของจุดต่อที่ 5 ทั้งตัวอย่างที่ 15ก และตัวอย่างที่ 15ข คือค่า 173 เซนติเมตร

การตรวจสอบว่าคำตอบที่วิเคราะห์ได้จาก GAs นั้นเป็นคำตอบที่เหมาะสมหรือไม่นั้น การวิจัยได้แบ่งการตรวจสอบออกเป็น 2 ขั้นตอนด้วยกัน คือ

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดให้ตำแหน่งทางแนวตั้งของจุดต่อโครงข้อหมุน มีค่า ดังนี้  $Y_2 = 63$ ,  $Y_4 = 96$ ,  $Y_5 = 173$  และ  $Y_6 = 96$  เซนติเมตร จากนั้นดำเนินการเปลี่ยนพื้นที่หน้าตัดของ G1, G2 และ G3 ไปจนครบตามจำนวนพื้นที่หน้าตัดทั้งหมดที่มีให้เลือกใช้ พบว่าโครงข้อหมุนมีน้ำหนักต่ำสุดเมื่อ  $G_1 = 7.349$ ,  $G_2 = 7.591$  และ  $G_3 = 7.591$  ตารางเซนติเมตร

ขั้นตอนที่ 2 กำหนดพื้นที่หน้าตัดให้กับชิ้นส่วนทั้งหมดในโครงข้อหมุน มีค่า ดังนี้  $G_1 = 7.349$ ,  $G_2 = 7.591$  และ  $G_3 = 7.591$  ตารางเซนติเมตร จากนั้นดำเนินการเปลี่ยนตำแหน่งทางแนวตั้งของจุดต่อโครงข้อหมุน  $Y_2$ ,  $Y_4$ ,  $Y_5$  และ  $Y_6$  ไปจนครบทุกตำแหน่งภายในขอบเขตที่กำหนด พบว่าโครงข้อหมุนมีน้ำหนักต่ำสุดเมื่อ  $Y_2 = 63$ ,  $Y_4 = 96$ ,  $Y_5 = 173$  และ  $Y_6 = 96$  เซนติเมตร

เมื่อดำเนินการตรวจสอบทั้ง 2 ขั้นตอนข้างต้นแล้ว สามารถยืนยันได้ว่าคำตอบที่วิเคราะห์ได้จาก GAs นั้นเป็นคำตอบที่เหมาะสม

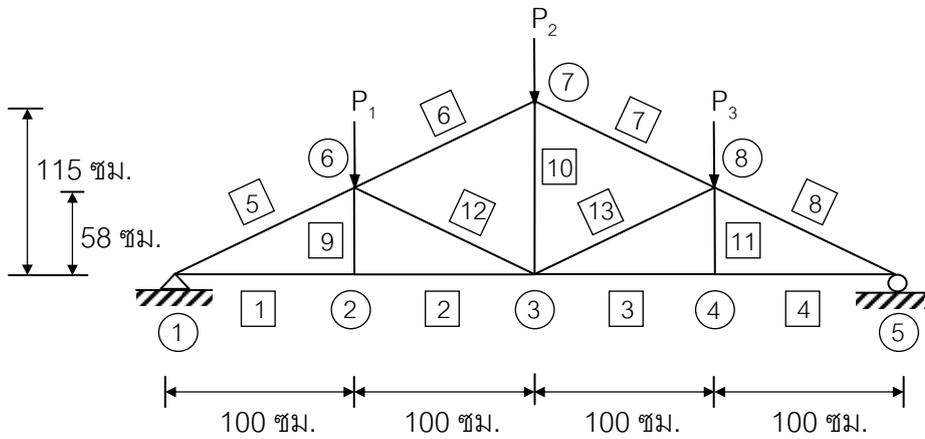
จากตัวอย่างที่ 15ก และตัวอย่างที่ 15ข ที่โครงข้อหมุนมีรูปร่างเริ่มต้นที่แตกต่างกัน แต่ขนาดน้ำหนักบรทุกที่กระทำกับโครงข้อหมุนและลักษณะการรับน้ำหนักบรทุกเหมือนกัน เมื่อวิเคราะห์ด้วย GAs พบว่ารูปร่างสุดท้ายซึ่งเป็นรูปร่างที่เหมาะสมนั้นมีรูปร่างเหมือนกันทั้งสองตัวอย่าง และมีพื้นที่หน้าตัดของชิ้นส่วนโครงข้อหมุนในทุกชิ้นส่วนเท่ากันทั้งสองตัวอย่าง ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า การวิเคราะห์ด้วย GAs นั้นสามารถหาพื้นที่หน้าตัดและตำแหน่งที่เหมาะสมที่เป็นคำตอบของทั้ง 2 ตัวอย่างนี้ได้

#### 4.3.9 ตัวอย่างที่ 16

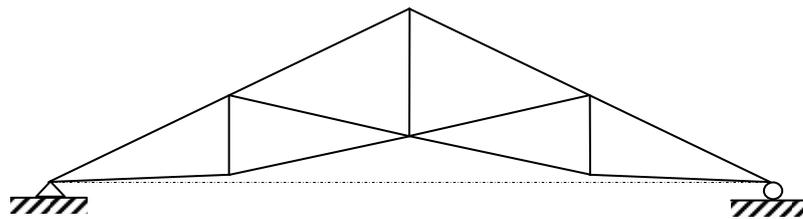
วัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาเรื่องการจัดน้ำหนักบรรทุกที่กระทำกับโครงข้อหมุนที่มีชิ้นส่วนที่รับทั้งแรงดึงและแรงอัด มีพื้นที่หน้าตัดของชิ้นส่วนที่ให้เลือกใช้เป็นแบบไม่ต่อเนื่อง และไม่มีความสัมพันธ์ที่แน่ชัดระหว่างพื้นที่หน้าตัดกับวัสดุที่เลือกใช้ โดยวิธีคำนวณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก (AISC/LRFD (2005)) โดยรูปร่างโครงข้อหมุนไม่ตายตัว

ภาพที่ 4.10

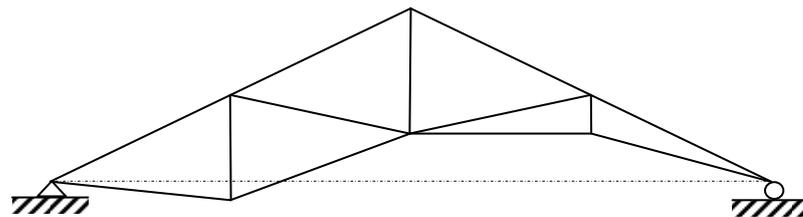
รูปร่างเริ่มต้นและรูปร่างที่เหมาะสมของโครงข้อหมุน 13 ชิ้นส่วนรับแรงดึงและแรงอัด



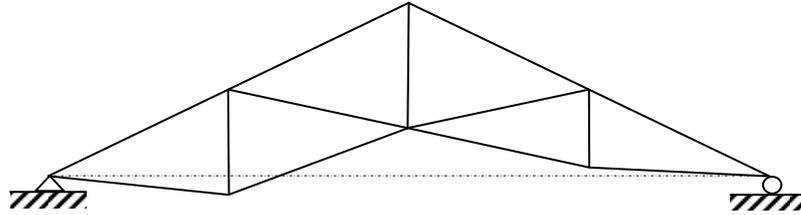
(ก) รูปร่างเริ่มต้น



(ข) รูปร่างที่เหมาะสมสำหรับน้ำหนักบรรทุกทุกกลุ่มที่ 1



(ค) รูปร่างที่เหมาะสมสำหรับน้ำหนักบรรทุกทุกกลุ่มที่ 2



(ง) รูปร่างที่เหมาะสมสำหรับน้ำหนักบรรทุกกลุ่มที่ 1 และน้ำหนักบรรทุกกลุ่มที่ 2  
ที่มา: ผู้วิจัย

ภาพที่ 4.10 แสดงโครงข้อหมุนที่ประกอบด้วย 13 ชิ้นส่วน ต้องการออกแบบโครงข้อหมุนให้สามารถรับน้ำหนักบรรทุก  $P$  จำนวน 3 ตำแหน่ง คือ  $P_1$ ,  $P_2$  และ  $P_3$  โดยมีการจัดกลุ่มน้ำหนักบรรทุกเป็น 2 กลุ่มดังนี้

กลุ่มที่ 1 1.4D

$$P_1 = -1.4 \times 3,000 = -4,200 \text{ กก.} \downarrow$$

$$P_2 = -1.4 \times 3,000 = -4,200 \text{ กก.} \downarrow$$

$$P_3 = -1.4 \times 3,000 = -4,200 \text{ กก.} \downarrow$$

กลุ่มที่ 2 1.2D+1.6L

$$P_1 = -(1.2 \times 3,000 + 1.6 \times 3,000) = -8,400 \text{ กก.} \downarrow$$

$$P_2 = -(1.2 \times 3,000 + 1.6 \times 3,000) = -8,400 \text{ กก.} \downarrow$$

$$P_3 = 1.2 \times 3,000 + 1.6 \times 3,000 = 8,400 \text{ กก.} \uparrow$$

โดยที่ D คือ น้ำหนักบรรทุกคงที่ เท่ากับ 3,000 กิโลกรัม

และ L คือ น้ำหนักบรรทุกจร เท่ากับ 3,000 กิโลกรัม

โดยออกแบบด้วยวิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก (AISC/LRFD (2005)) โครงข้อหมุนทำมาจากวัสดุที่มีโมดูลัสยืดหยุ่นเท่ากับ  $2.04 \times 10^6$  กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และมีหน่วยน้ำหนัก  $7.85 \times 10^{-3}$  กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร โดยมีข้อกำหนดในการออกแบบ คือ หน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้นในแต่ละชิ้นส่วนต้องไม่เกิน  $0.9f_y$  หรือเท่ากับ 2,160 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เชนติเมตร เมื่อ  $f_y$  เท่ากับ 2,400 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยที่ค่าอัตราส่วนความชะลูด  $\frac{l}{r}$  ต้องไม่เกิน 300 ส่วนหน่วยแรงอัดที่เกิดขึ้นในแต่ละชิ้นส่วนต้องไม่เกิน  $0.85F_{cr}$  กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยที่ค่าอัตราส่วนความชะลูด  $\frac{kl}{r}$  ต้องไม่เกิน 200 และระยะเคลื่อนที่

ของจุดต่อใด ๆ ต้องไม่เกิน 2.00 เซนติเมตร ขนาดหน้าตัดที่สามารถเลือกใช้ได้ในแต่ละชั้นส่วนมี 32 ขนาด คือ 9.085 7.349 10.69 8.636 7.591 15.17 12.26 9.892 19.12 15.52 12.52 11.17 25.22 19.13 17.07 15.4 34.79 30.01 25.16 22.72 40.4 34.82 29.17 25.32 52.35 46.03 39.61 29.94 73.06 65.19 57.27 และ 49.27 ตาราง เซนติเมตร โดยมีรัศมีใจเรชันที่สอดคล้องกับพื้นที่หน้าตัดตามลำดับดังนี้ 2.56 2.59 3.01 3.04 3.05 3.42 3.45 3.48 3.85 3.89 3.92 3.93 4.74 4.79 4.80 4.82 5.60 5.63 5.67 5.68 6.5 6.53 6.57 6.59 7.37 7.40 7.44 7.49 9.14 9.18 9.21 และ 9.24 เซนติเมตร จุดต่อมีการเคลื่อนที่ได้ 3 ค่า คือ การเคลื่อนที่ในแนวตั้งของ จุดต่อที่ 2, 3 และ 4 สามารถเลือกได้ทั้งหมด 64 ( เท่ากับ  $2^6$ ) ตำแหน่ง คือ ตั้งแต่ -32 เซนติเมตร ถึง 32 เซนติเมตร โดยมีความละเอียดในแต่ละชั้นเท่ากับ 1.00 เซนติเมตร

การวิเคราะห์ใช้สายพันธุกรรมบรรจุข้อมูลพื้นที่หน้าตัดจำนวน 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 (G1) ประกอบด้วย  $A_1 = A_2 = A_3 = A_4$  กลุ่มที่ 2 (G2) ประกอบด้วย  $A_5 = A_6 = A_7 = A_8$  กลุ่มที่ 3 (G3) ประกอบด้วย  $A_9 = A_{10} = A_{11} = A_{12} = A_{13}$  แต่ละกลุ่มใช้จำนวน 5 บิตแทนหน้าตัดที่เป็นไปได้จำนวน 32 หน้าตัดต่อหนึ่งกลุ่ม ข้อมูลตำแหน่งทางแนวตั้งของจุดต่อที่ 2 (Y2), 3 (Y3) และ 4 (Y4) ใช้จำนวน 6 บิตแทนตำแหน่งทางแนวตั้งที่เป็นไปได้จำนวน 64 ตำแหน่ง สายพันธุกรรมหนึ่งสายจึงยาวทั้งหมด 33 บิต

ตารางที่ 4.54

ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 16 (กลุ่มน้ำหนักรวมทุกกลุ่มที่ 1) น้ำหนักโครงข้อหมุน (กิโลกรัม)

ครั้งที่	รุ่นที่ 50	รุ่นที่ 100	รุ่นที่ 200	รุ่นที่ 300
1	73.1446	73.1446	73.1446	73.1446
2	73.1446	73.1446	73.1446	73.1446
3	73.1446	73.1446	73.1446	73.1446
4	73.1446	73.1446	73.1446	73.1446
5	73.1446	73.1446	73.1446	73.1446
6	73.1446	73.1446	73.1446	73.1446
7	73.1984	73.1446	73.1446	73.1446
8	73.2033	73.1446	73.1446	73.1446
9	73.2155	73.1446	73.1446	73.1446
10	73.2155	73.1446	73.1446	73.1446
11	73.2641	73.1446	73.1446	73.1446
12	73.4157	73.1446	73.1446	73.1446
13	73.2155	73.2155	73.1446	73.1446
14	73.7265	73.2737	73.1446	73.1446
15	74.4481	73.2876	73.1446	73.1446
16	73.5013	73.5013	73.2155	73.1446
17	73.5013	73.5013	73.5013	73.1446
18	73.6423	73.5013	73.5013	73.1446
19	73.5013	73.5013	73.5013	73.5013
20	73.6576	73.5013	73.5013	73.5013
เฉลี่ย	73.3787	73.2509	73.2195	73.1803
ค่าเบี่ยงเบน	0.3198	0.1543	0.1454	0.1098

ที่มา: ผู้วิจัย

ตารางที่ 4.55

สรุปผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 16 (กลุ่มน้ำหนักรวมทุกกลุ่มที่ 1) พื้นที่หน้าตัดและตำแหน่งจุดต่อ  
2, 3 และ 4

ครั้งที่	น้ำหนักรุ่นที่300 (กิโลกรัม)	พื้นที่หน้าตัด (ตารางเซนติเมตร)			ตำแหน่งของจุดต่อ (เซนติเมตร)		
		G1	G2	G3	Y2	Y3	Y4
1	73.1446	7.35	7.35	7.35	4	31	4
2	73.1446	7.35	7.35	7.35	4	31	4
3	73.1446	7.35	7.35	7.35	4	31	4
4	73.1446	7.35	7.35	7.35	4	31	4
5	73.1446	7.35	7.35	7.35	4	31	4
6	73.1446	7.35	7.35	7.35	4	31	4
7	73.1446	7.35	7.35	7.35	4	31	4
8	73.1446	7.35	7.35	7.35	4	31	4
9	73.1446	7.35	7.35	7.35	4	31	4
10	73.1446	7.35	7.35	7.35	4	31	4
11	73.1446	7.35	7.35	7.35	4	31	4
12	73.1446	7.35	7.35	7.35	4	31	4
13	73.1446	7.35	7.35	7.35	4	31	4
14	73.1446	7.35	7.35	7.35	4	31	4
15	73.1446	7.35	7.35	7.35	4	31	4
16	73.1446	7.35	7.35	7.35	4	31	4
17	73.1446	7.35	7.35	7.35	4	31	4
18	73.1446	7.35	7.35	7.35	4	31	4
19	73.5013	7.35	7.35	7.35	4	31	-1
20	73.5013	7.35	7.35	7.35	4	31	-1

ที่มา: ผู้วิจัย

ตารางที่ 4.56

ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 16 (กลุ่มน้ำหนักรวมทุกกลุ่มที่ 2) น้ำหนักโครงข้อหมุน (กิโลกรัม)

ครั้งที่	รุ่นที่ 50	รุ่นที่ 100	รุ่นที่ 200	รุ่นที่ 300
1	73.0873	73.0873	73.0873	73.0873
2	73.0873	73.0873	73.0873	73.0873
3	73.0873	73.0873	73.0873	73.0873
4	73.0873	73.0873	73.0873	73.0873
5	73.0873	73.0873	73.0873	73.0873
6	73.0873	73.0873	73.0873	73.0873
7	73.0873	73.0873	73.0873	73.0873
8	73.0873	73.0873	73.0873	73.0873
9	73.0873	73.0873	73.0873	73.0873
10	73.0873	73.0873	73.0873	73.0873
11	73.0873	73.0873	73.0873	73.0873
12	73.1284	73.0873	73.0873	73.0873
13	73.1524	73.0873	73.0873	73.0873
14	73.1771	73.0873	73.0873	73.0873
15	73.2680	73.0873	73.0873	73.0873
16	73.2824	73.0873	73.0873	73.0873
17	73.3580	73.3580	73.0873	73.0873
18	74.1067	73.3598	73.0873	73.0873
19	73.7855	73.6144	73.0873	73.0873
20	74.3480	73.8258	73.0873	73.0873
เฉลี่ย	73.2783	73.1777	73.0873	73.0873
ค่าเบี่ยงเบน	0.3659	0.2061	0.0000	0.0000

ที่มา: ผู้วิจัย

ตารางที่ 4.57

สรุปผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 16 (กลุ่มน้ำหนักรวมทุกกลุ่มที่ 2) พื้นที่หน้าตัดและตำแหน่งจุดต่อ  
2, 3 และ 4

ครั้งที่	น้ำหนักรุ่นที่300 (กิโลกรัม)	พื้นที่หน้าตัด (ตารางเซนติเมตร)			ตำแหน่งของจุดต่อ (เซนติเมตร)		
		G1	G2	G3	Y2	Y3	Y4
1	73.0873	7.35	7.35	7.35	-14	31	31
2	73.0873	7.35	7.35	7.35	-14	31	31
3	73.0873	7.35	7.35	7.35	-14	31	31
4	73.0873	7.35	7.35	7.35	-14	31	31
5	73.0873	7.35	7.35	7.35	-14	31	31
6	73.0873	7.35	7.35	7.35	-14	31	31
7	73.0873	7.35	7.35	7.35	-14	31	31
8	73.0873	7.35	7.35	7.35	-14	31	31
9	73.0873	7.35	7.35	7.35	-14	31	31
10	73.0873	7.35	7.35	7.35	-14	31	31
11	73.0873	7.35	7.35	7.35	-14	31	31
12	73.0873	7.35	7.35	7.35	-14	31	31
13	73.0873	7.35	7.35	7.35	-14	31	31
14	73.0873	7.35	7.35	7.35	-14	31	31
15	73.0873	7.35	7.35	7.35	-14	31	31
16	73.0873	7.35	7.35	7.35	-14	31	31
17	73.0873	7.35	7.35	7.35	-14	31	31
18	73.0873	7.35	7.35	7.35	-14	31	31
19	73.0873	7.35	7.35	7.35	-14	31	31
20	73.0873	7.35	7.35	7.35	-14	31	31

ที่มา: ผู้วิจัย

ตารางที่ 4.58

ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 16 (กลุ่มน้ำหนักรรทุกกลุ่มที่ 1 และ กลุ่มน้ำหนักรรทุกกลุ่มที่ 2)  
น้ำหนักโครงข้อหมุน (กิโลกรัม)

ครั้งที่	รุ่นที่ 50	รุ่นที่ 100	รุ่นที่ 200	รุ่นที่ 300
1	74.5853	74.5853	74.5853	74.5853
2	74.5853	74.5853	74.5853	74.5853
3	74.5853	74.5853	74.5853	74.5853
4	74.5853	74.5853	74.5853	74.5853
5	74.5853	74.5853	74.5853	74.5853
6	74.5853	74.5853	74.5853	74.5853
7	74.5853	74.5853	74.5853	74.5853
8	74.6353	74.5853	74.5853	74.5853
9	74.6353	74.5853	74.5853	74.5853
10	74.6562	74.5853	74.5853	74.5853
11	74.6751	74.5853	74.5853	74.5853
12	74.7247	74.5853	74.5853	74.5853
13	74.8578	74.5853	74.5853	74.5853
14	74.9595	74.5853	74.5853	74.5853
15	75.0626	74.5853	74.5853	74.5853
16	74.7952	74.6562	74.5853	74.5853
17	75.5424	74.6562	74.5853	74.5853
18	74.8578	74.8578	74.5853	74.5853
19	74.9061	74.9061	74.5853	74.5853
20	74.9510	74.9510	74.5853	74.5853
เฉลี่ย	74.7678	74.6403	74.5853	74.5853
ค่าเบี่ยงเบน	0.2389	0.1171	0.0000	0.0000

ที่มา: ผู้วิจัย

ตารางที่ 4.59

สรุปผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 16 (กลุ่มน้ำหนักบรรทุกทุกกลุ่มที่ 1 และ กลุ่มน้ำหนักบรรทุกทุกกลุ่มที่ 2)  
พื้นที่หน้าตัดและตำแหน่งจุดต่อ 2, 3 และ 4

ครั้งที่	น้ำหนักรุ่นที่300 (กิโลกรัม)	พื้นที่หน้าตัด (ตารางเซนติเมตร)			ตำแหน่งของจุดต่อ (เซนติเมตร)		
		G1	G2	G3	Y2	Y3	Y4
1	74.5853	7.35	7.35	7.35	-14	31	4
2	74.5853	7.35	7.35	7.35	-14	31	4
3	74.5853	7.35	7.35	7.35	-14	31	4
4	74.5853	7.35	7.35	7.35	-14	31	4
5	74.5853	7.35	7.35	7.35	-14	31	4
6	74.5853	7.35	7.35	7.35	-14	31	4
7	74.5853	7.35	7.35	7.35	-14	31	4
8	74.5853	7.35	7.35	7.35	-14	31	4
9	74.5853	7.35	7.35	7.35	-14	31	4
10	74.5853	7.35	7.35	7.35	-14	31	4
11	74.5853	7.35	7.35	7.35	-14	31	4
12	74.5853	7.35	7.35	7.35	-14	31	4
13	74.5853	7.35	7.35	7.35	-14	31	4
14	74.5853	7.35	7.35	7.35	-14	31	4
15	74.5853	7.35	7.35	7.35	-14	31	4
16	74.5853	7.35	7.35	7.35	-14	31	4
17	74.5853	7.35	7.35	7.35	-14	31	4
18	74.5853	7.35	7.35	7.35	-14	31	4
19	74.5853	7.35	7.35	7.35	-14	31	4
20	74.5853	7.35	7.35	7.35	-14	31	4

ที่มา: ผู้วิจัย

### สรุปผลตัวอย่างที่ 16

จากตารางที่ 4.54 ตารางที่ 4.56 และตารางที่ 4.58 พบว่า ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของน้ำหนักโครงข้อหมุนมีค่าต่ำลงเมื่อรุ่นของประชากรสูงขึ้นแสดงว่า GAs มีความน่าเชื่อถือสูงขึ้น ค่าน้ำหนักโครงข้อหมุนและค่าตำแหน่งที่เหมาะสมทางแนวตั้งของจุดต่อที่ 2, 3 และ 4 ที่ทำให้น้ำหนักของโครงข้อหมุนต่ำที่สุด ตามการจัดกลุ่มน้ำหนักบรรทุก สรุปได้ดังนี้

1. การจัดกลุ่มน้ำหนักบรรทุกทุกกลุ่มที่ 1 ให้กระทำกับโครงข้อหมุนเพียงกลุ่มเดียว จากตารางที่ 4.55 พบว่าน้ำหนักโครงข้อหมุนที่ต่ำที่สุดเท่ากับ 73.1446 กิโลกรัม ส่วนตำแหน่งที่เหมาะสมทางแนวตั้งของจุดต่อที่ 2, 3 และ 4 คือ 4, 31 และ 4 เซนติเมตร ตามลำดับ

2. การจัดกลุ่มน้ำหนักบรรทุกทุกกลุ่มที่ 2 ให้กระทำกับโครงข้อหมุนเพียงกลุ่มเดียว จากตารางที่ 4.57 พบว่าน้ำหนักโครงข้อหมุนที่ต่ำที่สุดเท่ากับ 73.0873 กิโลกรัม ตำแหน่งที่เหมาะสมทางแนวตั้งของจุดต่อที่ 2, 3 และ 4 คือ -14, 31 และ 31 เซนติเมตร ตามลำดับ

3. การจัดกลุ่มน้ำหนักบรรทุกทุกกลุ่มที่ 1 และกลุ่มน้ำหนักบรรทุกทุกกลุ่มที่ 2 กระทำกับโครงข้อหมุน จากตารางที่ 4.59 พบว่าน้ำหนักโครงข้อหมุนที่ต่ำที่สุดเท่ากับ 74.5853 กิโลกรัม ตำแหน่งที่เหมาะสมทางแนวตั้งของจุดต่อที่ 2, 3 และ 4 คือ -14, 31 และ 4 เซนติเมตร ตามลำดับ

จากภาพที่ 4.10 (ง) หรือจากข้อ 3 ที่เป็นการจัดกลุ่มน้ำหนักบรรทุกทุกกลุ่มที่ 1 และกลุ่มน้ำหนักบรรทุกทุกกลุ่มที่ 2 กระทำกับโครงข้อหมุน พบว่าตำแหน่งที่เหมาะสมทางแนวตั้งของจุดต่อที่ 2, 3 และ 4 นี้เกิดจากการผสมกันระหว่างการให้น้ำหนักบรรทุกทุกกลุ่มที่ 1 กระทำกับโครงข้อหมุนเพียงกลุ่มเดียวหรือภาพที่ 4.10 (ข) และการให้น้ำหนักบรรทุกทุกกลุ่มที่ 2 กระทำกับโครงข้อหมุนเพียงกลุ่มเดียวหรือภาพที่ 4.10 (ค) ซึ่งตำแหน่งของจุดต่อที่ 2, 3 และ 4 และพื้นที่หน้าตัดของ G1, G2 และ G3 ที่ได้ถือว่าสมเหตุสมผล ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า การวิเคราะห์ด้วย GAs นั้นสามารถหาพื้นที่หน้าตัดและตำแหน่งที่เหมาะสมที่เกิดจากการจัดกลุ่มน้ำหนักบรรทุก (Load combination) ได้

## บทที่ 5

### สรุปผลการศึกษาวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการศึกษาวิจัย

การวิจัยนี้ได้พัฒนานาฏในการคัดเลือกสายพันธุ์สำหรับการออกแบบโครงข้อหมุนที่เหมาะสม ซึ่งใช้วิธีการคัดเลือกสายพันธุ์ด้วยวิธีการจัดอันดับ (Ranking Selection Scheme) แทนที่การใช้วิธีปรับโทษ (Penalty Method) ที่เสนอโดยนเรศ[7] โดยการวิจัยนี้ได้พัฒนา 2 เรื่องใหญ่ ๆ ด้วยกัน คือ

1. มีการพัฒนาวิธีการออกแบบจากเดิมที่อยู่บนพื้นฐานของทฤษฎีหน่วยแรงใช้งาน (Allowable Stress Design: ASD) มาเป็นการออกแบบที่ใช้วิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก (Load and Resistance Factor Design : LRFD) ตามมาตรฐานการออกแบบที่เป็นมาตรฐานสากลของ AISC/LRFD(2005)

2. มีการพัฒนาจากการศึกษาโครงข้อหมุนที่มีรูปร่างตายตัว(Fixed Geometry) มาเป็นการศึกษาโครงข้อหมุนที่รูปร่างไม่ตายตัวสามารถเปลี่ยนแปลงได้ โดยกำหนดให้จุดต่อเคลื่อนที่ภายในขอบเขตที่กำหนดซึ่งเป็นการปรับความเหมาะสม (Optimize) ทั้งเรื่องขนาดพื้นที่หน้าตัดและรูปร่างของโครงข้อหมุน

การศึกษายู่ภายใต้ข้อจำกัดในเรื่องหน่วยแรงที่เกิดขึ้นในแต่ละชั้นส่วนและข้อจำกัดในเรื่องการเคลื่อนที่ของจุดต่อซึ่งจะต้องมีค่าไม่เกินค่าที่กำหนด

การวิจัยได้พิสูจน์ความสามารถในหลาย ๆ กรณีผ่านการศึกษาดังข้างทั้ง 3 กลุ่มรวมทั้งสิ้น 16 ตัวอย่าง ซึ่งสามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

กลุ่มที่ 1 ศึกษาโครงข้อหมุนที่มีหน่วยแรงที่ยอมให้ในแต่ละชั้นส่วนเป็นแบบคงที่

ตัวอย่างที่ 1 และตัวอย่างที่ 2 แสดงให้เห็นว่าวิธีการคัดเลือกสายพันธุ์ด้วยวิธีการจัดอันดับในการวิจัยนี้สามารถใช้ได้ทั้งพื้นที่หน้าตัดแบบต่อเนื่องและพื้นที่หน้าตัดไม่ต่อเนื่อง เมื่อโครงข้อหมุนรับเฉพาะแรงดึง โดยที่หน่วยแรงที่ยอมให้ในแต่ละชั้นส่วนคงที่ และรูปร่างโครงข้อหมุนไม่ตายตัว

ตัวอย่างที่ 3 แสดงให้เห็นว่าวิธีการคัดเลือกสายพันธุ์ด้วยวิธีการจัดอันดับในการวิจัยนี้สามารถใช้ได้ เมื่อโครงข้อมุมรับทั้งแรงดึงและแรงอัด โดยที่หน่วยแรงที่ยอมให้ในแต่ละชั้นส่วนคงที่ และรูปร่างโครงข้อมุมไม่ตายตัว

ตัวอย่างที่ 4 แสดงให้เห็นว่าเมื่อนำผลการวิเคราะห์ที่ได้จาก GAs ที่ใช้วิธีการคัดเลือกสายพันธุ์ด้วยวิธีการจัดอันดับในการวิจัยนี้ไปเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่น ๆ ในอดีต พบว่าผลการวิเคราะห์จากงานวิจัยนี้อยู่กึ่งกลางระหว่างคำตอบที่ดีที่สุดและคำตอบที่แย่ที่สุด สาเหตุที่ทำให้คำตอบที่ได้จากงานวิจัยนี้แตกต่างจากงานวิจัยอื่น ๆ ในอดีต เนื่องมาจากการตั้งค่ากำหนดทั่วไป (Parameters) ที่แตกต่างจากงานวิจัยอื่น ๆ เช่น จำนวนสายพันธุ์กรรมในหนึ่งรุ่น ความน่าจะเป็นในการใช้สายพันธุ์ ความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ เป็นต้น อีกประการหนึ่ง คือ การเคลื่อนที่ของจุดต่อในงานวิจัยนี้ก็แตกต่างจากงานวิจัยอื่น ๆ ทั้งในเรื่องขีดจำกัดของขอบเขตการเคลื่อนที่และความละเอียดของการเคลื่อนที่ในแต่ละชั้น

กลุ่มที่ 2 ศึกษาโครงข้อมุมที่หน่วยแรงที่ยอมให้หาได้จากมาตรฐานการออกแบบด้วยวิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก (AISC/LRFD (2005))

ตัวอย่างที่ 5 และตัวอย่างที่ 6 แสดงให้เห็นว่าวิธีการคัดเลือกสายพันธุ์ด้วยวิธีการจัดอันดับในการวิจัยนี้ สามารถใช้กับการออกแบบโดยวิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก (AISC/LRFD (2005)) ได้ เมื่อรูปร่างโครงข้อมุมเป็นแบบตายตัว โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานในการวิเคราะห์ทั้ง 20 ครั้ง เท่ากับศูนย์ทั้งตัวอย่างที่ 5 และตัวอย่างที่ 6

ตัวอย่างที่ 7 และตัวอย่างที่ 8 แสดงให้เห็นว่าวิธีการคัดเลือกสายพันธุ์ด้วยวิธีการจัดอันดับในการวิจัยนี้สามารถใช้กับการออกแบบโดยวิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก (AISC/LRFD(2005)) ได้ เมื่อรูปร่างโครงข้อมุมเป็นแบบไม่ตายตัว และพื้นที่หน้าตัดที่ให้เลือกใช้จะมีลักษณะแปรผันโดยตรงกับรัศมีโຈเรชั่น โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานในการวิเคราะห์ทั้ง 20 ครั้ง ในตัวอย่างที่ 7 และตัวอย่างที่ 8 เพียง 0.35 และ 0.42 ตามลำดับ เท่านั้น

ตัวอย่างที่ 9 แสดงให้เห็นว่าเมื่อนำผลการวิเคราะห์ที่ได้จาก GAs ที่ใช้วิธีการคัดเลือกสายพันธุ์ด้วยวิธีการจัดอันดับในการวิจัยนี้ไปเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่น ๆ ในอดีต พบว่าผลการวิเคราะห์จากงานวิจัยนี้ไม่ได้เป็นคำตอบที่ดีที่สุด แต่ก็ไม่ได้เป็นคำตอบที่แย่ที่สุด สาเหตุที่ทำให้คำตอบที่ได้จากงานวิจัยนี้แตกต่างจากงานวิจัยอื่น ๆ ในอดีต เนื่องมาจากการตั้งค่ากำหนดทั่วไป (Parameters) ขีดจำกัดของขอบเขตการเคลื่อนที่และความละเอียดของการเคลื่อนที่ในแต่ละชั้น ในงานวิจัยนี้แตกต่างจากงานวิจัยอื่น ๆ

กลุ่มที่ 3 ศึกษาโครงข้อมุมที่หน่วยแรงที่ยอมให้หาได้จากมาตรฐานการออกแบบ ด้วยวิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก (AISC/LRFD (2005)) และใช้การค้นหาห้อย (Local Search) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการหาคำตอบ

ตัวอย่างที่ 10 และตัวอย่างที่ 11 เป็นการปรับปรุงจากตัวอย่างที่ 7 และตัวอย่างที่ 8 ตามลำดับ ซึ่งวิธีการปรับปรุง คือ เมื่ออัตราส่วนความขะลุดของชิ้นส่วนใดมีค่ามากกว่าอัตราส่วนความขะลุดที่กำหนด จะทำการเพิ่มพื้นที่หน้าตัดของชิ้นส่วนจนกระทั่งอัตราส่วนความขะลุดของชิ้นส่วนอยู่ในค่าที่กำหนด จากการปรับปรุงโดยเพิ่มการค้นหาห้อย (Local Search) เข้าไปในกระบวนการวิเคราะห์ พบว่าน้ำหนักโครงข้อมุมที่ต่ำที่สุดที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย GAs มีค่าไม่แตกต่างจากคำตอบที่แท้จริง แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มการค้นหาห้อย (Local Search) เข้าไปช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการหาคำตอบของปัญหาได้เป็นอย่างดี

ตัวอย่างที่ 12 และตัวอย่างที่ 13 เป็นการปรับเปลี่ยนพื้นที่หน้าตัดที่ให้เลือกใช้ ในตัวอย่างที่ 10 และตัวอย่างที่ 11 จากพื้นที่หน้าตัดที่มีลักษณะแปรผันโดยตรงกับรัศมีไอเรชั่น เป็นพื้นที่หน้าตัดที่ไม่มีความสัมพันธ์ที่แน่ชัดกับรัศมีไอเรชั่น ซึ่งต้องมีการปรับปรุง โดยเมื่ออัตราส่วนความขะลุดของชิ้นส่วนใดมีค่ามากกว่าอัตราส่วนความขะลุดที่กำหนด จะดำเนินการเปลี่ยนพื้นที่หน้าตัดเพื่อให้อัตราส่วนความขะลุดของชิ้นส่วนอยู่ในค่าที่กำหนด โดยใช้การค้นหาห้อย (Local Search) ซึ่งการปรับปรุงทำให้น้ำหนักโครงข้อมุมที่ต่ำที่สุดที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย GAs มีค่าไม่แตกต่างจากคำตอบที่แท้จริง เป็นการยืนยันถึงประสิทธิภาพการค้นหาคำตอบด้วย GAs

ตัวอย่างที่ 14 และตัวอย่างที่ 15 แสดงให้เห็นว่าวิธีการคัดเลือกสายพันธุ์ด้วยวิธีการจัดอันดับในการวิจัยนี้สามารถใช้ได้กับโครงข้อมุมที่มีรูปร่างเริ่มต้นที่แตกต่างกัน แต่ขนาดน้ำหนักบรรทุกที่กระทำกับโครงข้อมุมและลักษณะการรับน้ำหนักบรรทุกเหมือนกัน ซึ่งเมื่อวิเคราะห์ด้วย GAs จะได้รูปร่างสุดท้ายซึ่งเป็นรูปร่างที่เหมาะสมนั้นมีรูปร่าง พื้นที่หน้าตัดของชิ้นส่วนทุกชิ้นส่วนและตำแหน่งของจุดต่อที่ยอมให้เคลื่อนที่ได้ เหมือนกันทั้งสองตัวอย่าง

ตัวอย่างที่ 16 แสดงให้เห็นว่าวิธีการคัดเลือกสายพันธุ์ด้วยวิธีการจัดอันดับในการวิจัยนี้สามารถใช้ในการจัดกลุ่มน้ำหนักบรรทุก (Load Combination) ได้อย่างสมเหตุสมผล เนื่องจากเมื่อนำน้ำหนักบรรทุกมากกว่าหนึ่งกลุ่มกระทำกับโครงข้อมุมที่มีรูปร่างเริ่มต้นรูปร่างเดียวกัน ผลการวิเคราะห์ชี้ให้เห็นว่ารูปร่างที่เหมาะสมที่ได้นั้นเกิดจากการผสมผสานกันระหว่างรูปร่างที่เหมาะสมเมื่อน้ำหนักบรรทุกแต่ละกลุ่มกระทำกับโครงข้อมุม

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาพบว่ามีหัวข้อที่ควรมีการปรับปรุงและศึกษาเพิ่มเติมดังต่อไปนี้

1. การวิจัยนี้ศึกษาเฉพาะโครงสร้างประเภทโครงข้อหมุน การศึกษาต่อไปควรศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับโครงสร้างประเภทอื่น ๆ เช่น โครงสร้างประเภทโครงข้อแข็ง เป็นต้น
2. การวิจัยต่อไปควรขยายการศึกษาเพิ่มเติมจากการวิเคราะห์โครงข้อหมุนแบบ Linear-elastic เป็นการวิเคราะห์โครงข้อหมุนแบบ Non-Linear
3. ควรศึกษาเพิ่มเติมโดยใช้มาตรฐานสากลอื่น ๆ เพื่อเปรียบเทียบผลการศึกษากับมาตรฐาน AISC/LRFD (2005) ที่ใช้ในงานวิจัยนี้
4. ควรศึกษาเพิ่มเติมเมื่อโครงข้อหมุนไม่ได้ทำมาจากวัสดุชนิดเดียวกันทุกชิ้นส่วน
5. ในงานวิจัยนี้ใช้ค่ากำหนดทั่วไป (Parameters) ของ GAs เหมือนกันในทุกตัวอย่าง ดังนั้นการศึกษาต่อไปควรขยายการศึกษาเพิ่มเติมออกไปว่าถ้าค่ากำหนดทั่วไป (Parameters) ของ GAs มีการปรับเปลี่ยนแล้วจะมีผลกระทบต่อพฤติกรรมของผลการวิเคราะห์เปลี่ยนแปลงไปอย่างไรบ้าง

## บรรณานุกรม

- [1] American Institute of Steel Construction :Manual of Steel Construction-Load & Resistance Factor Design,2<sup>nd</sup> Ed., (1994).
- [2] Chee Kiong Soh and Yaowen Yang (2000). Genetic Programming-Based Approach For Structural Optimization. Journal of Computing in Civil Engineering 14(1):0031-0037.
- [3] Galant M (1996) Genetic algorithms as an approach to optimize realworld trusses. Int J Numer Methods Eng 39:361-382.
- [4] Goldberg, D.E. (1989) Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning. Reading . Massachusetts: Addison-Wesley.
- [5] Hansen, S. R., and Vanderplaats, N. (1989). "Approximation method for configuration optimization of trusses." AIAA J,8(3), 161-168.
- [6] Imai K (1978) Configuration optimization of trusses by the multiplier method. Ph.D. thesis, University of California, Los Angeles(Rep. No. UCLA-ENG-7842).
- [7] Limsamphancharoen, N (2007). Ranking selection scheme for optimization of trusses with genetic algorithms.STR081, NCCE12.

- [8] Ohsaki, Tsuneyoshi Nakamura, and Y. Isshiki.(1998). Shape-Size Optimization of Plane Trusses with Designer's Preference. Journal of Structural Engineering. (11):1323-1330.
- [9] Prasad, C. K. and Krishnamoorthy, C. S. (2001). System reliability-based configuration optimization of trusses. Journal of Structural Engineering 127(8):947-956.
- [10] Q. Z. Zheng, O.M.Querin, D.C.Barton.Geometry and sizing optimization of discrete structure using the genetic programming method.Struct Multidisc Optim (2006) 31:452-461.
- [11] Rajan, S.D. (1995). Sizing, shape, and topology design optimization of trusses using genetic algorithms. Journal of Structural Engineering 121(10):1480-1487.
- [12] Rajeev S, Krishnamoorthy CS (1997) Genetic algorithms based methodologies for design of truss. Journal of Structural Engineering 123:350-358.
- [13] Sharad Man Shrestha and Jamshid Ghaboussi (1998).Evolution of Optimum Structural Shapes Using Genetic Algorithm. Journal of Structural Engineering. (11):1331-1338.

[14] วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, มาตรฐานการออกแบบอาคารเหล็กรูปพรรณ โดยวิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก (AISC/LRFD(2005)). (มาตรฐานว.ส.ท.1020-46), (2546).

ภาคผนวก

## ภาคผนวก

### ชุดคำสั่งควบคุม

#### ชุดคำสั่งหลัก (Function: ga3)

```
function
[PRM1,PRM2,BESTID,POP,BESTFIT,BESTPOP,FIT]=ga3(XX,YY,NPOP,SLENGTH,MAX
NGNRT,GLEN,ENAME,SCODE,NCROSS,PCROSS,PMUTATE,ECODE,CL,n)

%-----create random circle
CLOCK = fix(clock);
TRASH = CLOCK(3)*CLOCK(4)*CLOCK(5)*CLOCK(6);
%-----create first generation

for I = 1:NPOP
    for J = 1:SLENGTH
        POP(I,J) = int2str(round(rand));
    end
end

fprintf(' GEN PRM2(1) PRM2(2)  PRM2(3)   PRM2(4) PRM2(5)   PRM2(6)
PRM2(7)   ||  G1 : G2 : G3   ||   Y2   Y3   Y4   \n');

for GEN = 1:MAXNGNRT
    [GENE] = extract(POP,SLENGTH,GLEN);
    eval(strrep('[FIT PRM1 PRM2 ] =
filename(GENE,POP,XX,YY);','filename',ENAME));
    [BESTFIT BESTID] = max(FIT);
    BESTPOP(1,:) = POP(BESTID,:);

    if (GEN==50 || GEN ==100 || GEN==200 || GEN==300 )
        fprintf('%3i %3i %3i %10.4f %1i %10.2f %7.3f %12.4e',[GEN
PRM2(1) PRM2(2) PRM2(3) PRM2(4) PRM2(5) PRM2(6) PRM2(7)]);
        % Print Area
        fprintf('   || %5.2f %5.2f %5.2f   ',[PRM1(BESTID,1)
PRM1(BESTID,2) PRM1(BESTID,3)  ]);
        % Print Y2,Y3,Y4
        fprintf('||%4.0f %4.0f %4.0f \n ',[ PRM1(BESTID,19)
PRM1(BESTID,20) PRM1(BESTID,21)  ]);
    end

    PRM1GEN(GEN,1:2) = PRM1(BESTID,1:2);
    PRM2GEN(GEN,1:8) = PRM2(1:8);

    for I = 1:NPOP
        [ID1,ID2] = selection(FIT,SCODE);
        POPX(I,:) = POP(ID1,:);
    end

    MATEID = randperm(NPOP);
```

```

        for ID = 1:2:NPOP
            DAD = POPX(MATEID(ID),:);
            MOM = POPX(MATEID(ID+1),:);
            [KID(ID,:),KID(ID+1,:)] =
crossover(DAD,MOM,PCROSS,NCROSS,SLENGTH);
        end

        [POP] = mutate(KID,PMUTATE,SLENGTH);

        if ECODE == 1
            POP(1,:) = BESTPOP(1,:);
        end
    end
end

```

### ชุดคำสั่งรอง (Script: i13bar)

```

%script iuniform : input file for GA.m
%clear
NPOP = 100;                % number of population
GLEN = [5 5 5 6 6 6 ];    % string length
SLENGTH = sum(GLEN);
MAXNGNRT = 300;          % max number of evolution to run
SCODE = 3;               % 1 typical; 2 linear scale (C=2); 3 ranking
NCROSS = 1;              % number of crossing points
PCROSS = 1;              % probability of crossover
PMUTATE = 0.02;          % probability of mutation
ENAME = 'e13bar';        % name of file(.m) to evaluate string's fitness
ECODE = 1;

```

### ชุดคำสั่งรอง (Script: e13bar)

```

function [FITNESS,PRM1,PRM2,POP] = e13bar(GENE,POP,XX,YY)

NPOP = size(GENE,1);

MEMSIZE1 = [ 9.085  7.349 10.690  8.636  7.591 15.170 12.26  9.892...
            19.120 15.520 12.520 11.170 25.220 19.130 17.07 15.400...
            34.790 30.010 25.160 22.720 40.400 34.820 29.17 25.320...
            52.350 46.030 39.610 29.940 73.060 65.190 57.27 49.27 ];

MEMR =      [2.56  2.59  3.01  3.04  3.05  3.42  3.45  3.48  ...
            3.85  3.89  3.92  3.93  4.74  4.79  4.80  4.82  ...
            5.6   5.63  5.67  5.68  6.5   6.53  6.57  6.59  ...
            7.37  7.40  7.44  7.49  9.14  9.18  9.21  9.24  ];

for JJ = 1:2^6+1
    NODEX(JJ) = -33+1*JJ;
end

```

```

for JJ = 1:2^6+1
NODEY(JJ) = -33+1*JJ;
end

FY=2400;

[n m] = size(MEMSIZE1);
NUM = m;

for II = 1:NPOP

    REMAIN = GENE(II,:);

    % AREA
    [TOKEN,REMAIN] = strtok(REMAIN,['-' '/']);
    SS = TOKEN;
    PRM1(II,1) = MEMSIZE1(bin2dec(SS)+1);

    [TOKEN,REMAIN] = strtok(REMAIN,['-' '/']);
    SS = TOKEN;
    PRM1(II,2) = MEMSIZE1(bin2dec(SS)+1);

    [TOKEN,REMAIN] = strtok(REMAIN,['-' '/']);
    SS = TOKEN;
    PRM1(II,3) = MEMSIZE1(bin2dec(SS)+1);

    [TOKEN,REMAIN] = strtok(REMAIN,['-' '/']);
    SS = TOKEN;
    PRM1(II,7) = NODEY(bin2dec(SS)+1);

    [TOKEN,REMAIN] = strtok(REMAIN,['-' '/']);
    SS = TOKEN;
    PRM1(II,8) = NODEY(bin2dec(SS)+1);

    [TOKEN,REMAIN] = strtok(REMAIN,['-' '/']);
    SS = TOKEN;
    PRM1(II,9) = NODEY(bin2dec(SS)+1);

    #####
    #####    LOAD CASE 1    #####
    #####

[NNODE,NELEM,NUF,NPLOAD,NODEDATA,ELEMDATA,PDISP,PLOAD,UWEIGHT,ADISP]
= thirteenbar(XX,YY);
    %---Assign area of member
    for BB = 1:4
        ELEMDATA(BB,4) = PRM1(II,1);
    end
    for BB = 5:8
        ELEMDATA(BB,4) = PRM1(II,2);
    end
    for BB = 9:13
        ELEMDATA(BB,4) = PRM1(II,3);
    end

```

```

end

%coordinate;

NODEDATA(1,2) = XX(1); % x of node 1
NODEDATA(2,2) = XX(2); % x of node 2
NODEDATA(3,2) = XX(3); % x of node 3
NODEDATA(4,2) = XX(4); % x of node 4
NODEDATA(5,2) = XX(5); % x of node 5
NODEDATA(6,2) = XX(6); % x of node 6
NODEDATA(7,2) = XX(7); % x of node 7
NODEDATA(8,2) = XX(8); % x of node 8

NODEDATA(1,3) = YY(1); % y of node 1
NODEDATA(2,3) = YY(2)+PRM1(II,7); % y of node 2
NODEDATA(3,3) = YY(3)+PRM1(II,8); % y of node 3
NODEDATA(4,3) = YY(4)+PRM1(II,9); % y of node 4
NODEDATA(6,3) = YY(6); % y of node 5
NODEDATA(7,3) = YY(7); % y of node 7
NODEDATA(8,3) = YY(8); % y of node 8

PRM1(II,10) = NODEDATA(1,2); % x of node 1
PRM1(II,11) = NODEDATA(2,2); % x of node 2
PRM1(II,12) = NODEDATA(3,2); % x of node 3
PRM1(II,13) = NODEDATA(4,2); % x of node 4
PRM1(II,14) = NODEDATA(5,2); % x of node 5
PRM1(II,15) = NODEDATA(6,2); % x of node 6
PRM1(II,16) = NODEDATA(7,2); % x of node 7
PRM1(II,17) = NODEDATA(8,2); % x of node 8

PRM1(II,18) = NODEDATA(1,3); % y of node 1
PRM1(II,19) = NODEDATA(2,3); % y of node 2
PRM1(II,20) = NODEDATA(3,3); % y of node 3
PRM1(II,21) = NODEDATA(4,3); % y of node 4
PRM1(II,22) = NODEDATA(5,3); % y of node 5
PRM1(II,23) = NODEDATA(6,3); % y of node 6
PRM1(II,24) = NODEDATA(7,3); % y of node 7
PRM1(II,25) = NODEDATA(8,3); % y of node 8

%---Truss Analysis
PLOAD = [9      -1.4*2000
         11     -1.4*2000
         13     -1.4*2000
          8       0
         12      0]; % (kg)

ELEMDATA1= ELEMDATA;
[STRESS_C1 L U_C1] =
ptruss(ELEMDATA1,NODEDATA,PLOAD,NELEM,NNODE,NUF,PDISP,NPLOAD) ;
[ASTRESSC1, STRESSC1,RC1,ELEMDATA1,KLRC1,UC1] =
LocalSearch(NELEM,NUM,ELEMDATA1,MEMSIZE1,MEMR,L,STRESS_C1,ADISP,U_C1,
FY);

##### end of case 1 #####

```

```

#####
##### LOAD CASE2 #####
#####
ELEMDATA2 = ELEMDATA;

%coordinate;

NODEDATA(1,2) = XX(1); % x of node 1
NODEDATA(2,2) = XX(2); % x of node 2
NODEDATA(3,2) = XX(3); % x of node 3
NODEDATA(4,2) = XX(4); % x of node 4
NODEDATA(5,2) = XX(5); % x of node 5
NODEDATA(6,2) = XX(6); % x of node 6
NODEDATA(7,2) = XX(7); % x of node 7
NODEDATA(8,2) = XX(8); % x of node 8

NODEDATA(1,3) = YY(1); % y of node 1
NODEDATA(2,3) = YY(2)+PRM1(II,7); % y of node 2
NODEDATA(3,3) = YY(3)+PRM1(II,8); % y of node 3
NODEDATA(4,3) = YY(4)+PRM1(II,9); % y of node 4
NODEDATA(5,3) = YY(5); % y of node 5
NODEDATA(6,3) = YY(6); % y of node 6
NODEDATA(7,3) = YY(7); % y of node 7
NODEDATA(8,3) = YY(8); % y of node 8

PRM1(II,10) = NODEDATA(1,2); % x of node 1
PRM1(II,11) = NODEDATA(2,2); % x of node 2
PRM1(II,12) = NODEDATA(3,2); % x of node 3
PRM1(II,13) = NODEDATA(4,2); % x of node 4
PRM1(II,14) = NODEDATA(5,2); % x of node 5
PRM1(II,15) = NODEDATA(6,2); % x of node 6
PRM1(II,16) = NODEDATA(7,2); % x of node 7
PRM1(II,17) = NODEDATA(8,2); % x of node 8

PRM1(II,18) = NODEDATA(1,3); % y of node 1
PRM1(II,19) = NODEDATA(2,3); % y of node 2
PRM1(II,20) = NODEDATA(3,3); % y of node 3
PRM1(II,21) = NODEDATA(4,3); % y of node 4
PRM1(II,22) = NODEDATA(5,3); % y of node 5
PRM1(II,23) = NODEDATA(6,3); % y of node 6
PRM1(II,24) = NODEDATA(7,3); % y of node 7
PRM1(II,25) = NODEDATA(8,3); % y of node 8

%---Truss Analysis
PLOAD = [9      -1.2*2000-1.6*4000
         11     -1.2*2000-1.6*4000
         13     -1.2*2000-1.6*4000
          8      0
         12      0]; % (kg)

[STRESS_C2 L U_C2] =
ptruss(ELEMDATA2,NODEDATA,PLOAD,NELEM,NNODE,NUF,PDISP,NPLOAD) ;

```

```

[ASTRESSC2, STRESSC2, RC2, ELEMDATA2, KLRC2, UC2] =
LocalSearch(NELEM, NUM, ELEMDATA2, MEMSIZE1, MEMR, L, STRESS_C2, ADISP, U_C2,
FY);

```

```

##### end of case 2 #####

```

```

for HH = 1:NELEM
    [ELEMDATA(HH,4) ID] = max([ ELEMDATA1(HH,4)
ELEMDATA2(HH,4) ]);

    if HH ==1 || HH ==2 || HH ==3 || HH ==4
        PRM1(II,1) = ELEMDATA(HH,4);
    end
    if HH ==5 || HH ==6 || HH ==7 || HH ==8
        PRM1(II,2) = ELEMDATA(HH,4);
    end
    if HH ==9 || HH ==10 || HH ==11 || HH ==12 || HH ==13
        PRM1(II,3) = ELEMDATA(HH,4);
    end

    if ID == 1
        STRESS(HH) = STRESSC1(HH);
        ASTRESS(HH) = ASTRESSC1(HH);
        R(HH) = RC1(HH);
        KLR(HH) = KLRC1(HH);
    end
    if ID == 2
        STRESS(HH) = STRESSC2(HH);
        ASTRESS(HH) = ASTRESSC2(HH);
        R(HH) = RC2(HH);
        KLR(HH) = KLRC2(HH);
    end
end

PRM1(II,1) = max([ ELEMDATA(1,4) ELEMDATA(2,4) ELEMDATA(3,4)
ELEMDATA(4,4) ]);
PRM1(II,2) = max([ ELEMDATA(5,4) ELEMDATA(6,4) ELEMDATA(7,4)
ELEMDATA(8,4) ]);
PRM1(II,3) = max([ ELEMDATA(9,4) ELEMDATA(10,4)
ELEMDATA(11,4) ELEMDATA(12,4) ELEMDATA(13,4) ]);

for BB = 1:4
    ELEMDATA(BB,4) = PRM1(II,1);
end
for BB = 5:8
    ELEMDATA(BB,4) = PRM1(II,2);
end
for BB = 9:13
    ELEMDATA(BB,4) = PRM1(II,3);
end

for XXX = 1:2*NNODE
    U(XXX) = max([U_C1(XXX) U_C2(XXX)]);
end

TOTALWEIGHT = 0;

```

```

for JJ = 1:NELEM
TOTALWEIGHT = TOTALWEIGHT+UWEIGHT*ELEMDATA(JJ,4)*L(JJ);
end

TW(II) = TOTALWEIGHT;

for JJ = 1:NELEM
if (STRESS(JJ) > 0)
LAMDAS(JJ) = ASTRESS(JJ)/STRESS(JJ);
else LAMDAS(JJ) = abs(ASTRESS(JJ))/max([abs(STRESS(JJ))
0.00001]);
end
end

for JJ = 1:NNODE*2
if (U(JJ) > 0)
LAMDAU(JJ) = ADISP/U(JJ);
else LAMDAU(JJ) = ADISP/max([abs(U(JJ)) 0.00001]);
end
end

LAMDA(II) = min([min(LAMDAS) min(LAMDAU)]);

for JJ = 1:NELEM
GSTRESS(JJ) = max([ abs(STRESS(JJ))/abs(ASTRESS(JJ))-1 0]);
end

for JJ = 1:NNODE*2
GDISP(JJ) = max([ (abs(U(JJ))/ADISP)-1 0] );
end

SUMGSTRESS = sum(GSTRESS);
SUMGDISP = sum(GDISP);
GTOTAL(II) = SUMGSTRESS+SUMGDISP;

GCODE(II) = 1;
if GTOTAL(II) >0
GCODE(II) = 0;
end
end
%%

NPASS = 0;
for II = 1:NPOP
if LAMDA(II)>1
NPASS = NPASS+1;
end
end

NFAIL = NPOP-NPASS;

if NPASS == 0
for II = 1:NPOP
FITNESS(II) = -(TW(II)/LAMDA(II)-TW(II));
end
end

```

```

end

LAMDAX = 1;
if NPASS ~= 0
C1 = 0;
for II = 1:NPOP
    if LAMDA(II)>=1
        C1 = C1+1;
        TWPASS(C1) = TW(II);
        LAMDAPASS(C1) = LAMDA(II);
    end
end
[MINTWPASS ID] = min(TWPASS);
LAMDAX = LAMDAPASS(ID);
LAMDAY = mean(LAMDAPASS);
end

%LAMDAX = 1;
if NPASS ~= 0
    for II = 1:NPOP
        if LAMDA(II) > 1
            FITNESS(II) = -TW(II);
        else
            FITNESS(II) = -(LAMDAX*TW(II)/LAMDA(II))-TW(II)-
LAMDAX*TW(II)/LAMDA(II);
        end
    end
end

PRM2(1) = NPASS;
PRM2(2) = NFAIL;
[AAA BBB] = max(FITNESS);
PRM2(3) = TW(BBB);
PRM2(4) = GCODE(BBB);

PRM2(5) = mean(TW);
PRM2(6) = mean(LAMDA);
for II = 1:NPOP
    EFF(II) = LAMDA(II)/TW(II);
end
PRM2(7) = mean(EFF);
PRM2(8) = LAMDA(BBB);

end

```

### ชุดคำสั่งรอง (Script: thirteenbar)

```

function
[NNODE,NELEM,NUF,NPLOAD,NODEDATA,ELEMDATA,PDISP,PLOAD,UWEIGHT,ADISP]
= thirteenbar(XX,YY)
NNODE = 8;           % no. of Node
NELEM = 13;         % no of Element
NUF = 13;           % no. of unknown disp.
NPLOAD = 5;        % no of Point Load

%---node data
%
%      node      x      y      dof1      dof2      gamma
NODEDATA = [1      XX(1)      YY(1)      14      15      0
            2      XX(2)      YY(2)      1      2      0
            3      XX(3)      YY(3)      3      4      0
            4      XX(4)      YY(4)      5      6      0
            5      XX(5)      YY(5)      7      16     0
            6      XX(6)      YY(6)      12     13     0
            7      XX(7)      YY(7)      10     11     0
            8      XX(8)      YY(8)      8      9      0 ];

%---element data
%
%      elem  node1  node2  area  E      ALPHA      dT  dL
ELEMDATA = [1  1  2  0  2.04e6  0  0  0
            2  2  3  0  2.04e6  0  0  0
            3  3  4  0  2.04e6  0  0  0
            4  4  5  0  2.04e6  0  0  0
            5  1  6  0  2.04e6  0  0  0
            6  6  7  0  2.04e6  0  0  0
            7  7  8  0  2.04e6  0  0  0
            8  8  5  0  2.04e6  0  0  0
            9  2  6  0  2.04e6  0  0  0
            10 3  7  0  2.04e6  0  0  0
            11 4  8  0  2.04e6  0  0  0
            12 6  3  0  2.04e6  0  0  0
            13 3  8  0  2.04e6  0  0  0];

%---prescribe disp
%      dof      value
PDISP = [ 14  0
          15  0
          16  0];

%---prescribe point load
%      dof      value

PLOAD = [9      0
          11     0
          13     0
           8     0
          12     0]; % (kg)

% length = cm
% force = kg
UWEIGHT = 7.85E-3; % unit weight (kg/cm3)
ADISP = 2; % allowable displacement (cm)
end

```

## ชุดคำสั่งรอง (Script: ptruss)

```
%--2D TRUSS ANALYSIS; MAIN PROGRAM
%--Naret Limsamphancharoen February 2005
function [STRESS L U] =
ptruss(ELEMDATA,NODEDATA,PLOAD,NELEM,NNODE,NUF,PDISP,NPLOAD)
for I = 1:NNODE
    GAMMA(I) = NODEDATA(I,6)*pi/180;
end
%%

for I = 1:NELEM
    NODE1 = ELEMDATA(I,2); % node1(start node) of element I
    NODE2 = ELEMDATA(I,3); % node2(end node) of element I
    A(I) = ELEMDATA(I,4); % area of element I
    E(I) = ELEMDATA(I,5); % Modulus of Elasticity of element I
    ALPHA(I) = ELEMDATA(I,6); % ALPHA data of element I
    DT(I) = ELEMDATA(I,7); % Delta Temperature of element I
    DL(I) = ELEMDATA(I,8); % Delta Lenngh of element I
    X1 = NODEDATA(NODE1,2);
    Y1 = NODEDATA(NODE1,3);
    X2 = NODEDATA(NODE2,2);
    Y2 = NODEDATA(NODE2,3);
    L(I) = sqrt((X1-X2)^2+(Y1-Y2)^2); % element Length
    if (Y2 >= Y1)
        PHI(I) = acos((X2-X1)/L(I)); % element Angle
    else
        PHI(I) = 2*pi-acos((X2-X1)/L(I));
    end

    G1(I) = GAMMA(NODE1);
    G2(I) = GAMMA(NODE2);
    ID1 = NODEDATA(NODE1,4); % dof(x) of start node
    ID2 = NODEDATA(NODE1,5); % dof(y) of start node
    ID3 = NODEDATA(NODE2,4); % dof(x) of end node
    ID4 = NODEDATA(NODE2,5); % dof(y) of end node
    DOFID(I,1:4) = [ID1 ID2 ID3 ID4];
end
%%

NDOF = 2*NNODE;
K = zeros(NDOF,NDOF);
PO = zeros(NDOF,1);
%%

for I = 1:NELEM
    KBAR = (E(I)*A(I)/L(I))*[1 0 -1 0
                             0 0 0 0
                             -1 0 1 0
                             0 0 0 0];
    POBAR = A(I)*E(I)*(ALPHA(I)*DT(I)+DL(I)/L(I))*[1 0 -1 0]';
    C = cos(PHI(I));
    S = sin(PHI(I));
    C1 = cos(G1(I));
    C2 = cos(G2(I));
    S1 = sin(G1(I));
```

```

S2 = sin(G2(I));
TMATRIX = [C*C1-S*S1    C*S1+S*C1    0    0
           -S*C1-C*S1    -S*S1+C*C1    0    0
           0    0    C*C2-S*S2    C*S2+S*C2
           0    0    -S*C2-C*S2    -S*S2+C*C2];

KE = TMATRIX'*KBAR*TMATRIX;
POE = TMATRIX'*POBAR;

for I1 = 1:4
    for I2 = 1:4
        K(DOFID(I,I1),DOFID(I,I2)) =
K(DOFID(I,I1),DOFID(I,I2))+KE(I1,I2);
    end
end
for I1 = 1:4
    PO(DOFID(I,I1),1) = PO(DOFID(I,I1),1)+POE(I1);
end
end

%%

KFF = K(1:NUF,1:NUF);
KFS = K(1:NUF,NUF+1:NDOF);
KSF = K(NUF+1:NDOF,1:NUF);
KSS = K(NUF+1:NDOF,NUF+1:NDOF);
POF = PO(1:NUF,1);
POS = PO(NUF+1:NDOF,1);
US = PDISP(:,2);
PF = zeros(NUF,1);
%%

if (NPLOAD ~= 0)
for I = 1:NPLOAD
    PF(PLOAD(I,1),1) = PLOAD(I,2);
end
end
%%

UF = inv(KFF)*(PF-POF-KFS*US);
PS = KSF*UF+KSS*US+POS;
U = [UF
     US];
P = [PF
     PS];

%%
for I = 1:NELEM
    for J = 1:4
        UE(J,1) = U(DOFID(I,J),1);
    end

C = cos(PHI(I));
S = sin(PHI(I));

```

```

C1 = cos(G1(I));
C2 = cos(G2(I));
S1 = sin(G1(I));
S2 = sin(G2(I));
EMATRIX = (A(I)*E(I)/L(I))*[-C*C1+S*S1 -C*S1-S*C1 C*C2-S*S2
C*S2+S*C2];
SO = -A(I)*E(I)*(ALPHA(I)*DT(I)+DL(I)/L(I));
AXIAL(I,1) = EMATRIX*UE+SO;
STRESS(I,1) = AXIAL(I,1)/A(I);
end
%%

End

```

### ชุดคำสั่งรอง (Script: selection)

```

function [ID1,ID2] = selection(FITNESS,SCODE)

NPOP = size(FITNESS,2);
%%
switch SCODE
case 1 %----proportional selection
    REWARD = FITNESS;
case 2 %----linear scaling (C=2)
    MINFIT = min(FITNESS);
    AVEFIT = mean(FITNESS);
    MAXFIT = max(FITNESS);
    A = AVEFIT/(MAXFIT-AVEFIT);
    B = (1-A)*AVEFIT;
    CHECK = A*MINFIT+B;
    if (CHECK <= 0)
        A = AVEFIT/(AVEFIT-MINFIT);
        B = (1-A)*AVEFIT;
    end
    for I = 1:NPOP
        REWARD(I) = A*FITNESS(I)+B;
    end
case 3 %----linear ranking selection
    [TRASH,SID] = sort(FITNESS);
    for I = 1:NPOP
        RANK(SID(I)) = NPOP-I+1;
    end
    for I = 1:NPOP
        if (NPOP==1)
            REWARD(I) = 1;
        else
            REWARD(I) = 1.0-(1.0-0.05)*(RANK(I)-1)/(NPOP-1);
        end
    end
end
end

%%
%-----compute boundary
SUMREWARD = sum(REWARD);
PTODO = zeros(1,NPOP);

```

```

    for I = 1:NPOP
    PTODO(I) = REWARD(I)/SUMREWARD;
    end
    A = 0.;
    for I = 1:NPOP
    BOUND(I) = A+PTODO(I);
    A = BOUND(I);
    end

%%
%-----select ID1,ID2
B = rand;
ID1 = 1;
while (B > BOUND(ID1))
    ID1 = ID1+1;
end
ID2 = ID1;

```

### ชุดคำสั่งรอง (Script: mutate)

```

function GEN2= mutate(GEN1,PMUTATE,SLENGTH)
%
NPOP = size(GEN1,1);
GEN2 = GEN1;
for I = 1:NPOP
    for J = 1:SLENGTH
        C = rand;
        if ( C < PMUTATE )
            if (GEN2(I,J) == '1')
                GEN2(I,J) = '0';
            else
                GEN2(I,J) = '1';
            end
        end
    end
end
end
end

```

### ชุดคำสั่งรอง (Script: extract)

```

function [GENE] = extract(POP,SLENGTH,GLEN)

NPOP = size(POP,1);
NGENE = length(GLEN);
for I = 1:NPOP
    ABIT = 1;
    CBIT = 1;
    for J = 1:NGENE
        BBIT = ABIT+GLEN(J)-1;
        DBIT = CBIT+GLEN(J)-1;
        GENE(I,CBIT:DBIT) = POP(I,ABIT:BBIT);
        GENE(I,DBIT+1) = '-';
        ABIT = BBIT+1;
        CBIT = DBIT+2;
    end
end

```

```

        if (ABIT > SLENGTH)
            GENE(I,DBIT+1) = '/';
            GENE(I,DBIT+2) = ':';
        end
        CBIT = DBIT+2;
    end
end
end

```

### ชุดคำสั่งรอง (Script: crossover)

```

function [KID1,KID2] = crossover(DAD,MOM,PCROSS,NCROSS,SLENGTH)
%
KID1 = DAD;
KID2 = MOM;

SPIN = rand;
%%

if (SPIN <= PCROSS)
    XRECORD = zeros(1,NCROSS);
    for I = 1:NCROSS
        XBIT = 0;
        while (XBIT == 0 )
            A = rand;
            XBIT = 1 + fix(A*SLENGTH);
            for J = 1:I
                if (XBIT == XRECORD(J))
                    XBIT = 0;
                end
            end
        end
        if (XBIT > SLENGTH)
            XBIT = SLENGTH ;
        end
        XRECORD(I) = XBIT;
        clear STRINGX1 STRINGX2 STRINGY1 STRINGY2
        STRINGX1 = KID1(1:XBIT);
        STRINGX2 = KID1(XBIT+1:SLENGTH);
        STRINGY1 = KID2(1:XBIT);
        STRINGY2 = KID2(XBIT+1:SLENGTH);
        clear KID1 KID2
        KID1 = strcat(STRINGX1,STRINGY2);
        KID2 = strcat(STRINGY1,STRINGX2);
    end
end
end

```

## ประวัติการศึกษา

ชื่อ	สมศักดิ์ สถิตเกษมสานต์
วันเดือนปีเกิด	19 กรกฎาคม 2511
วุฒิการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขา วิศวกรรมโยธา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.) สาขา วิศวกรรมโยธา (วิศวกรรมโครงสร้าง)
ผลงานทางวิชาการ	บทความ ในการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 13 “การออกแบบโครงสร้างที่เหมาะสมด้วยกระบวนการทางพันธุศาสตร์ (Optimum design of structures by using genetic algorithms)”
ประสบการณ์ทำงาน	บริษัท ธารารมณเณสเดท จำกัด (สิงหาคม 2551 ถึง ปัจจุบัน) บริษัท อินเตอร์เนชั่นแนล เอ็นจิเนียริง แอนด์ คอนซัลแตนท์ จำกัด (มกราคม 2551 ถึง กรกฎาคม 2551) บริษัท โฮมเพลสกรุ๊ป จำกัด(มหาชน) (พฤษภาคม 2546 ถึง ธันวาคม 2550) บริษัท วอเตอร์ ดีเวลล์ฟเม้นท์ คอนซัลเท็นส์ จำกัด (มิถุนายน 2543 ถึง มกราคม 2546) บริษัท น้ำแข็งคอนกรีต(1992) จำกัด (พฤศจิกายน 2541 ถึง พฤษภาคม 2543) บริษัท คอนโซเน่ คอนสตรัคชั่น จำกัด (เมษายน 2538 ถึง ตุลาคม 2541) บริษัท เอส. พี. คอนสตรัคชั่น แอนด์ คอนซัลแตนท์ จำกัด (กรกฎาคม 2537 ถึง มีนาคม 2538) บริษัท ที่ปรึกษาหนึ่งร้อยสิบ จำกัด (เมษายน 2533 ถึง มิถุนายน 2537)