

การออกแบบอย่างเหมาะสมสำหรับสะพานโครงข้อหมุนเหล็กด้วยวิธีฮาร์โมนีเสิร์ช



210808741

CU Thesais 5970240021 thesis / recv: 01082562 13:45:58 / seq: 6

นายปริญญา จันภูตระกูล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2561
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.



5970240021_210808741

Optimum design for steel truss bridges using Harmony Search algorithm

Mr. Paranyu Junpootragool

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Civil Engineering
Department of Civil Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2018
Copyright of Chulalongkorn University



210808741

CD IThesis 5970240021 thesis / recv: 01082562 13:45:58 / seq: 6

ปริญญ์ จันทรตระกูล : การออกแบบอย่างเหมาะสมสำหรับสะพานโครงข้อหมุนเหล็กด้วย
วิธีฮาร์โมนีเสิร์ช. (

Optimum design for steel truss bridges using Harmony Search algorithm)

อ.ที่ปรึกษาหลัก : ผศ. ดร.วัฒนชัย สมิตาการ

โครงข้อหมุนเหล็กเป็นโครงสร้างที่นิยมใช้ทั่วไปในการก่อสร้างสะพาน หลังคา และ
โครงสร้างอื่นๆเนื่องจากเป็นโครงสร้างที่มีน้ำหนักเบาแต่สามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้มาก งานวิจัย
นี้ศึกษาการออกแบบสะพานโครงข้อหมุนเหล็ก 2 มิติเพื่อหาน้ำหนักที่น้อยที่สุดของสะพานโดย
ควบคุมความยาวช่วงและความสูงที่มากที่สุดของสะพาน การออกแบบอย่างเหมาะสมของสะพาน
โครงข้อหมุนเหล็กในที่นี่จะพิจารณาตัวแปรหลักทั้งขนาดหน้าตัดชิ้นส่วนและรูปร่างที่เหมาะสมของ
สะพานโดยใช้วิธีฮาร์โมนีเสิร์ช ซึ่งเลียนแบบการเรียงเรียงทำนองเพลงของนักดนตรี การออกแบบ
สะพานใช้วิธี LRFD และอ้างอิงมาตรฐาน AASHTO



210808741

CU Thesisis 5970240021 thesisis / recv: 01082562 13:45:58 / seq: 6

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

ปีการศึกษา 2561

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

5970240021 : MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEYWORD: optimization, harmony search, steel truss bridge

Paranyu Junpootragool :

Optimum design for steel truss bridges using Harmony Search algorithm .

Advisor: Asst. Prof. Watanachai Smittakorn, Ph.D.

Steel truss structures are widely used in constructions of bridges, roof, and so on because they are light-weighted but capable of carrying heavy loads. This research studies the design of 2-dimensional steel truss bridges and seeking for the bridges with minimum weight within the control of span length and maximum height. Cross-sectional areas and shapes of the bridge are considered as primary variables. Using Harmony Search algorithm which imitates the ways musicians improvise harmony, the optimum design of steel truss bridges is performed according to the LRFD method and AASHTO standard.

Field of Study: Civil Engineering

Student's Signature

Academic Year: 2018

Advisor's Signature



210808741

CD :Thesis 5970240021 thesis / recv: 01082562 13:45:58 / seq: 6

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัฒนชัย สมิตธากร เป็นอย่างสูงที่
กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ และสนับสนุนการดำเนินงานวิจัยเป็นอย่างดี รองศาสตราจารย์ ดร.อัศววัชร
เล่นวารี ที่กรุณาสละเวลามาเป็นประธานกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.
คมวุธ วิศวกรรมศาสตร์ ที่กรุณาสละเวลามาเป็นกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอขอบพระคุณ บิดา
มารดา ที่ให้ความรักและกำลังใจแก่ข้าพเจ้าในทุกๆเรื่อง ครูบาอาจารย์ทุกท่านที่ได้ถ่ายทอดวิชาความรู้
แก่ข้าพเจ้า และขอขอบคุณเพื่อนๆทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือและคำปรึกษาในการจัดทำวิทยานิพนธ์
ฉบับนี้

ปรัชญญา จันฎตระกุล



210808741

CD IThesis 5970240021 thesis / recv: 01082562 13:45:58 / seq: 6

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	2
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม.....	4
2.1 งานวิจัยเกี่ยวกับสะพานโครงข้อหมุนเหล็กที่มีจำนวนชั้นส่วนทั้งหมด 37 ชั้น.....	4
2.2 งานวิจัยเกี่ยวกับสะพานโครงข้อหมุนเหล็กรูปแบบอื่นๆ.....	7
2.3 งานวิจัยเกี่ยวกับวิธีฮาร์โมนิเสิร์ช.....	10
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	12
3.1 รูปแบบของโครงสร้างและตัวแปรที่พิจารณา.....	12
3.1.1 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการออกแบบ.....	12
3.1.2 รูปร่างของสะพานโครงข้อหมุนเหล็ก.....	13
3.2 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์และเงื่อนไขข้อจำกัดต่างๆ.....	14
3.2.1 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์.....	14
3.2.2 ข้อจำกัด.....	14



210808741

CD :Thesis 5970240021 thesis / rev: 01082562 13:45:58 / seq: 6

3.2.2.1	องค์อาคารรับแรงดึง(tension member).....	15
3.2.2.2	องค์อาคารรับแรงอัด (compression member).....	16
3.2.3	น้ำหนักบรรทุกกระทำต่อสะพาน.....	17
3.2.3.1	น้ำหนักรถบรรทุก.....	17
3.2.3.2	น้ำหนักบรรทุกกระทันหัน (impact load).....	19
3.2.4	ขอบเขตตัวแปร.....	20
3.3	การวิเคราะห์โครงสร้าง.....	20
3.4	วิธีฮาร์โมนีเสิร์ช (Harmony Search).....	21
3.4.1	การประยุกต์วิธีฮาร์โมนีเสิร์ชเข้ากับปัญหางานวิจัย.....	28
บทที่ 4	ผลการศึกษา.....	29
4.1	กรณีศึกษาที่ 1.....	31
4.1.1	ผลการออกแบบรูปร่างที่เหมาะสม.....	34
4.1.2	ผลการออกแบบขนาดที่เหมาะสม.....	37
4.1.3	การวิเคราะห์โครงสร้างด้วยโปรแกรม Staad Pro.....	38
4.2	กรณีศึกษาที่ 2.....	42
4.3	กรณีศึกษาที่ 3.....	47
4.4	กรณีศึกษาที่ 4.....	49
4.5	กรณีศึกษาที่ 5.....	51
บทที่ 5	สรุป.....	55
5.1	สรุปผล.....	55
5.2	ข้อเสนอแนะ.....	56
บรรณานุกรม.....		57
ประวัติผู้เขียน.....		59



210808741

สารบัญรูปภาพ

รูป 2.1	สะพานโครงข้อหมุนเหล็กก่อน(a)และหลัง(b)ทำการวิเคราะห์หารูปปร่างที่เหมาะสม	4
รูป 2.2	สะพานโครงข้อหมุนเหล็กก่อนหารูปปร่างที่เหมาะสม	5
รูป 2.3	สะพานโครงข้อหมุนเหล็กก่อนทำการวิเคราะห์	5
รูป 2.4	สะพานโครงข้อหมุนเหล็กที่หลังทำการวิเคราะห์	6
รูป 2.5	สะพานโครงข้อหมุนเหล็กก่อนและหลังวิเคราะห์	6
รูป 2.6	สะพานโครงข้อหมุนเหล็กที่มีจำนวนชิ้นส่วน 65 ชิ้น	7
รูป 2.7	สะพานโครงข้อหมุนเหล็กที่มีจำนวนชิ้นส่วน 81 ชิ้น	7
รูป 2.8	สะพานรูปปร่างโค้งโครงสร้างเหล็กชนิดโครงถัก	8
รูป 2.9	สะพานโครงข้อหมุนเหล็กที่มีจำนวนชิ้นทั้งหมด 21 ชิ้น	8
รูป 2.10	สะพานโครงข้อหมุนเหล็กที่มีชิ้นส่วนจำนวน 113 ชิ้น	9
รูป 2.11	สะพานโครงข้อหมุนเหล็กที่มีจำนวนชิ้นส่วนทั้งหมด 77 ชิ้นส่วน	9
รูป 3.1	รูปทั่วไปแสดงตัวแปรที่เกี่ยวข้องของสะพานที่จะใช้ในการวิเคราะห์	12
รูป 3.2	สะพานรูปแบบที่ 1 ยาว 10 เมตร	13
รูป 3.3	สะพานรูปแบบที่ 1 ยาว 60 เมตร	13
รูป 3.4	สะพานรูปแบบที่ 2	13
รูป 3.5	สะพานรูปแบบที่ 3	13
รูป 3.6	สะพานรูปแบบที่ 4	14
รูป 3.7	รายละเอียดน้ำหนักของรถบรรทุกประเภท H และ HS	18
รูป 3.8	น้ำหนักบรรทุกเคลื่อนที่บนสะพาน	20
รูป 3.9	Harmony Memory Matrix	22
รูป 3.10	ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมจาวา	26
รูป 3.11	Flowchart วิธี HS	27
รูป 3.12	Harmony Memory Matrix	28



210808741

รูป 4.1 สะพานโครงข้อหมุนเหล็กรูปแบบที่ 1	31
รูป 4.2 รูปร่างสะพานก่อนและหลังหารูปร่างที่เหมาะสม	34
รูป 4.3 รูปร่างสะพานก่อนและหลังหารูปร่างที่เหมาะสมด้วยวิธี RO.....	35
รูป 4.4 รูปร่างสะพานก่อนและหลังหารูปร่างที่เหมาะสมด้วยวิธี SBO.....	35
รูป 4.5 รูปร่างสะพานก่อนและหลังหารูปร่างที่เหมาะสมด้วยวิธี SGA.....	36
รูป 4.6 รูปร่างสะพานก่อนและหลังหารูปร่างที่เหมาะสมด้วยโปรแกรมจาวา	36
รูป 4.7 การใส่หน้าหนักบรรทุกทุกในกรณีศึกษาที่ 1 ด้วยโปรแกรม Staad Pro.....	38
รูป 4.8 การวิเคราะห์กรณีศึกษาที่ 1 ด้วยโปรแกรม Staad Pro.....	39
รูป 4.9 การแสดงชิ้นส่วนหน้าตัดของกรณีศึกษาที่ 1 ในโปรแกรม Staad Pro.....	39
รูป 4.10 สะพานโครงข้อหมุนเหล็กรูปแบบที่ 1	42
รูป 4.11 หน้าหนักบรรทุกแต่ละล้อกระทำลงพื้นสะพาน	43
รูป 4.12 การแบ่งกลุ่มหน้าตัดของสะพานโครงข้อหมุนเหล็กในกรณีศึกษาที่ 2	43
รูป 4.13 รูปร่างที่เหมาะสมของกรณีศึกษาที่ 2.....	46
รูป 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างหน้าหนักสะพานและจำนวนรอบการวนซ้ำ.....	46
รูป 4.15 สะพานโครงข้อหมุนเหล็กรูปแบบที่ 2.....	47
รูป 4.16 รูปร่างสะพานที่เหมาะสม	48
รูป 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างหน้าหนักสะพานและจำนวนรอบการวนซ้ำ.....	49
รูป 4.18 สะพานโครงข้อหมุนเหล็กรูปแบบที่ 3	49
รูป 4.19 รูปร่างที่ดีที่สุดของกรณีศึกษาที่ 4	51
รูป 4.20 การลู่เข้าสู่คำตอบของกรณีศึกษาที่ 4.....	51
รูป 4.21 สะพานโครงข้อหมุนเหล็กรูปแบบที่ 4	51
รูป 4.22 การแบ่งกลุ่มหน้าตัดของสะพานโครงข้อหมุนเหล็กในกรณีศึกษาที่ 5	52
รูป 4.23 รูปร่างที่ดีที่สุดของกรณีศึกษาที่ 5	53
รูป 4.24 การลู่เข้าสู่คำตอบของกรณีศึกษาที่ 5.....	54



210808741

สารบัญตาราง

ตาราง 3.1	น้ำหนักบรรทุกมาตรฐานของรถบรรทุก	17
ตาราง 3.2	เปอร์เซ็นต์ลดน้ำหนักบรรทุกต่อจำนวนช่องจราจร	19
ตาราง 3.3	ขอบเขตตัวแปร	20
ตาราง 3.4	ผลการหาค่าที่เหมาะสมด้วยวิธี ฮาร์โมนีเสิร์ช	25
ตาราง 3.5	สรุปผลลัพธ์ที่ได้จากการเปรียบเทียบ benchmark ด้วยโปรแกรมจาวา	26
ตาราง 4.1	การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกรณีศึกษาที่ 1 และ 2	30
ตาราง 4.2	การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกรณีศึกษาที่ 3	30
ตาราง 4.3	การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกรณีศึกษาที่ 4	30
ตาราง 4.4	การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกรณีศึกษาที่ 5	30
ตาราง 4.5	ข้อมูลหน้าตัดของเหล็กฉาก	31
ตาราง 4.6	เงื่อนไขสะพานโครงข้อหมุนเหล็ก	34
ตาราง 4.7	การเปรียบเทียบคำตอบที่ดีที่สุดของกรณีศึกษาที่ 1 กับงานวิจัยก่อนหน้า	37
ตาราง 4.8	การเปรียบเทียบแรงภายใน	40
ตาราง 4.9	การเปรียบเทียบการกระจัดของโหนด (nodal displacement)	41
ตาราง 4.10	ข้อมูลเหล็กหน้าตัดรูปปีกกว้าง	44
ตาราง 4.11	คำตอบที่ดีที่สุดของกรณีศึกษาที่ 2	45
ตาราง 4.12	คำตอบที่ดีที่สุดของกรณีศึกษาที่ 3	47
ตาราง 4.13	คำตอบที่ดีที่สุดของกรณีศึกษาที่ 4	50
ตาราง 4.14	คำตอบที่ดีที่สุดของกรณีศึกษาที่ 5	52

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

โครงสร้างเหล็กนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งในอดีตและปัจจุบัน โครงสร้างเหล็กใช้ได้กับโครงสร้างหลากหลาย ตัวอย่างเช่น ที่พักอาศัย โกดังเก็บของ อาคารสูง และสะพาน ข้อดีของเหล็กมีมากมาย เช่น น้ำหนักเบา ติดตั้งสะดวกและรวดเร็ว มีความแข็งแรงทนทาน รับน้ำหนักได้มาก และสามารถออกแบบได้หลากหลาย แต่ก็มีข้อเสียเช่น ต้องระมัดระวังเรื่องการเกิดสนิมและความร้อนโดยมักจะมีการเคลือบสารที่ช่วยกันสนิม หรือฉีดยาสารเคมีเช่น โฟม ที่ช่วยต้านทานการเกิดสนิม นอกจากนี้ยังรวมถึงการเชื่อมที่ต้องใช้ผู้มีประสบการณ์ในการเชื่อมเพื่อให้ได้งานออกมามีคุณภาพและมีความสวยงาม และวัสดุเหล็กส่วนใหญ่มีราคาสูงซึ่งทำให้ต้นทุนเมื่อเทียบกับโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กนั้น โครงสร้างเหล็กจะมีราคาสูงกว่า

สะพานเป็นโครงสร้างหนึ่งที่น่าสนใจโดยใช้โครงสร้างเหล็ก สะพานโครงสร้างเหล็กพบเห็นได้มากมายทั้งในและต่างประเทศ ข้อดีของสะพานโครงสร้างเหล็กคือสามารถทนต่อแผ่นดินไหวและแรงสั่นสะเทือนได้ดีเนื่องจากเหล็กมีความเหนียวและมีแรงดึง แรงเฉือนสูง รวมทั้งขั้นตอนการติดตั้งและขนส่งสามารถทำได้สะดวกอีกด้วย

โครงสร้างรูปแบบโครงถักเป็นรูปแบบที่นิยมใช้กับสะพาน ซึ่งข้อดีของโครงถักคือเป็นโครงสร้างที่มีน้ำหนักเบาแต่สามารถรับน้ำหนักได้มากและมีช่วงวางพาดได้กว้าง สามารถออกแบบรูปร่างได้หลากหลายแบบและช่วยประหยัดโครงสร้างได้มาก ทางผู้วิจัยจึงได้นำรูปแบบโครงถักมาใช้ในการออกแบบสะพานโครงข้อหมุนเหล็กต่อไป

ในปัจจุบันมีวิธีการออกแบบที่เหมาะสมโดยนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการคำนวณมากมายหลายวิธีเพื่อหาค่าที่เหมาะสม โดยการหาน้ำหนักที่น้อยที่สุดของสะพานโครงข้อหมุนเหล็ก ซึ่งสามารถหาได้หลายวิธี เช่น วิธีคำนวณเชิงพันธุกรรมที่ใช้กระบวนการกลายพันธุ์ (mutation) และผ่าเหล่า (crossover) วิธีหึ่งซึ่งใช้การเลียนแบบวิธีการหาอาหารของฝูงผึ้ง วิธีหึ่งห้อยที่เลียนแบบพฤติกรรมการกระพริบแสงของหิ่งห้อยในการหาคู่สืบพันธุ์และการหาอาหารของหิ่งห้อยหรือวิธีฮาร์โมนีเสิร์ช (HS) ซึ่งเลียนแบบวิธีการแต่งเสียงดนตรีโดยไม่ได้เตรียมมาก่อน (improvise) ของนักดนตรีมาใช้ เป็นต้น ทั้งนี้แต่ละวิธีจะมีข้อดีข้อเสียที่โดดเด่นแตกต่างกันไป

งานวิจัยนี้เลือกใช้วิธีฮาร์โมนีเสิร์ชในการออกแบบเพื่อหาน้ำหนักที่น้อยที่สุดของสะพานโครงข้อหมุนเหล็ก เนื่องจากเป็นวิธีที่สามารถประยุกต์ใช้ได้หลากหลายและมีประสิทธิภาพดี



210808741

CD :Thesis 5970240021 thesis / rev: 01082562 13:45:58 / seq: 6

1.2 วัตถุประสงค์

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาและพัฒนาการออกแบบอย่างเหมาะสมของสะพานโครงข้อหมุนเหล็กโดยพิจารณาทั้งขนาดหน้าตัดของชิ้นส่วนและรูปร่างของสะพานโครงข้อหมุนเหล็กอย่างเหมาะสมด้วยวิธีฮาร์โมนีเสิร์ชและทำการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบสะพานโครงข้อหมุนเหล็ก

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีขอบเขตดังต่อไปนี้

1. โครงสร้างที่จะนำมาใช้ในการศึกษาคือสะพานโครงข้อหมุนเหล็กโดยวิเคราะห์โครงสร้างในระนาบ 2 มิติ
2. ควบคุมความยาวของช่วงระยะ (span) และความสูงที่มากที่สุดที่เป็นไปได้ของสะพาน
3. คำนวณหาขนาด (size) และรูปร่าง (shape) ที่เหมาะสมที่สุดของโครงสร้าง
4. วิธีการหาคำตอบที่เหมาะสมที่เลือกใช้คือ วิธีฮาร์โมนีเสิร์ช
5. งานวิจัยนี้พิจารณาการออกแบบเฉพาะชิ้นส่วน (member) และไม่พิจารณาการออกแบบรอยต่อ (joint)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ทำให้ทราบขนาดหน้าตัดของชิ้นส่วนสะพานที่เหมาะสมในการใช้งานและทราบรูปร่างที่เหมาะสมของสะพานโครงข้อหมุนเหล็กด้วยวิธีฮาร์โมนีเสิร์ชและสามารถเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ภาษาจาวาเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ออกแบบสะพานโครงข้อหมุนเหล็ก

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและงานวิจัยที่ผ่านมา
2. ศึกษาการเขียนโปรแกรมภาษาจาวา
3. เขียนโปรแกรมภาษาจาวาสำหรับการออกแบบอย่างเหมาะสมของสะพานโครงข้อหมุนเหล็ก
4. ทดสอบโปรแกรมและแก้ไขโปรแกรมให้มีความถูกต้องแม่นยำ

5. วิเคราะห์กรณีศึกษาและคำนวณหาขนาดของชิ้นส่วนและรูปร่างที่เหมาะสมของโครงสร้างตัวอย่าง
6. สรุปลงงานวิจัย
7. เขียนงานวิจัยและจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์



210808741

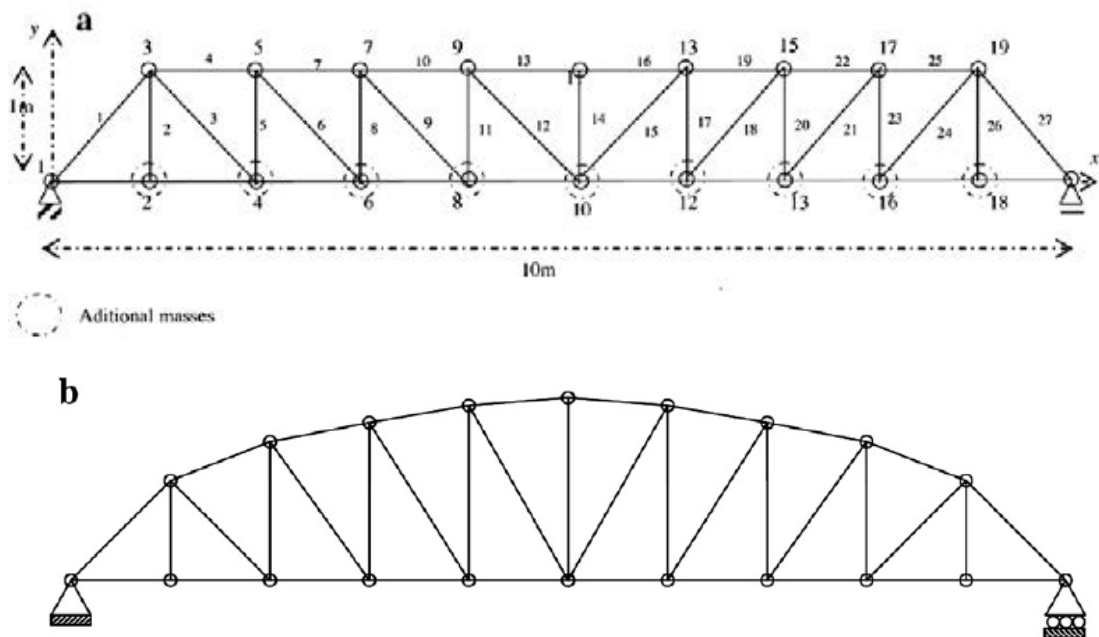
CU Thesais 5970240021 thesais / recv: 01082562 13:45:58 / seq: 6

บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม

ในบทนี้กล่าวถึงงานวิจัยที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับวิธีการออกแบบอย่างเหมาะสมของสะพานโครงข้อหมุนเหล็กซึ่งมีรูปแบบและวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่แตกต่างกัน โดยแต่ละวิธีจะมีเงื่อนไขข้อจำกัดและขั้นตอนการหาค่าที่เหมาะสมที่เป็นรูปแบบเฉพาะของแต่ละวิธีนั้นๆ ดังต่อไปนี้

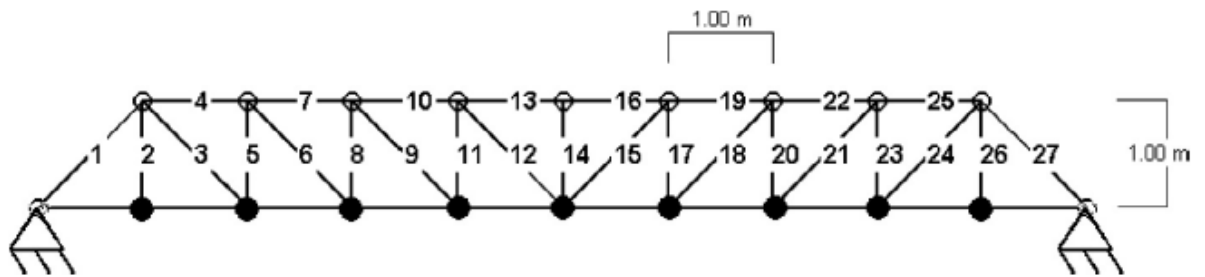
2.1 งานวิจัยเกี่ยวกับสะพาน โครงข้อหมุนเหล็กที่มีจำนวนชิ้นส่วนทั้งหมด 37 ชิ้น

Kaveh [1] ใช้วิธีรังสี (Ray optimization) หาขนาดและรูปร่างที่เหมาะสมของโครงสร้างชนิดโครงถัก ซึ่งวิธีรังสีใช้หลักการเลียนแบบการตกกระทบและหักเหของแสง โดยวิเคราะห์น้ำหนักที่น้อยที่สุดของโครงสร้าง ตัวอย่างหนึ่งในงานวิจัยคือโครงข้อหมุนเหล็กที่มีชิ้นส่วน 37 ชิ้นส่วนซึ่งวิเคราะห์ได้น้ำหนักเท่ากับ 364.04 กิโลกรัมด้วยวิธีรังสีซึ่งหาค่าน้ำหนักได้น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับวิธีอื่น รวมถึงหารูปร่างที่เหมาะสมออกมาดังรูป โดยรูปที่ 2.1(a) เป็นรูปก่อนทำการวิเคราะห์หารูปร่างที่เหมาะสมและรูปที่ 2.1(b) เป็นรูปร่างที่ได้หลังวิเคราะห์หารูปร่างที่เหมาะสม



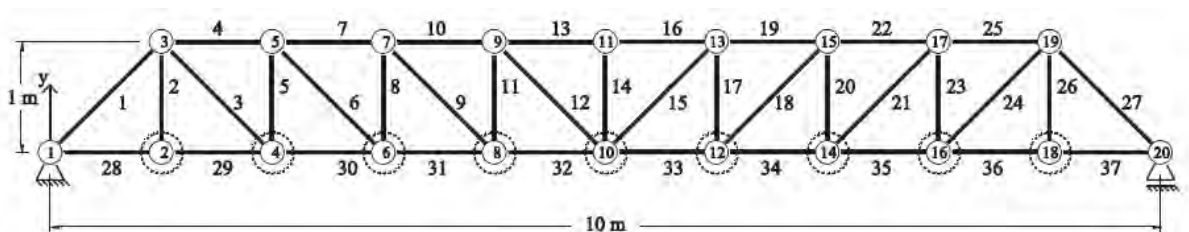
รูป 2.1 สะพานโครงข้อหมุนเหล็กก่อน(a)และหลัง(b)ทำการวิเคราะห์หารูปร่างที่เหมาะสม
ที่มา,[1]

Gonçaves [2] หาค่าที่เหมาะสมด้วยวิธีเมตะฮิวริสติกที่ชื่อว่า Search group algorithm(SGA) โดยทำการหาขนาด รูปปร่าง และ topology ซึ่งทำการหาน้ำหนักเหล็กที่น้อยที่สุดของโครงสร้างชนิดโครงถักโดยมี 4 ข้อจำกัดคือ ความถี่ธรรมชาติ, ความเค้น, การกระจัด และการโก่ง ซึ่งวิธีนี้สามารถหาน้ำหนักที่น้อยที่สุดของโครงสร้างได้ 5 จาก 6 โครงสร้างที่ทำการศึกษาในงานวิจัยนี้ โดยหนึ่งในตัวอย่างงานวิจัยนี้คือการหาน้ำหนักเหล็กที่น้อยที่สุดของโครงข้อหมุนเหล็กที่มีชิ้นส่วนจำนวน 37 ชิ้นดังแสดงในรูป 2.2 ซึ่งผลคือได้น้ำหนักที่น้อยที่สุดเท่ากับ 359.93 กิโลกรัม

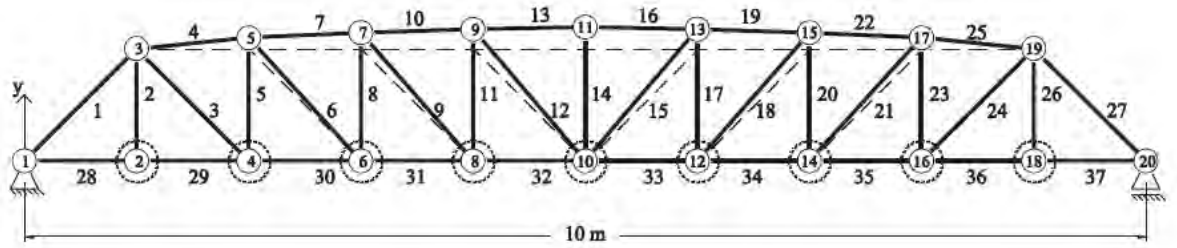


รูป 2.2 สะพานโครงข้อหมุนเหล็กก่อนหารูปปร่างที่เหมาะสม
ที่มา, [2]

Farshchin [3] หาค่าที่เหมาะสมด้วยวิธี school-based optimization (SBO) ซึ่งเป็นวิธีที่พัฒนามาจากวิธี modified teaching-learning-based ซึ่งมีหลักการอ้างอิงจากโรงเรียนซึ่งมีหลายห้องเรียนและมีจำนวนคุณครูหลายคนโดยสลับเปลี่ยนหมุนเวียนคุณครูไปสอนในแต่ละห้องเรียน งานวิจัยนี้หาขนาดและรูปปร่างที่เหมาะสมของโครงสร้างชนิดโครงถักและวิเคราะห์หาน้ำหนักที่น้อยที่สุด หนึ่งในตัวอย่างงานวิจัยคือวิเคราะห์โครงข้อหมุนเหล็กที่มีจำนวนชิ้นส่วนทั้งหมด 37 ชิ้นเพื่อหาน้ำหนักที่น้อยที่สุดและรูปปร่างที่เหมาะสมดังแสดงในรูปที่ 2.3 และ 2.4

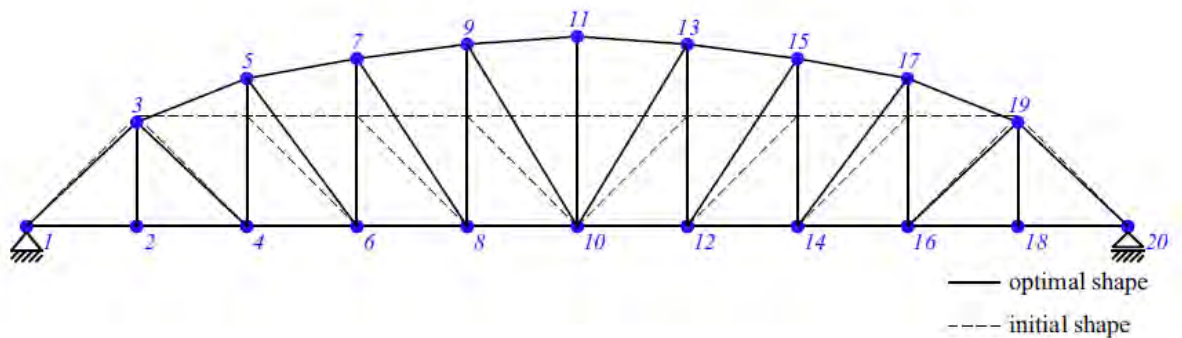


รูป 2.3 สะพานโครงข้อหมุนเหล็กก่อนทำการวิเคราะห์
ที่มา, [3]



รูป 2.4 สะพานโครงข้อหมุนเหล็กที่หลังทำการวิเคราะห์
ที่มา, [3]

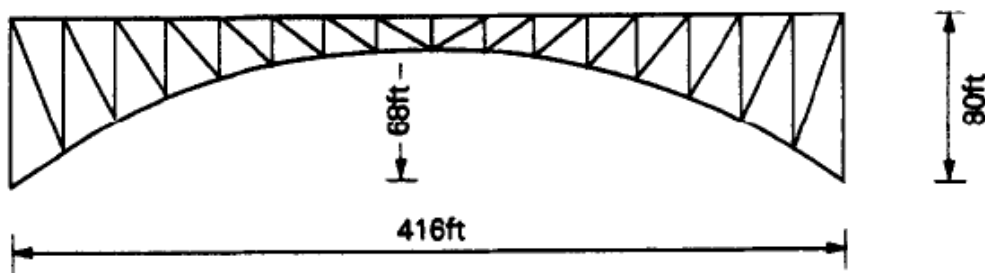
Lieu [4] ใช้อัลกอริทึม novel adaptive hybrid evolutionary firefly (AHEFA) ซึ่งเป็นอัลกอริทึมที่ผสมระหว่างวิธี differential evolution (DE) และวิธีหิ่งห้อย ในการหาขนาดและรูปร่างที่เหมาะสมของโครงสร้างชนิดโครงถัก ซึ่งทำการทดลองกับ 6 ตัวอย่างโดยหนึ่งในงานวิจัยนี้คือการวิเคราะห์หาขนาดและรูปร่างของโครงข้อหมุนเหล็กที่มีชิ้นส่วนจำนวน 37 ชิ้นดังแสดงในรูป 2.5 ซึ่งทำให้ได้น้ำหนักที่น้อยที่สุดออกมาเท่ากับ 359.8121 กิโลกรัม และได้รูปร่างที่เหมาะสมออกมา



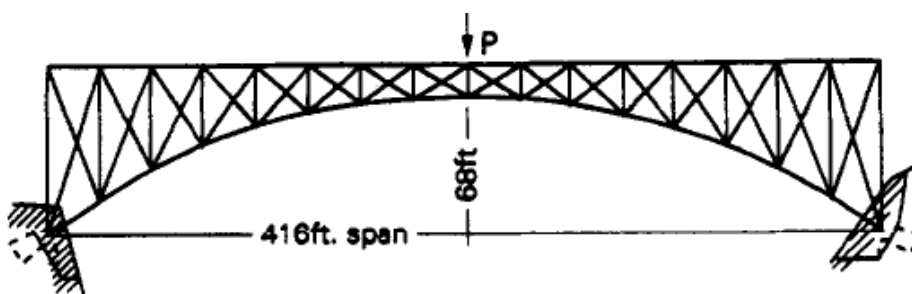
รูป 2.5 สะพานโครงข้อหมุนเหล็กก่อนและหลังวิเคราะห์
ที่มา, [4]

2.2 งานวิจัยเกี่ยวกับสะพานโครงข้อหมุนเหล็กรูปแบบอื่นๆ

Nakib [5] หาค่าที่เหมาะสมด้วยวิธี deterministic และ วิธี reliability-based วิธี deterministic จะทดลองกับโครงข้อหมุนเหล็กที่มีจำนวนชั้นทั้งหมด 65 ชั้นดังแสดงในรูป 2.6 ซึ่งหาน้ำหนักเหล็กที่น้อยที่สุดโดยมี 3 ข้อจำกัด ได้แก่ ความเค้น การกระจัด และการโก่งตัว โดยแบ่งวิธีเป็นสองแบบได้แก่ linked และ unlinked variable ซึ่งผลที่ได้ แบบ linked variable สามารถประหยัดน้ำหนักเหล็ก 50.62 % ขณะที่แบบที่สอง unlinked variable สามารถประหยัดน้ำหนักเหล็กได้ 67.21 % ในส่วนของวิธี reliability-based จะทำการหาน้ำหนักเหล็กที่น้อยที่สุดและโอกาสน้อยที่สุดที่โครงสร้างสามารถพังได้ โดยทดลองกับโครงข้อหมุนเหล็กที่มีจำนวนชั้น 81 ชั้นดังแสดงในรูป 2.7 ขั้นตอนวิธีหาค่าที่เหมาะสม ในการคำนวณจะแบ่งเป็นสองส่วนได้แก่ชั้นส่วนที่เปราะ (brittle) และชั้นส่วนที่เหนียว (ductile) ในชั้นส่วนที่เปราะ สามารถประหยัดเหล็กได้ 38.34 % ขณะที่ชั้นส่วนที่เหนียวสามารถประหยัดเหล็กได้ 24.91 %

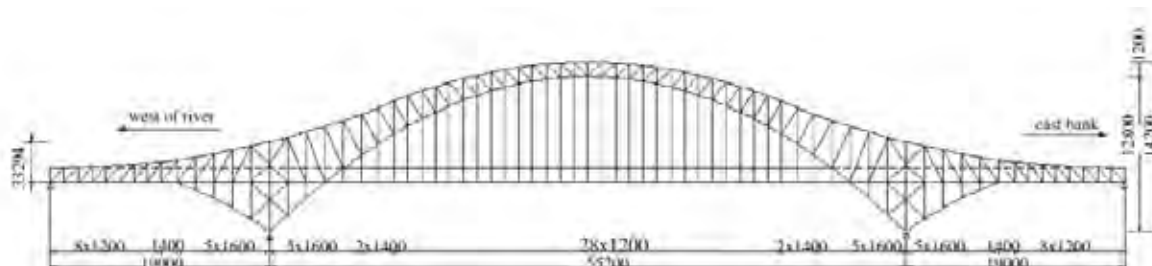


รูป 2.6 สะพานโครงข้อหมุนเหล็กที่มีจำนวนชั้นส่วน 65 ชั้น
ที่มา, [5]



รูป 2.7 สะพานโครงข้อหมุนเหล็กที่มีจำนวนชั้นส่วน 81 ชั้น
ที่มา, [5]

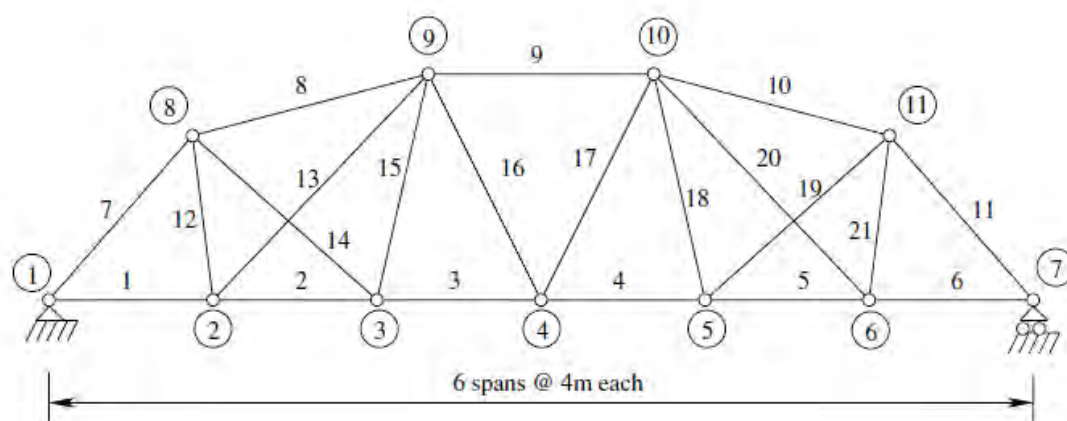
Cheng [6] ได้ทำการออกแบบหาค่าที่เหมาะสมของสะพานรูปร่างโค้งโครงสร้างเหล็กชนิดโครงถักดังแสดงในรูป 2.8 ด้วยวิธีคำนวณเชิงพันธุกรรมซึ่งคำนวณหาน้ำหนักเหล็กที่น้อยที่สุด โดยมี 2 ข้อจำกัด ได้แก่ ความเค้นและการโก่ง รวมถึงการนำวิธี finite element เข้ามาช่วยในการแก้ปัญหา implicit constraint function และ implicit objective function ซึ่งผลที่ได้ สามารถลดน้ำหนักเหล็กได้ 45.5%



รูป 2.8 สะพานรูปร่างโค้งโครงสร้างเหล็กชนิดโครงถัก

ที่มา, [6]

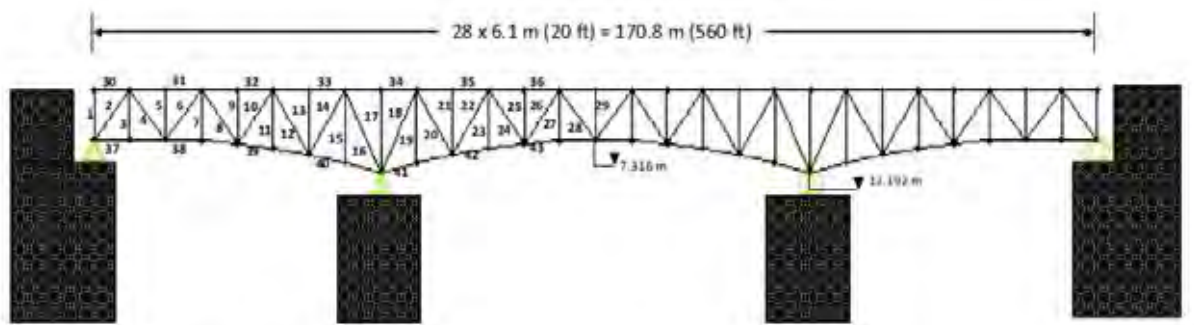
Kripakaran [7] หาค่าที่เหมาะสมด้วยวิธี novel hybrid ซึ่งประกอบด้วย 2 อัลกอริทึมหลัก คือ clustering technique และ local search โดยทำการหาขนาดและรูปร่างที่เหมาะสมของโครงขั้มนเหล็กที่มีชิ้นส่วนจำนวน 21 ชิ้นดังแสดงในรูป 2.9 โดยมี 2 ข้อจำกัด ได้แก่ ความเค้นและการกระจัด



รูป 2.9 สะพานโครงขั้มนเหล็กที่มีจำนวนชิ้นทั้งหมด 21 ชิ้น

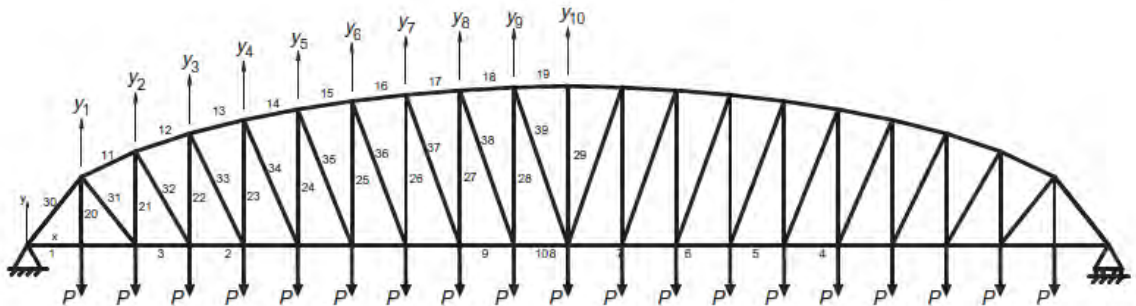
ที่มา, [7]

Hasançebi [8] ได้ทำการหาขนาดที่เหมาะสมด้วยวิธี metaheuristic ที่ชื่อว่า adaptive dimensional search (ADS) โดยคำนวณหาน้ำหนักเหล็กที่น้อยที่สุดของโครงถักซึ่งมี 3 ข้อจำกัด ได้แก่ ความเค้น อัตราส่วนความชะลูด และการกระจัด ซึ่งทดลองกับ 5 ตัวอย่างของโครงสร้างเหล็กชนิดโครงถัก หนึ่งในตัวอย่างคือการวิเคราะห์หาน้ำหนักที่น้อยที่สุดของโครงข้อหมุนเหล็กที่มีจำนวนชิ้นส่วนทั้งหมด 113 ชิ้นดังแสดงในรูป 2.10 ได้น้ำหนักที่น้อยที่สุดเท่ากับ 82626.23 กิโลกรัม โดยนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับวิธีอื่นๆ เช่น วิธีคำนวณเชิงพันธุกรรม เป็นต้น



รูป 2.10 สะพานโครงข้อหมุนเหล็กที่มีชิ้นส่วนจำนวน 113 ชิ้น
ที่มา, [8]

Ahrari [9] หาค่าที่เหมาะสมด้วยวิธี Fully Stressed Design Evolution Strategy (FSD-ES) ซึ่งเป็นวิธีที่นำข้อดีของวิธี Fully Stressed Design และการค้นหาทั้งหมด (global search) ของวิธีวิวัฒนาการ (Evolutionary Algorithms) โดยหาขนาดและรูปร่างที่เหมาะสมของโครงสร้างชนิดโครงถัก หนึ่งในตัวอย่างของงานวิจัยนี้คือวิเคราะห์หาน้ำหนักที่น้อยที่สุดของโครงข้อหมุนเหล็กที่มีจำนวน 77 ชิ้นส่วนดังแสดงในรูป 2.11 ซึ่งผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Fully Stressed Design Evolution Strategy นั้นได้น้ำหนัก 139306 กิโลกรัม เมื่อเทียบกับการวิเคราะห์ด้วยวิธีการหาค่าที่เหมาะสมวิธีอื่นแล้ว วิธี FSD-ES สามารถหาน้ำหนักได้เบาที่สุด



รูป 2.11 สะพานโครงข้อหมุนเหล็กที่มีจำนวนชิ้นส่วนทั้งหมด 77 ชิ้นส่วน
ที่มา, [9]

Gil [10] ทำการหาขนาดและรูปร่างที่เหมาะสมของโครงสร้างชนิดโครงถัก โดยวิเคราะห์หาขนาดด้วยวิธี Fully stress design และหารูปร่างที่เหมาะสมด้วยวิธี conjugate gradient ซึ่งในงานวิจัยได้ยกตัวอย่างการวิเคราะห์สะพานในอดีตซึ่งแต่ละสะพานนั้นเมื่อทำการวิเคราะห์น้ำหนักที่น้อยที่สุดนั้น สามารถลดน้ำหนักสะพานลงได้อย่างมีนัยสำคัญ

สุนิสสา [11] ศึกษาและพัฒนาการคำนวณออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดสำหรับโครงถักเหล็ก ระบายที่มีพฤติกรรมเชิงเส้น และโครงข้อแข็งเหล็ก ระบายที่มีพฤติกรรมไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิตด้วยวิธีอีวิริสติก ด้วยวิธี ASD และ LRFD เพื่อหาปริมาตรรวมขององค์อาคารทั้งโครงสร้างที่น้อยที่สุด ผลที่ได้พบว่าสามารถลดปริมาตรโครงถักเหล็กได้ประมาณ 2.58 เปอร์เซ็นต์ และในโครงข้อแข็งเหล็กได้ 3.73 และ 16.38 เปอร์เซ็นต์

วรนาถ [12] คำนวณหาปริมาตรเหล็กที่น้อยที่สุดด้วยวิธีอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม โดยทดลองกับโครงถักเหล็กที่มีพฤติกรรมแบบเชิงเส้นและไม่เชิงเส้น ด้วยวิธี ASD และ LRFD ผลลัพธ์ที่ได้พบว่าวิธีอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมสามารถให้ค่าที่ได้จากการออกแบบโดยให้โครงสร้างที่มีขนาดเล็กและเบา ลง 20 – 30 % เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการออกแบบที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีงานสมมติ

2.3 งานวิจัยเกี่ยวกับวิธีฮาร์โมนีเสิร์ช

Cheng [13] พัฒนาวิธีฮาร์โมนีเสิร์ชโดยแทนที่ขั้นตอนการสุ่มใหม่ (randomization) ในวิธี HS ด้วยวิธี PSO และ neighbourhood search ซึ่งเรียกววิธี HS ที่พัฒนาใหม่ว่า Hybrid Harmony Search (HHS) โดยทดลองกับ 6 ปัญหาแบบตัวแปรไม่ต่อเนื่องภายในเงื่อนไขที่ต่างกัน ผลลัพธ์ที่ได้พบว่า วิธี HHS สามารถให้น้ำหนักที่เบากว่าวิธี HS เนื่องจากมีความสมดุลระหว่าง exploration และ exploitation และเข้าสู่คำตอบได้เร็วกว่า

อัฐพล [14] ใช้วิธีฮาร์โมนีเสิร์ชในการหาค่าต้นทุนที่ประหยัดที่สุดสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ทดลองกับปัญหาชนิดตัวแปรไม่ต่อเนื่อง ใช้ค่าตัวแปร HMCR, HMS และ PAR เท่ากับ 0.75, 20 และ 0.45 ตามลำดับ ผลลัพธ์ที่ได้พบว่า หน้าตัดคานและเสาที่รับโมเมนต์ดัดจะมีค่าความกว้างน้อย และควมมีค่าความลึกมาก เมื่อเพิ่มค่าความกว้างและความลึกในอัตราส่วนที่เท่ากัน การเพิ่มความลึกจะสามารถรับโมเมนต์ได้มากกว่า ทำให้ประหยัดต้นทุนได้มากกว่า

Degertekin [15] พัฒนาวิธีฮาร์โมนีเสิร์ชใหม่ 2 วิธี ชื่อว่า efficient Harmony Search (EHS) และ Self Adaptive Harmony Search (SAHS) เพื่อหาขนาดที่เหมาะสมที่สุดสำหรับโครงถักเหล็ก โดยวิธี EHS มีขั้นตอนการทำงานเหมือนวิธี HS แต่แตกต่างกันที่ขั้นตอนการหาค่าตอบของHM ใหม่ โดยจะทำการอัปเดตค่า PAR และ bw ระหว่างกระบวนการค้นหา วิธี SAHS เหมือนวิธี EHS

แต่จะนำเอาค่า bw ออก ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองกับ 4 ตัวอย่าง พบว่าน้ำหนักที่ได้จากวิธี EHS และ SAHS มีค่าน้อยกว่า วิธี HS และวิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบอื่นๆ

Maheri [16] พัฒนาวิธีฮาร์โมนีเสิร์ชเพื่อแก้ปัญหาเรื่องจุด local optima ชื่อว่า Enhanced Harmony Search (EHS) โดยหาน้ำหนักที่น้อยที่สุดของปัญหาทั้ง 4 ตัวอย่าง ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้พบว่า วิธี EHS ได้น้ำหนักที่น้อยกว่าวิธีเมตะฮิวริสติกอื่นๆ รวมถึงวิธี HS

จากงานวิจัยในอดีตที่ผ่านมา พบว่ามีวิธีการออกแบบอย่างเหมาะสมหลากหลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน ดังนั้นการเลือกใช้วิธีที่เหมาะสมกับปัญหาที่นำมาวิเคราะห์จึงมีความสำคัญอย่างมาก

งานวิจัยนี้เลือกใช้วิธีฮาร์โมนีเสิร์ชเนื่องจากสามารถประยุกต์ใช้ในการออกแบบเชิงวิศวกรรมได้เป็นอย่างดีจากงานวิจัยในอดีต และเห็นได้ว่า มีการพัฒนาต่อยอดวิธี HS ยิ่งขึ้นไปโดยการปรับเปลี่ยนบางขั้นตอนการทำงานในวิธี HS แต่ยังคงหลักการการทำงานไว้เหมือนเดิม ซึ่งข้อดีของวิธี HS มีหลายด้านเช่น สามารถเก็บคำตอบไว้ได้มากกว่า 1 ชุด ทำให้ได้คำตอบที่หลากหลาย รวมถึงมีขั้นตอนการทำงานที่ไม่ซับซ้อน มีการเข้าสู่คำตอบได้เร็ว ขณะที่ข้อด้อยและสิ่งที่ควรปรับปรุงคือเรื่องจุด local optimum วิธี HS อาจทำให้การค้นหาหาคำตอบไปตกในจุดที่เรียกว่า local optimum ซึ่งไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุดที่แท้จริงได้



210808741

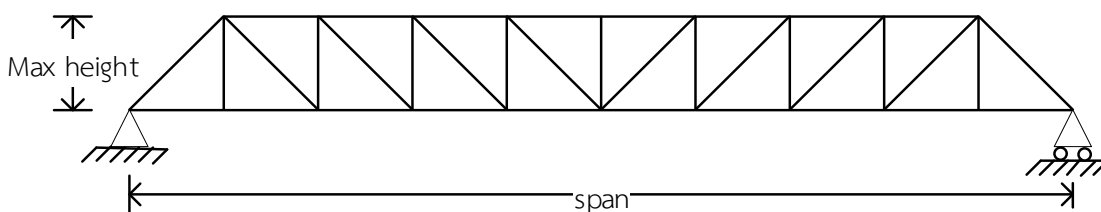
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ในบทนี้กล่าวถึงรูปแบบของสะพานโครงข้อหมุนเหล็กที่ใช้ในการออกแบบ และอธิบายตัวแปรที่เกี่ยวข้อง นอกจากนี้ยังรวมถึงวิธีหาค่าที่เหมาะสมที่ใช้คือวิธีฮาร์โมนีเสิร์ชและการวิเคราะห์สะพานโครงข้อหมุนเหล็กด้วยการใช้น้ำหนักบรรทุกเคลื่อนที่ได้ (moving loads)

3.1 รูปแบบของโครงสร้างและตัวแปรที่พิจารณา

รูปแบบทั่วไปของโครงสร้างที่นำมาวิเคราะห์และออกแบบหาค่าที่เหมาะสมเป็นดังรูป

3.1



รูป 3.1 รูปทั่วไปแสดงตัวแปรที่เกี่ยวข้องของสะพานที่จะใช้ในการวิเคราะห์

3.1.1 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการออกแบบ

ตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์หาค่าที่เหมาะสมของสะพานมี 2 ประเภทได้แก่ data และ variable โดย data ประกอบด้วย span, max height และ loads ซึ่งแต่ละตัวแปรมีความหมายดังนี้

- Span คือ ระยะความยาวทั้งหมดของสะพาน
- max height คือ ความสูงมากที่สุดที่เป็นไปได้ของสะพาน
- load คือ Dead load และ Live load

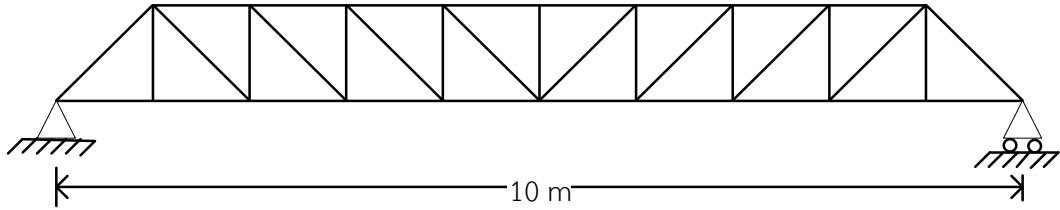
ตัวแปร variable ประกอบด้วย dx_i , dy_i และ A_j โดยแต่ละตัวแปรมีความหมายดังนี้

- A_j คือ หน้าตัดของแต่ละชิ้นส่วน
- dx_i คือ พิกัดการเคลื่อนที่ของแต่ละโหนดในแนวแกน x
- dy_i คือ พิกัดการเคลื่อนที่ของแต่ละโหนดในแนวแกน y

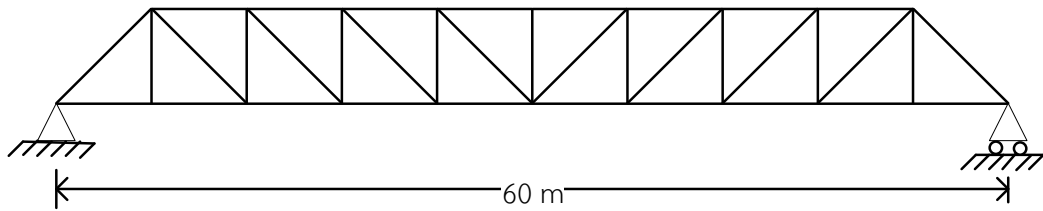
3.1.2 รูปร่างของสะพานโครงข้อหมุนเหล็ก

รูปร่างของสะพานที่จะนำมาใช้วิเคราะห์จะมีทั้งหมด 4 รูปแบบดังแสดงในรูป 3.2

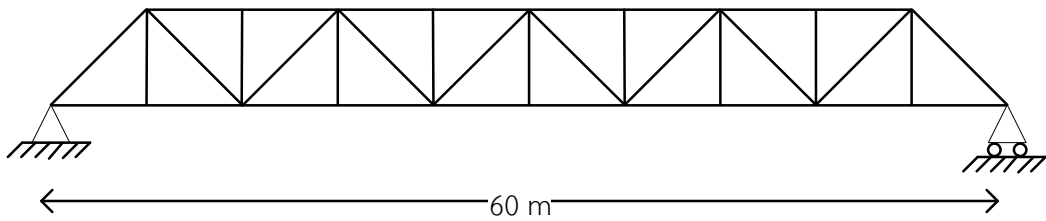
ถึง 3.6 ตามลำดับ



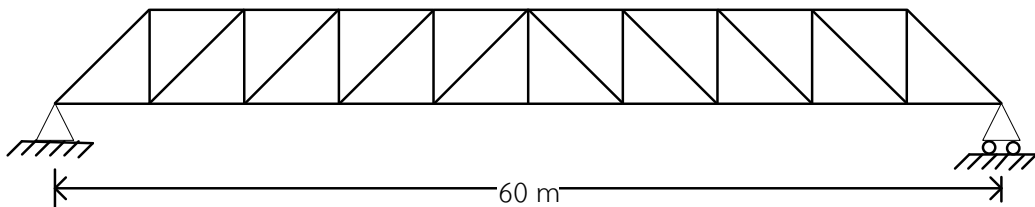
รูป 3.2 สะพานรูปแบบที่ 1 ยาว 10 เมตร



รูป 3.3 สะพานรูปแบบที่ 1 ยาว 60 เมตร



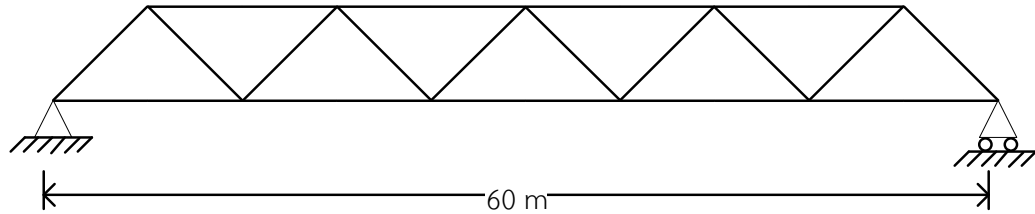
รูป 3.4 สะพานรูปแบบที่ 2



รูป 3.5 สะพานรูปแบบที่ 3



210808741



รูป 3.6 สะพานรูปแบบที่ 4

3.2 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์และเงื่อนไขข้อจำกัดต่างๆ

3.2.1 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ใช้ในการหาน้ำหนักที่น้อยที่สุดของสะพานโครงข้อหมุนเหล็กเป็นดังสมการ 3.1

$$w = \sum_{j=1}^N \rho A_j L_j \quad (3.1)$$

โดยตัวแปรต่างๆมีดังนี้

- ρ คือ ความหนาแน่นของเหล็ก
- A_j คือ พื้นที่หน้าตัดของเหล็กแต่ละชิ้นส่วน
- L_j คือ ความยาวของเหล็กแต่ละชิ้นส่วนซึ่งคำนวณจากสมการ 3.2

$$L_j = \sqrt{(\Delta x_j)^2 + (\Delta y_j)^2} \quad (3.2)$$

โดยที่ $\Delta x_j, \Delta y_j$ คือ ความยาวในแนวแกน x และ แกน y ของชิ้นส่วน j

3.2.2 ข้อจำกัด

วิธีที่ใช้คำนวณออกแบบโครงสร้างคือวิธี LRFD (AISC 1986) อ้างอิงจาก [17] แรงประลัยต่างๆที่คำนวณจากน้ำหนักบรรทุกทุกปรับค่าและจากการวิเคราะห์โดยทฤษฎีอิลาสติกจะต้องมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าความต้านทานระบุขององค์อาคารคูณกับตัวคูณความต้านทาน สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$(Q_u = \sum \gamma_i Q_i) \leq \phi R_n \quad (3.3)$$

ตัวแปรที่ใช้ในสมการ 3.3 มีดังนี้

Q_u = แรงประลัยต่างๆเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกทุกปรับค่า เช่น โมเมนต์ แรงเฉือน
วิเคราะห์หาได้จากทฤษฎีอิลาสติกและเป็นค่าที่มากที่สุดที่พิจารณาจากการรวมน้ำหนักบรรทุกทุกปรับค่าประเภทต่างๆต่อไปนี้

$$U = 1.4D \quad (3.4)$$

$$U = 1.2D + 1.6L + 0.5L_r \quad (3.5)$$

$$U = 1.2D + 1.6L_r + (f_1L \text{ หรือ } 0.8W) \quad (3.6)$$

$$U = 1.2D + 1.6W + f_1L + 0.5L_r \quad (3.7)$$

$$U = 1.2D \pm 1.0E + f_1L \quad (3.8)$$

$$U = 0.9D \pm (1.6W \text{ หรือ } 1.0E) \quad (3.9)$$

Q_i = แรงต่างๆเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกทุกใช้งาน

γ_i = ตัวคูณน้ำหนักบรรทุกทุก (load factor)

ϕ = ตัวคูณความต้านทาน (resistance factor)

R_n = ความต้านทานระบุ (nominal resistance)

โดยที่ D = น้ำหนักบรรทุกคงที่ ได้แก่ น้ำหนักของตัวอาคารและส่วนต่างๆที่ยึดแน่นติดกับตัวอาคาร ซึ่งในส่วนของสะพานโครงข้อหมุนเหล็กนั้น น้ำหนักบรรทุกคงที่ประกอบด้วย

1. โครงสร้างขั้นต้น (Primary Structure) ได้แก่ โครงข้อหมุนเหล็ก
2. แผ่นพื้น (Slab)
3. โครงสร้างขั้นที่สอง (Secondary Structure) ได้แก่ เหล็กทรงใต้แผ่นพื้น

E = แรงแผ่นดินไหว(เป็นแรงที่ปรับค่าแล้ว)

L = น้ำหนักบรรทุกจร

L_r = น้ำหนักบรรทุกจรชั้นหลังคา

W = แรงแลม

f_1 มีค่าเป็น 1.0 สำหรับอาคารจอดรถ พื้นที่ห้องโถงสาธารณะประโยชน์ และพื้นที่ที่มีน้ำหนักบรรทุกจรมากกว่า 500 กก./ตร.ม. นอกนั้นมีค่าเป็น 0.5

ค่าตัวคูณน้ำหนักบรรทุกทุก (γ_i) จะมีค่าแตกต่างกันสำหรับน้ำหนักบรรทุกแต่ละประเภท

สำหรับตัวคูณความต้านทาน(ϕ) มีค่าแปรเปลี่ยนตามประเภทขององค์อาคารและลักษณะของสถานะจำกัดที่พิจารณา

3.2.2.1 องค์อาคารรับแรงดึง(tension member)

การออกแบบกำลังรับแรงดึงเป็นดังสมการ 3.10

$$T_u \leq \phi T_n \quad (3.10)$$

โดยที่ T_u = แรงดึงประลัย (กก.)

T_n = แรงดึงระบุ (กก.)

ซึ่งคำนวณค่าได้จากสมการ 3.11 ในที่นี้พิจารณา T_n เฉพาะกรณีหน้าตัดรวม

$$T_n = F_y A_g \quad (3.11)$$

F_y = หน่วยแรงดึงคราก (กก./ตร.ชม.)

A_g = พื้นที่หน้าตัดรวม (ตร.ชม.)

ϕ = ตัวคูณความต้านทาน

$\phi_t = 0.90$ ที่สภาวะจำกัดในลักษณะการคราก (yielding)

เกณฑ์การออกแบบด้านความชะลูด(slenderness)

แม้ว่าความไม่เสถียรจะไม่ใช้เกณฑ์สำคัญในการออกแบบของค้ำอาคารรับแรงดึง แต่เพื่อป้องกันไม่ให้ค้ำอาคารเกิดการไหวตัวได้ง่ายภายใต้แรงกระทำด้านข้าง หรือการสั่นสะเทือน หรือเกิดลักษณะการตกห้องข้างภายใต้น้ำหนักบรรทุกทุกของตัวเอง มาตรฐาน AISC แนะนำให้ใช้ค่าอัตราส่วนชะลูด (slenderness ratio) L/r สำหรับค้ำอาคารรับแรงดึงเป็นหลัก ดังนี้

- ยกเว้นท่อนเหล็กกลมหรือตัวแขวนที่รับแรงดึง $L/r \leq 300$

โดยที่ L = ความยาว (ชม.)

r = รัศมีจําเริญชั้นที่น้อยที่สุด (ชม.)

$$\text{คำนวณได้จากสมการ } r = \sqrt{I/A} \quad (3.12)$$

I = โมเมนต์อินเนอร์เซีย (ชม.⁴)

A = พื้นที่หน้าตัด (ตร.ชม.)

3.2.2.2 องค์อาคารรับแรงอัด (compression member)

การออกแบบกำลังรับแรงอัด เป็นดังสมการ 3.13

$$P_u \leq \phi_c P_n \quad (3.13)$$

โดยที่ P_u = แรงอัดประลัยตามแนวแกน (กก.)

P_n = แรงอัดระบุตามแนวแกน = $F_{cr} A_g$ (กก.)

F_{cr} = หน่วยแรงอัดวิกฤต (กก./ตร.ชม.)

A_g = พื้นที่หน้าตัดรวม (ตร.ชม.)

ϕ_c = ตัวคูณความต้านทาน = 0.90

โดยที่ F_{cr} พิจารณาจากสภาวะการวิบัติดังต่อไปนี้

- การโก่งเดาะในช่วงอีลาสติก

เมื่อ $KL/r > 4.71\sqrt{E/F_y}$ หรือ $F_y/F_e > 2.25$

F_{cr} จะมีค่าดังสมการ 3.14

$$F_{cr} = 0.877F_e \leq F_y \quad (3.14)$$

โดยที่ F_y = หน่วยแรงคราก (กก./ตร.ซม.)

F_e = หน่วยแรงอัดอีลาสติก (กก./ตร.ซม.)

- การโก่งเดาะในช่วงอินอีลาสติก

เมื่อ $KL/r \leq 4.71\sqrt{E/F_y}$ หรือ $F_y/F_e \leq 2.25$

F_{cr} จะมีค่าดังสมการ 3.15

$$F_{cr} = (0.658)^{F_y/F_e} F_y \quad (3.15)$$

โดยที่ F_y = หน่วยแรงคราก (กก./ตร.ซม.)

F_e = หน่วยแรงอัดอีลาสติก (กก./ตร.ซม.)

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

ทั้งนี้ในการออกแบบของค้ำอาคารรับแรงอัด ไม่ควรใช้ค่าอัตราส่วนชะลูด KL/r มากกว่า 200

3.2.3 น้ำหนักบรรทุกกระทำต่อสะพาน

น้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อสะพานอ้างอิงจากมาตรฐาน AASHTO ประกอบไปด้วยน้ำหนักตัวสะพาน (self-weight) น้ำหนักพื้นสะพาน น้ำหนักรถบรรทุก น้ำหนักเนื่องจากแรงกระแทก (impact) และแรงกระทำตามแนวยาว (longitudinal load)

3.2.3.1 น้ำหนักรถบรรทุก

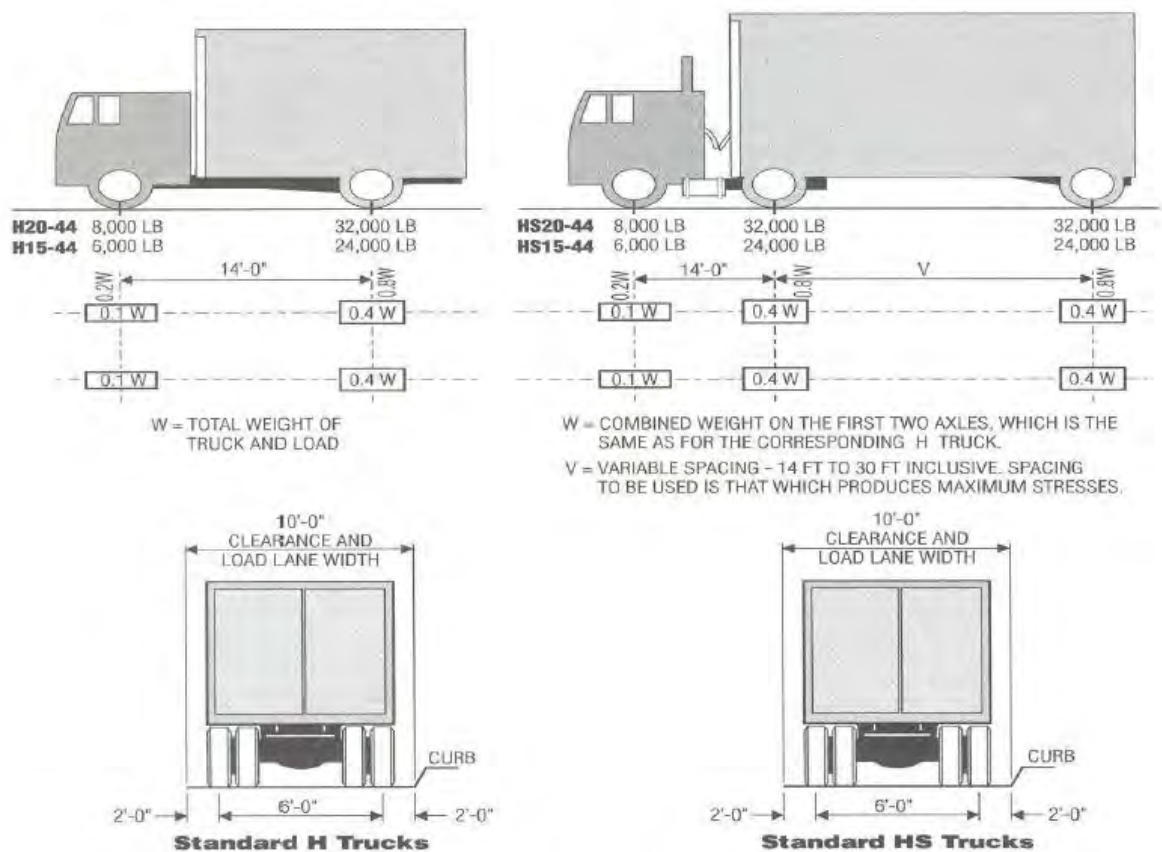
AASHTO ได้กำหนดน้ำหนักบรรทุกมาตรฐานของรถบรรทุก ดังตารางที่ 3.1

ตาราง 3.1 น้ำหนักบรรทุกมาตรฐานของรถบรรทุก

รถบรรทุก	q (ตัน/ตร.ม.)	P (ตัน)	
		โมเมนต์	แรงเฉือน
HS 20	0.95	8.17	11.8
H 20	0.95	8.17	11.8
HS 15	0.71	6.13	8.85
H 15	0.71	6.13	8.85

ซึ่ง P = แรงกระทำแบบจุดที่เคลื่อนที่ได้ในช่วงความยาวเพื่อให้เกิดค่าโมเมนต์หรือแรงเฉือนสูงสุด และ q = แรงกระทำแบบแผ่

โดยทั่วไป ในสะพานที่มีช่วงระหว่างจุดรองรับยาวไม่เกิน 20 เมตร รถบรรทุกประเภท H จะเป็นตัวกำหนดค่าโมเมนต์สูงสุดของสะพาน ในขณะที่สะพานที่มีช่วงยาวถึง 45 เมตร รถบรรทุกประเภท HS จะเป็นตัวกำหนด และรูป 3.7 แสดงรายละเอียดรถบรรทุกประเภท H, HS15 และ H, HS20



รูป 3.7 รายละเอียดน้ำหนักของรถบรรทุกประเภท H และ HS

ที่มา, American Association of State Highway Officials, [18]

ในกรณีที่สะพานมีช่วงผิวจราจรมากกว่า 2 ช่องทาง การคำนวณสามารถลดน้ำหนักบรรทุกลงได้ตามตารางที่ 3.2

ตาราง 3.2 เปอร์เซ็นต์ลดน้ำหนักบรรทุกต่อจำนวนช่องจราจร

จำนวนช่องจราจร	เปอร์เซ็นต์น้ำหนักบรรทุก (AASHTO)
1	120
2	100
3	85
มากกว่า 3	65

3.2.3.2 น้ำหนักบรรทุกกระแทก (impact load)

น้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่ออาคารอย่างทันทีทันใด มีผลทำให้อาคารต้องรับน้ำหนักมากกว่าน้ำหนักบรรทุกที่กระทำกับอาคารอย่างช้าๆ น้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่ออาคารอย่างทันทีทันใดนี้ เรียกว่า น้ำหนักบรรทุกกระแทกซึ่งคำนวณหาได้จากสมการ 3.16

$$L_I = L_S(1 + I) \quad (3.16)$$

โดยที่ L_I = น้ำหนักบรรทุกกระแทก (กก.)

L_S = น้ำหนักบรรทุกสถิต (กก.)

I = ตัวคูณเนื่องจากการกระแทก

ในโครงสร้างสะพาน AASHTO ได้กำหนดค่า I ไว้ดังสมการ 3.17

$$I = \frac{15.25}{L+38.10} \leq 0.30 \quad (3.17)$$

โดยที่ L = ความยาวของช่วงสะพาน (เมตร)



210808741

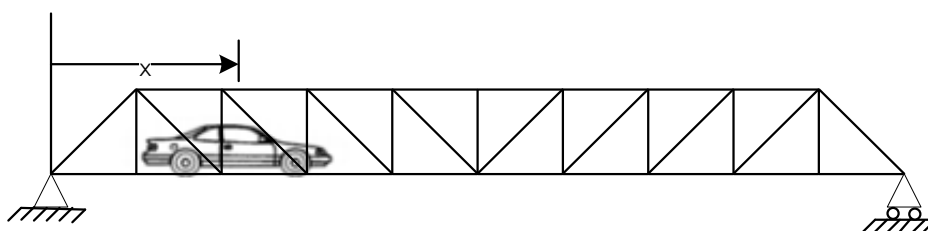
3.2.4 ขอบเขตตัวแปร

ขอบเขตตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการคำนวณออกแบบโครงสร้าง เช่น ความหนาแน่นเหล็ก พื้นที่หน้าตัดในกรณีศึกษาต่างๆ การขยับโหนดในแนวแกน y ของสะพาน(dy) เป็นดังตารางที่ 3.3

ตาราง 3.3 ขอบเขตตัวแปร

ตัวแปร	ขอบเขต	หน่วย
ความหนาแน่นของเหล็ก	7870	กก./ลบ.ม.
พื้นที่หน้าตัด		
กรณีศึกษาที่ 1	สุ่มค่าจากตารางเหล็กโดยใช้เหล็กฉาก	ตร.ซม.
กรณีศึกษาที่ 2 - 5	สุ่มค่าจากตารางเหล็กโดยใช้เหล็กรูปปีกกว้าง	ตร.ซม.
การขยับของโหนดในแนวแกน y (dy)		
กรณีศึกษาที่ 1	1-2.5	ม.
กรณีศึกษาที่ 2 - 5	7-12	ม.

3.3 การวิเคราะห์โครงสร้าง



รูป 3.8 น้ำหนักบรรทุกทุกเคลื่อนที่บนสะพาน

การวิเคราะห์สะพานโครงข้อหมุนเหล็กที่ถูกกระทำโดยน้ำหนักบรรทุกทุกเคลื่อนที่(moving loads) เคลื่อนที่ไปตามแนวยาวของสะพานนั้น ใช้หลักการของ influence line เมื่อพิจารณารูปรถเคลื่อนที่บนสะพานโครงข้อหมุนเหล็กดังรูปที่ 3.8 แรงในชิ้นส่วนของโครงข้อหมุนเหล็กเปลี่ยนไปตามตำแหน่งของรถและแรงที่มากที่สุดในแต่ละชิ้นส่วนจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่แตกต่างกันไปของรถ ดังนั้นในการวิเคราะห์โครงข้อหมุนเหล็กจึงต้องพิจารณตำแหน่งของน้ำหนักบรรทุกที่ทำให้เกิดแรงหรือความเค้นสูงสุดในแต่ละชิ้นส่วน การวิเคราะห์โครงสร้างภายใต้ น้ำหนักบรรทุกทุกเคลื่อนที่ จะต้องพิจารณาหาตำแหน่งของน้ำหนักบรรทุกที่ฟังก์ชันตอบสนอง (response function) มีค่ามากที่สุด

และหาค่าที่มากที่สุดของฟังก์ชันตอบสนองนั้นซึ่งฟังก์ชันตอบสนองได้แก่ แรงปฏิกิริยาที่จุดรองรับ, แรงในแนวแกน, แรงเฉือนและโมเมนต์ดัด ส่วน influence lines คือ กราฟของฟังก์ชันตอบสนองของโครงสร้าง ซึ่งเป็นฟังก์ชันของตำแหน่งของแรงหนึ่งหน่วยเคลื่อนที่ผ่านโครงสร้าง

งานวิจัยนี้เขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ภาษาจาวาสำหรับการวิเคราะห์สะพานโครงข้อหมุนเหล็ก โดยใส่ค่าน้ำหนักบรรทุกกระทำเป็นจุด(point loads) และน้ำหนักบรรทุกคงที่กระจายตัว(uniform distributed load) ลงไปในแต่ละ load case ซึ่งเปรียบเสมือนการวิเคราะห์น้ำหนักบรรทุกเคลื่อนที่(moving loads) ไปตามแนวยาวของสะพาน คำนวณโดยเมื่อรถวิ่งบนคานที่รองรับสะพานซึ่งเป็น beam element ประเภทคานช่วงเดียวธรรมดา (simple beam) จะทำหน้าที่ถ่ายแรงไปยังโครงสร้างบริเวณโหนดและวิเคราะห์หาแรงภายในโครงหลักเพื่อนำมาใช้ในการออกแบบต่อไป

3.4 วิธีฮาร์โมนีเสิร์ช (Harmony Search)

อัฐพล [13] อธิบายว่าวิธีฮาร์โมนีเสิร์ชเป็นอัลกอริทึมประเภทเมตฮีวริสติกชนิดหนึ่งที่ลอกเลียนแบบกระบวนการแต่งเสียงดนตรีโดยไม่มีการเตรียมมาก่อน(improvise) ที่นักดนตรีใช้เพื่อให้ได้การประสานกันที่สมบูรณ์แบบ วิธีฮาร์โมนีเสิร์ชมีข้อดีหลายอย่าง เช่น สามารถใช้แก้ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมได้ทั้งแบบตัวแปรประเภทต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง มีขั้นตอนที่เรียบง่ายไม่ซับซ้อนสะดวกในการดำเนินการ

ในการประสานเสียงนั้น นักดนตรีมีสามตัวเลือกคือ 1.เล่นทำนองเพลงอะไรก็ได้ที่มีอยู่ในความจำของตนเอง 2.เล่นทำนองเพลงที่มีความคล้ายคลึงกับทำนองเพลงที่รู้อยู่แล้ว 3.แต่งทำนองขึ้นมาใหม่โดยการสุ่ม ซึ่งทั้งสามตัวเลือกนั้นเกี่ยวข้องกับสามแนวคิดหลักของวิธี ฮาร์โมนีเสิร์ช ได้แก่ การพิจารณาความจำ การปรับระดับเสียงและการสุ่มเลือกค่า

โดยทั่วไป HS มี 5 ขั้นตอน

1. เริ่มต้นปัญหาและอัลกอริทึมเริ่มต้นตัวแปร

การแก้ปัญหาโดยวิธีการที่เหมาะสมถูกนิยามว่าเป็นการหาค่าที่น้อยที่สุดของ $f(x_i)$ โดยที่ $LB_i \leq x_i \leq UB_i$ ซึ่ง $i = 1, 2, \dots, N$ โดย LB_i และ UB_i เป็นขอบเขตล่างและขอบเขตบนของตัวแปร x_i , N คือ จำนวนตัวแปรนอกจากนี้ขั้นตอนนี้ยังระบุตัวแปรของวิธี HS ได้แก่ Harmony Memory Size (HMS), Harmony Memory Consideration Rate (HMCR), Pitch Adjusting Rate (PAR) และ number of improvisation (NI) หรือเกณฑ์ในการหยุดโดย NI เท่ากับจำนวนทั้งหมดของการประเมินค่าฟังก์ชัน

2. เริ่มต้น Harmony Memory (HM)



210808741

วิธี HS มีความจำเก็บไว้เรียกว่า Harmony Memory (HM) เพื่อเก็บเวกเตอร์คำตอบทั้งหมด ในขั้นตอนนี้ เมทริกซ์ HM จะเต็มไปด้วย เวกเตอร์คำตอบที่เกิดจากการสุ่ม ซึ่ง HM เริ่มต้นจะสร้างโดยใช้การสุ่มแบบกระจายตัวคงที่(uniform distribution) ของตัวแปร x_i ในช่วง $[LB_i, UB_i]$ โดย

$i = 1, \dots, N$ ด้วยสมการ $x_i^j = LB_i + \text{rand}() \times (UB_i - LB_i)$, $j = 1, 2, \dots, \text{HMS}$; โดยที่ rand จะสุ่มตัวเลขในช่วง (0,1) และ HMS คือ จำนวนชุดข้อมูล LB_i และ UB_i คือ ขอบเขตบนและขอบเขตล่างของตัวแปรตามลำดับ ในแต่ละชุดข้อมูล j จะทำการสุ่มค่าตัวแปร x_i แล้วตรวจสอบความเป็นไปได้หากผ่านตามเกณฑ์เงื่อนไขที่กำหนดก็จะเก็บค่าไว้ เป็นเวกเตอร์ j ใน HM ทั้งนี้เวกเตอร์ใน HM จะเรียงลำดับตามค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์จากน้อยไปมาก

$$HM = \begin{bmatrix} x_{1,1} & x_{1,2} & \dots & \dots & x_{1,N-1} & x_{1,N} & f(x_1) \\ x_{2,1} & x_{2,2} & \dots & \dots & x_{2,N-1} & x_{2,N} & f(x_2) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{\text{HMS}-1,1} & x_{\text{HMS}-1,2} & \dots & \dots & x_{\text{HMS}-1,N-1} & x_{\text{HMS}-1,N} & f(x_{\text{HMS}-1}) \\ x_{\text{HMS},1} & x_{\text{HMS},2} & \dots & \dots & x_{\text{HMS},N-1} & x_{\text{HMS},N} & f(x_{\text{HMS}}) \end{bmatrix} =$$

รูป 3.9 Harmony Memory Matrix

เวกเตอร์คำตอบที่เป็นไปได้ใน HM จะถูกวิเคราะห์หลังจากที่ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ถูกคำนวณและเรียงออกมา

3. การปรับค่าฮาร์โมนีใหม่จาก HM

การสร้างฮาร์โมนีใหม่เรียกว่า improvisation โดยฮาร์โมนีเวกเตอร์ $x' = (x'_1, x'_2, \dots, x'_N)$ จะถูกสร้างโดยกฎ 3 กฎ ได้แก่ การพิจารณาความจำ การปรับระดับเสียงและการสุ่มเลือกค่า

- การพิจารณาความจำ (Memory consideration) ค่าของตัวแปรออกแบบจะถูกเลือกจากค่าที่ถูกเก็บใน HM โดยใช้ Harmony Memory Consideration Rate (HMCR) ซึ่งมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 HMCR คือความเป็นไปได้ในการเลือกค่าหนึ่งค่าจากค่าที่เคยเก็บไว้ในอดีตในช่วง HM

- การปรับระดับเสียง (Pitch adjustment) แต่ละองค์ประกอบที่ได้มาจากการพิจารณาความจำจะถูกนำมาใช้กับการปรับระดับเสียงโดยเคลื่อนที่สู่ค่าย่านคำตอบของค่าที่เลือกไว้จาก HM ด้วยตัวแปร pitch adjustment rate (PAR) โดยเป็นขั้นตอนการปรับระดับเสียง สมมติให้



210808741

ค่าที่เลือกอยู่ตำแหน่งที่ k ในเมตริกซ์ จะเคลื่อนที่สู่ค่าย่านคำตอบโดยปรับค่าเป็นตำแหน่งบนหรือล่าง ($k+1$ หรือ $k-1$)

- การสุ่มเลือกค่า (random selection) เป็นการเลือกค่าหนึ่งค่าจากช่วงของค่าที่เป็นไปได้ทั้งหมดจากขอบเขต

วิธีปรับค่าความจำฮาร์โมนีเมตริกซ์(improvise HM)

อธิบายขั้นตอนไว้โดยเริ่มต้นที่ตัวแปรที่หนึ่ง(x_1) โดยสุ่มค่าตัวเลขตั้งแต่ 0 ถึง 1 โดยอัตราการสุ่มแบบกระจายตัวคงที่เพื่อเปรียบเทียบกับความน่าจะเป็นในการใช้หน่วยความจำ (HMCR) ถ้าค่าที่ได้น้อยกว่าค่า HMCR ให้เลือกค่าตัวแปรจากค่าใดค่าหนึ่งในเมตริกซ์ตามการพิจารณาความจำแต่ถ้าไม่ให้สุ่มตัวแปรใหม่จากขอบเขตของการสุ่มเลือกค่า

ค่า HMCR คือโอกาสในการเลือกค่าตัวแปรจากค่าใดค่าหนึ่งในเมตริกซ์ เช่น HMCR= 0.70 หมายความว่า มีโอกาส 70% ที่จะสุ่มค่าตัวแปรจากค่าใดค่าหนึ่งในเมตริกซ์และมีโอกาส 30% ที่จะไปสุ่มค่าใหม่จากขอบเขตของตัวแปรนั้น

กรณีที่เลือกค่าจาก การพิจารณาความจำ หรือเลือกค่าจากในเมตริกซ์ ต้องตรวจสอบว่า จะปรับระดับเสียงหรือไม่โดยการสุ่มตัวเลขตั้งแต่ 0 ถึง 1 เพื่อเปรียบเทียบกับความน่าจะเป็นในการปรับระดับเสียง (PAR) ถ้าค่าที่ได้น้อยกว่าค่า PAR ให้ปรับค่าตัวแปรตามขั้นตอนการปรับระดับเสียงแต่ถ้าไม่ให้ใช้ค่าเดิมที่ได้จากการเลือกตัวแปรตามขั้นตอนการพิจารณาความจำ

ความน่าจะเป็นในการปรับระดับเสียง (PAR) คือโอกาสในการปรับค่าที่ได้จากเมตริกซ์ ในกรณีที่เลือกค่าใดค่าหนึ่งจากเมตริกซ์อาจปรับค่าที่ได้เป็นตำแหน่งบนหรือตำแหน่งล่าง เช่น เลือกค่าตัวแปรในตำแหน่งที่ 3 อาจมีการปรับค่าเป็นตำแหน่งที่ 2 หรือ 4 ตัวอย่างเช่น PAR= 0.40 หมายความว่า มีโอกาส $HMCR \times 40\%$ ที่จะปรับค่าจากเมตริกซ์ และมีโอกาส $(1-HMCR) \times 40\%$ ที่จะใช้ค่าเดิมที่ได้จากเมตริกซ์

กรณีที่เลือกปรับค่าตัวแปรตามรูปแบบที่ 2 การปรับค่าเป็นตำแหน่งบนหรือล่าง ให้สุ่มค่าตัวเลขตั้งแต่ 0 ถึง 1 ถ้าค่าที่ได้น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.5 ให้ปรับเป็นค่าตำแหน่งล่าง (ถ้าค่าที่เลือกอยู่ในตำแหน่งล่างสุดให้ใช้ค่าตำแหน่งเดิม) แต่ถ้ามากกว่า 0.5 ให้ปรับเป็นค่าตำแหน่งบน (ถ้าค่าที่เลือกมาอยู่ตำแหน่งบนสุดในเมตริกซ์ให้ใช้ค่าตำแหน่งเดิม) เมื่อได้ค่าใหม่ของตัวแปรที่หนึ่งแล้ว ให้เลือกค่าตัวแปรที่เหลือ (x_2, \dots, x_N) ด้วยวิธีการเดียวกัน ([14])

4.อัปเดตความจำฮาร์โมนี

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนการอัปเดต HM ถ้าค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของเวกเตอร์ฮาร์โมนี(harmony vector) ตัวที่ improvise ขึ้นมาใหม่นั้นดีกว่าเวกเตอร์ฮาร์โมนีตัวที่แย่มากที่สุดที่ถูกเก็บไว้ เวกเตอร์ตัวนั้นจะแทนที่ตัวที่แย่มากที่สุดใน HM โดยจะต้องจัดเรียงเวกเตอร์ฮาร์โมนีใหม่ตามค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์จากน้อยไปมาก



210808741

5.หยุดกระบวนการ

วิธีฮาร์โมนีเสิร์ชจะถูกหยุดเมื่อจำนวนรอบของการวนซ้ำ(NI) นั้นถูกทำให้บรรลุเงื่อนไข ในทางกลับกัน หากไม่บรรลุเงื่อนไข ขั้นตอนที่3และ4 จะถูกทำอีกครั้ง

ตัวอย่างวิธีฮาร์โมนีเสิร์ช

$$f(x) = 4x_1^2 - 2.1x_1^4 + \frac{1}{3}x_1^6 + x_1x_2 - 4x_2^2 + 4x_2^4 \quad (3.18)$$

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์คือฟังก์ชัน Six-Hump Camelback เป็นฟังก์ชันที่ทดสอบวิธีหาค่าที่เหมาะสมที่สุด มีจุดต่ำสุด 6 จุด (local optima) โดยเป็นจุดต่ำสุดที่แท้จริง (global optima) ณ จุด $x^* = (-0.08983, 0.7126)$ หรือ $x^* = (0.08983, -0.7126)$ ที่ให้ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์เท่ากับ -1.0316285 ขอบเขตตัวแปร x_1, x_2 อยู่ระหว่าง -10 ถึง 10 กำหนดค่า HMS= 10 , HMCR= 0.85 และ PAR = 0.45

1. ขั้นตอนเริ่มต้นที่สุ่มตัวแปรจากขอบเขตและเรียงค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์จากน้อยไปมาก
2. ชุดคำตอบใหม่ $x' = (3.183, 8.666)$ ที่ได้ มีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์เท่ากับ 22454.67 แทนที่ชุดคำตอบที่แย่ที่สุด $(-9.50, 3.333)$ ในเมตริกซ์
3. ทำการค้นหาด้วยจำนวนรอบที่มากขึ้น ค่าตอบลู่อู่เข้าคำตอบที่แท้จริงมากขึ้น
4. หลังจากการค้นหาทั้งหมด 4870 รอบ ได้ชุดคำตอบที่ดีที่สุด $x = (0.08984, -0.71269)$ ให้ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์เท่ากับ -1.0316285 ซึ่งมีค่าใกล้กับคำตอบที่แท้จริงเป็นอย่างมาก
5. จุดต่ำสุดอีกจุดหนึ่ง $x = (-0.08983, 0.7126)$ หาได้ด้วยวิธีเดียวกันขึ้นอยู่กับชุดคำตอบเริ่มต้นที่ได้จากการสุ่ม

ตาราง 3.4 ผลการหาค่าที่เหมาะสมด้วยวิธี ฮาร์โมนีเสิร์ช

ตำแหน่ง	HM เริ่มต้น			HM ถัดมา			HM หลังการค้นหา 50 รอบ		
	x_1	x_2	$f(x)$	x_1	x_2	$f(x)$	x_1	x_2	$f(x)$
1	3.183	-0.400	169.95	3.183	-0.400	169.95	0.8055	-0.400	0.9427
2	-6.600	5.083	26274.83	3.183 ^a	8.666 ^a	22454.67 ^a	0.8055	2.301	94.65
3	6.667	7.433	37334.24	-6.600	5.083	26274.83	0.8055	2.322	98.47
4	6.767	8.317	46694.7	6.667	7.433	37334.24	0.8167	2.419	117.35
5	-7.583	5.567	60352.77	6.767	8.317	46694.7	-0.8833	2.561	145.66
6	7.767	4.7	67662.4	-7.583	5.567	60352.77	-0.8833	2.589	152.54
7	8.25	2.75	95865.2	7.767	4.7	67662.4	3.074	-1.833	157.57
8	-8.300	8.533	120137.1	8.25	2.75	95865.2	3.183	-0.400	169.95
9	-9.017	-8.050	182180	-8.300	8.533	120137.1	3.183	-1.755	191.78
10	-9.500	3.333	228704.7	-9.017	-8.050	182180	3.183	2.308	271.38
	HM หลังการค้นหา 100 รอบ			HM หลังการค้นหา 1000 รอบ			HM หลังการค้นหา 4870 รอบ		
1	0.3167	0.4	-0.28384	0.09	-0.71143	-1.03161	0.08984 ^b	-0.71269 ^b	-1.03162 ^b
2	0.2333	0.3258	-0.24394	0.09028	-0.71143	-1.03161	0.09	-0.71269	-1.03162
3	0.2650	0.3258	-0.19514	0.08863	-0.71143	-1.03161	0.09	-0.71277	-1.03162
4	0.2333	0.2862	-0.15615	0.09081	-0.71143	-1.03161	0.09013	-0.71269	-1.03162
5	0.3501	0.3059	0.012897	0.09	-0.71446	-1.03160	0.08951	-0.71269	-1.03162
6	0.2650	0.2223	0.02389	0.09028	-0.71446	-1.03160	0.08951	-0.71277	-1.03162
7	0.3501	0.2862	0.05817	0.09081	-0.71446	-1.03160	0.08951	-0.71279	-1.03162
8	0.3188	0.2502	0.07058	0.09	-0.71062	-1.03159	0.09028	-0.71269	-1.03162
9	0.3501	0.2307	0.17688	0.08863	-0.71446	-1.03159	0.0898	-0.71300	-1.03162
10	0.5469	0.2862	0.56	0.09028	-0.71062	-1.03159	0.09	-0.71300	-1.03162

ที่มา, [14]

โดยที่

a = ชุดคำตอบใหม่หลังการค้นหาครั้งที่ 1 และค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์

b = ชุดคำตอบที่ดีที่สุด $x = (0.08984, -0.71269)$ ให้ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ต่ำสุดเท่ากับ

-1.0316285 ด้วยวิธีฮาร์โมนีเสิร์ช

การทดสอบตัวอย่างวิธีฮาร์โมนีเสิร์ชด้วยโปรแกรมจาวา

เมื่อนำตัวอย่างปัญหาวิธี HS ที่กล่าวไปแล้วข้างต้นมาทดสอบด้วยโปรแกรมจาวา เพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้ หรือ การเทียบจาก benchmark ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมจาวาเป็นดังรูป 3.10 และสรุปค่าได้ดังตาราง 3.5

```

Last Harmony
[ 0.087673      -0.712104      -1.031609      ]
[ 0.087673      -0.712104      -1.031609      ]
[ 0.087673      -0.711012      -1.031592      ]
[ 0.087673      -0.711012      -1.031592      ]
[ 0.087673      -0.711012      -1.031592      ]
[ 0.087673      -0.711012      -1.031592      ]
[ 0.087673      -0.711012      -1.031592      ]
[ 0.087673      -0.711012      -1.031592      ]
[ 0.087673      -0.711012      -1.031592      ]
[ 0.087673      -0.711012      -1.031592      ]
[ 0.087673      -0.711012      -1.031592      ]

```

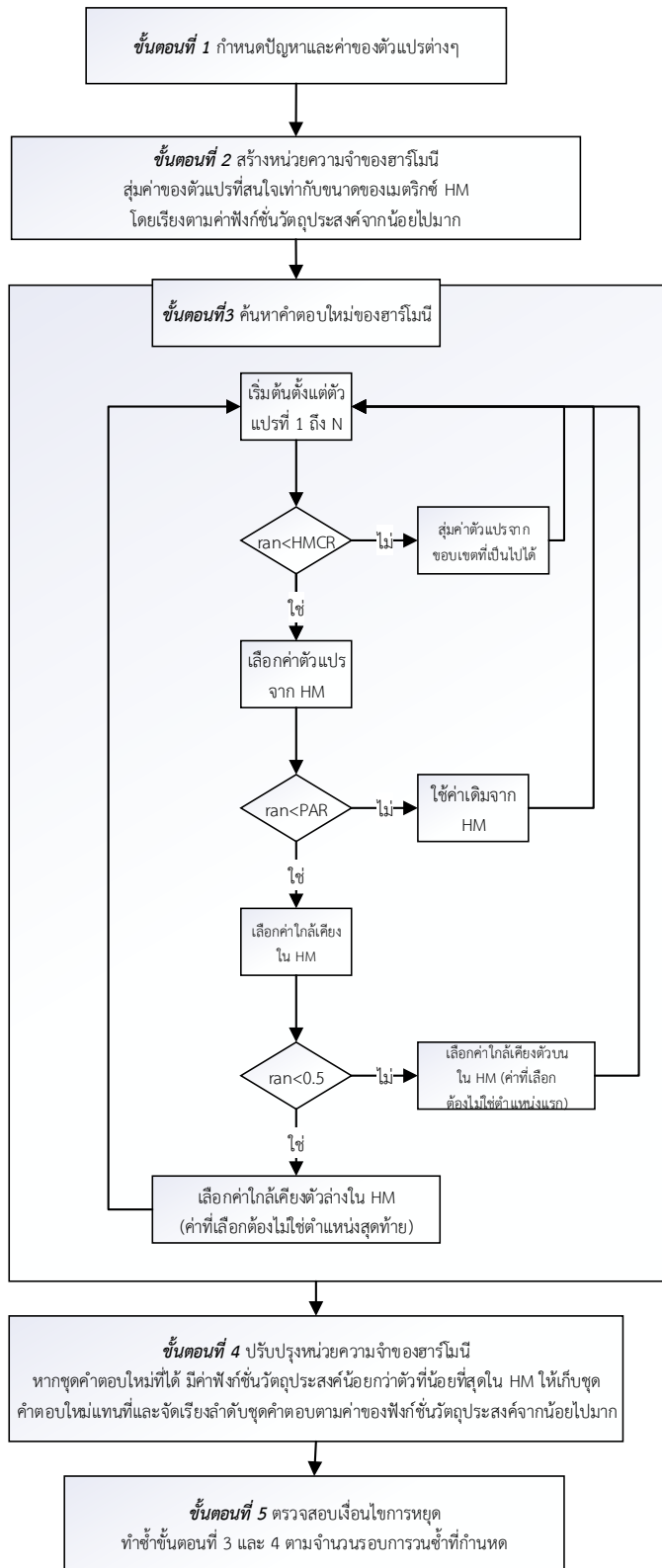
รูป 3.10 ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมจาวา

ตาราง 3.5 สรุปผลลัพธ์ที่ได้จากการเปรียบเทียบ benchmark ด้วยโปรแกรมจาวา

X_1	X_2	$f(x)$
0.087673	-0.712104	-1.031609
0.087673	-0.712104	-1.031609
0.087673	-0.711012	-1.031592
0.087673	-0.711012	-1.031592
0.087673	-0.711012	-1.031592
0.087673	-0.711012	-1.031592
0.087673	-0.711012	-1.031592
0.087673	-0.711012	-1.031592
0.087673	-0.711012	-1.031592
0.087673	-0.711012	-1.031592

ผลลัพธ์ที่ได้จากการแก้ปัญหาตัวอย่างวิธีฮาร์โมนีเสิร์ชด้วยโปรแกรมจาวาได้ค่าคำตอบที่ดีที่สุด $x_1 = 0.087673$, $x_2 = -0.712104$ และค่า $f(x) = -1.031609$ ซึ่งมีความใกล้เคียงกับค่าคำตอบที่แท้จริงเป็นอย่างมาก

ผังงานของวิธีฮาร์โมนีเสิร์ช (Flowchart)



รูป 3.11 Flowchart วิธี HS

3.4.1 การประยุกต์วิธีฮาร์โมนีเสิร์ชเข้ากับปัญหางานวิจัย

เริ่มต้นโดยการกำหนดตัวแปร ได้แก่

A_j = หน้าที่ของแต่ละชิ้นส่วน

dx_i = พิกัดการเคลื่อนที่ของโหนดแต่ละโหนดไปในแนวแกน x

dy_i = พิกัดการเคลื่อนที่ของโหนดแต่ละโหนดไปในแนวแกน y

กำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์

$$f(x) = \sum_i \rho A_i L_i \quad (3.19)$$

โดยที่ ρ = ความหนาแน่นของเหล็ก

A = พื้นที่หน้าตัดของเหล็กแต่ละชิ้นส่วน

L = ความยาวของเหล็กแต่ละชิ้นส่วน

ขั้นตอนการทำ

1. กำหนดตัวแปรต่างๆ ได้แก่ HMS, HMCR, PAR, $f(x)$, NI
2. กำหนดเมตริกซ์ความจำของฮาร์โมนี (Harmony Memory Matrix)

Matrix HM มีค่าเท่ากับ

$A_{1,1}$	$A_{1,2}$	...	$A_{1,N-1}$	$A_{1,N}$	$X_{1,1}$	$X_{1,2}$	...	$X_{1,N-1}$	$X_{1,N}$	$Y_{1,1}$	$Y_{1,2}$	...	$Y_{1,N-1}$	$Y_{1,N}$	$f(x_1)$
$A_{2,1}$	$A_{2,2}$	...	$A_{2,N-1}$	$A_{2,N}$	$X_{2,1}$	$X_{2,2}$	...	$X_{2,N-1}$	$X_{2,N}$	$Y_{2,1}$	$Y_{2,2}$	...	$Y_{2,N-1}$	$Y_{2,N}$	$f(x_2)$
...
...
$A_{HMS-1,1}$	$A_{HMS-1,2}$	...	$A_{HMS-1,N-1}$	$A_{HMS-1,N}$	$X_{HMS-1,1}$	$X_{HMS-1,2}$	...	$X_{HMS-1,N-1}$	$X_{HMS-1,N}$	$Y_{HMS-1,1}$	$Y_{HMS-1,2}$	...	$Y_{HMS-1,N-1}$	$Y_{HMS-1,N}$	$f(X_{HMS-1})$
$A_{HMS,1}$	$A_{HMS,2}$	...	$A_{HMS,N-1}$	$A_{HMS,N}$	$X_{HMS,1}$	$X_{HMS,2}$	...	$X_{HMS,N-1}$	$X_{HMS,N}$	$Y_{HMS,1}$	$Y_{HMS,2}$	...	$Y_{HMS,N-1}$	$Y_{HMS,N}$	$f(X_{HMS})$

รูป 3.12 Harmony Memory Matrix

3. สร้างความจำฮาร์โมนีใหม่ตามขั้นตอนวิธี ฮาร์โมนีเสิร์ช สุ่ม A , dx , dy แล้วนำค่าไปใช้ในส่วนของ การวิเคราะห์โครงสร้างโดยแทนค่าพิกัด แรงภายนอก เพื่อได้แรงภายในแต่ละชิ้นส่วนออกมา
4. นำแรงภายในแต่ละชิ้นส่วนมาตรวจสอบกับเงื่อนไขการออกแบบแรงอัดและแรงดึง
5. ชุดข้อมูลของ A ,X ,Y ที่ผ่านข้อจำกัดจะถูกแทนค่าลงในฟังก์ชันวัตถุประสงค์แล้วนำมาเรียงใน เมตริกซ์ตามค่าฟังก์ชันจากน้อยไปมาก
6. ทำการวนซ้ำตามจำนวนรอบที่กำหนดและเก็บค่าคำตอบที่ได้

บทที่ 4 ผลการศึกษา

งานวิจัยนี้มีกรณีศึกษาทั้งหมด 5 กรณี ได้แก่ สะพานโครงข้อหมุนเหล็กที่มีรูปแบบแตกต่างกัน 4 รูปแบบ มีจุดประสงค์เพื่อวิเคราะห์ศึกษาโครงสร้างสะพานโครงข้อหมุนเหล็กทั้ง 5 กรณีด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ภาษาจาวาเพื่อหารูปร่างและขนาดหน้าตัดของชิ้นส่วนที่เหมาะสมด้วยวิธีฮาร์โมนิเสิร์ช ซึ่งเป็นวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่นำมาใช้ในงานวิจัย

การวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่มีผลต่อการทำงานของวิธีฮาร์โมนิเสิร์ช

ในการทำงานของวิธีฮาร์โมนิเสิร์ช พารามิเตอร์ที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการ ได้แก่ HMS, HMCR และ PAR ซึ่งค่า PAR ส่งผลกระทบต่อความเป็นไปได้ในการเลือกค่าข้างเคียงจากค่าที่เลือกใช้ในเมตริกซ์ แต่ปัญหาที่เราพิจารณาคือการคำนวณน้ำหนักที่น้อยที่สุดเป็นปัญหาแบบตัวแปรไม่ต่อเนื่อง ดังนั้นค่า PAR จึงไม่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการทำงานของวิธี HS เท่าพารามิเตอร์ตัวอื่น

ค่า HMS คือจำนวนชุดคำตอบเริ่มต้นที่ได้จากการสุ่มภายในขอบเขตที่กำหนดหรือเท่ากับขนาดของเมตริกซ์ ยิ่ง HMS มีค่าที่มากทำให้มีชุดคำตอบที่หลากหลายมากขึ้น แต่จะทำให้ลู่อู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริงได้ช้ากว่าเมื่อเทียบกับ HMS ที่มีค่าน้อยกว่า

ค่า HMCR มีผลต่อความน่าจะเป็นในการสุ่มคำตอบที่เป็นไปได้จากขอบเขตที่กำหนดหรือเลือกใช้ค่าจากในเมตริกซ์ หากเพิ่มค่า HMCR ทำให้มีโอกาสสุ่มค่าจากขอบเขตที่กำหนดลดลง ในขณะเดียวกัน หากลดค่า HMCR จะทำให้มีโอกาสสุ่มค่าจากขอบเขตมากขึ้น ดังนั้นหากเราลดค่า HMCR จะได้กลุ่มคำตอบใหม่ที่มีความหลากหลายมากขึ้น

การหาคำตอบที่ดีที่สุดทำได้โดยการเพิ่มความหลากหลายของคำตอบเพื่อให้คำตอบกระจายไปทั่วบริเวณที่สนใจ หากการกระจายตัวของคำตอบน้อยทำให้คำตอบไม่ดีที่สุด ซึ่งการหาคำตอบที่ดีที่สุดทำได้ 2 วิธี คือ 1. เพิ่มขนาดของ HMS และ 2. ลดค่า HMCR แต่ไม่ควรทำ 2 วิธีพร้อมกัน เนื่องจากทำให้การกระจายตัวของคำตอบมากเกินไปและการลู่อู่ของคำตอบช้าเกินไป ดังนั้นหากเราเพิ่มขนาดของ HMS เราสามารถใช้ค่า HMCR ที่สูงกว่าเดิมได้ หรือหากเราลดค่า HMCR จะสามารถใช้ขนาดของ HMS ที่น้อยลงได้ (อ้างอิงจาก [14])

การกำหนดค่าพารามิเตอร์ให้เหมาะสมกับปัญหาที่พิจารณามีความสำคัญต่องานวิจัยเนื่องจากหากเรากำหนดค่าได้เหมาะสมจะสามารถให้ผลลัพธ์ที่ดีและถูกต้องแม่นยำ งานวิจัยนี้จึงวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับกรณีศึกษาทั้ง 5 กรณี โดยทดลองใช้ค่า HMS ตั้งแต่ 10 ถึง 25 เพิ่มขึ้นครั้งละ 5 ทดลองกับแต่ละกรณีศึกษา

ในกรณีศึกษาที่ 1 และ 2 มีรูปแบบสะพานโครงข้อหมุนเหล็กที่เหมือนกันจึงทดลองกับกรณีศึกษาที่ 2 ได้ผลแสดงดังตาราง 4.1

ตาราง 4.1 การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกรณีศึกษาที่ 1 และ 2

HMS	พื้นที่หน้าตัด (ตร.ชม.)	dy (ม.)	น้ำหนัก (กก.)
10	72.38, 21.90, 11.85, 72.38	1.00, 1.76, 1.96, 3.24, 1.52	10454.96
15	72.38, 21.90, 11.85, 72.38	1.04, 1.84, 1.98, 3.24, 1.56	10474.18
20	82.06, 21.90, 11.85, 72.38	1.02, 1.80, 1.50, 2.03, 1.04	10689.18
25	83.36, 21.90, 11.85, 72.38	1.07, 1.83, 1.60, 1.95, 1.05	10763.78

การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของกรณีศึกษาที่ 3 – 5 ได้ผลลัพธ์ดังตาราง 4.2 – 4.4 ตามลำดับ

ตาราง 4.2 การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกรณีศึกษาที่ 3

HMS	พื้นที่หน้าตัด (ตร.ชม.)	dy (ม.)	น้ำหนัก (กก.)
10	72.38, 56.24, 11.85, 72.38	1.04, 2.72, 1.97, 1.27, 3.67	12825.82
15	72.38, 51.21, 11.85, 72.38	1.02, 2.91, 1.99, 1.29, 3.71	12506.59
20	72.38, 56.24, 11.85, 72.38	1.04, 2.64, 2.01, 1.27, 3.72	12820.33
25	83.36, 21.90, 11.85, 72.38	1.08, 3.05, 2.07, 1.28, 3.70	12556.99

ตาราง 4.3 การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกรณีศึกษาที่ 4

HMS	พื้นที่หน้าตัด (ตร.ชม.)	dy (ม.)	น้ำหนัก (กก.)
10	84.70, 82.06, 11.85, 72.38	1.00, 1.93, 1.96, 1.76, 2.61	16314.65
15	82.06, 82.06, 11.85, 72.38	1.02, 2.00, 1.96, 2.03, 2.94	16276.66
20	83.36, 82.06, 11.85, 82.06	1.00, 1.91, 1.42, 1.90, 2.76	16483.65
25	84.70, 83.36, 11.85, 82.06	1.01, 1.84, 1.25, 1.77, 2.61	16582.90

ตาราง 4.4 การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกรณีศึกษาที่ 5

HMS	พื้นที่หน้าตัด (ตร.ชม.)	dy (ม.)	น้ำหนัก (กก.)
10	84.70, 107.70, 26.84	1.94, 4.49, 2.29, 4.16, 4.30	14555.31
15	92.18, 84.70, 17.85	3.20, 4.81, 2.40, 3.49, 1.85	12338.62
20	72.38, 104.70, 26.84	3.94, 4.02, 4.89, 2.52, 1.17	13661.52
25	72.38, 92.18, 17.85	1.82, 3.18, 4.28, 2.94, 1.66	11808.74

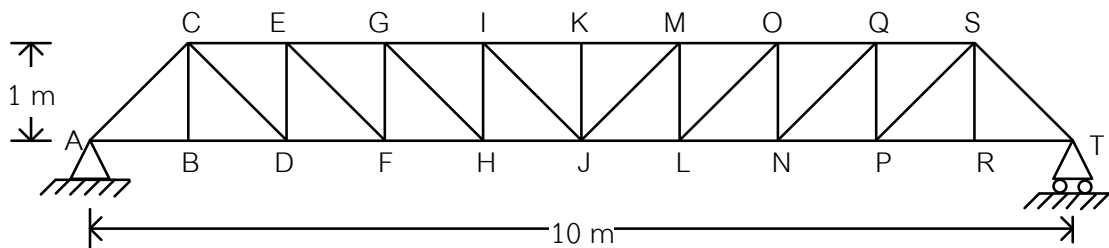
งานวิจัยนี้จึงกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ใช้ในแต่ละกรณีศึกษาดังนี้

- กรณีศึกษาที่ 1 และ 2 ใช้ค่าพารามิเตอร์ HMS = 10 , HMCR = 0.85 และ PAR = 0.4
- กรณีศึกษาที่ 3 และ 4 ใช้ค่าพารามิเตอร์ HMS = 15, HMCR = 0.85 และ PAR = 0.4
- กรณีศึกษาที่ 5 ใช้ค่าพารามิเตอร์ HMS = 25, HMCR = 0.85 และ PAR = 0.4

เห็นได้ว่าชุดค่าตอบกระจายตัวในช่วงแรกและเมื่อทำการวนซ้ำเพื่อหาคำตอบด้วยจำนวนรอบที่มากขึ้นจะทำให้ค่าลู่เข้าสู่คำตอบเดียวกัน โดยผลการศึกษาทั้ง 5 กรณีได้ผลลัพธ์ดังนี้

4.1 กรณีศึกษาที่ 1

กรณีศึกษาที่ 1 คือ สะพานโครงข้อหมุนเหล็กรูปแบบที่ 1 มีจำนวนชิ้นส่วนทั้งหมด 37 ชิ้น ยาว 10 เมตร สูง 1 เมตร มีจุดประสงค์ในการศึกษาเพื่อทดสอบโปรแกรมจาวาที่ใช้ในการคำนวณ ออกแบบว่ามีความถูกต้องแม่นยำหรือไม่ โดยเปรียบเทียบกับงานวิจัยทั้ง 4 งานวิจัยก่อนหน้า



รูป 4.1 สะพานโครงข้อหมุนเหล็กรูปแบบที่ 1

น้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อสะพานโครงข้อหมุนเหล็ก

น้ำหนักบรรทุกที่กระทำลงกรณีศึกษาที่ 1 เท่ากับ 100 นิวตันกระทำที่ทุกโหนดบริเวณ lower chord ยกเว้นบริเวณจุดรองรับทั้งสองข้าง

หน้าตัดที่ใช้ในการสุ่มเลือกของสะพานโครงข้อหมุนเหล็ก

การหาขนาดและรูปร่างที่เหมาะสมของสะพานโครงข้อหมุนเหล็กในกรณีศึกษาที่ 1 หน้าตัดที่ใช้ในการออกแบบนำมาจาก การสุ่มขนาดหน้าตัดจากตารางเหล็กรูปพรรณมาตรฐานในไทย โดยหน้าตัดที่เลือกใช้ในการสุ่มคือ เหล็กฉากทั้งชนิดขาเท่ากันและไม่เท่ากันดังตาราง 4.5

ตาราง 4.5 ข้อมูลหน้าตัดของเหล็กฉาก

sectional dimension(mm.)	Area	Radius of Gyration (cm)
AxB	(sq.cm.)	Min r_v
25 x 25	1.427	0.483
30 x 30	1.727	0.585
40 x 40	2.336	0.79
40 x 40	3.755	0.774

ตาราง 4.6 ข้อมูลหน้าตัดของเหล็กฉาก (ต่อ)

sectional dimension(mm.)	Area	Radius of Gyration (cm)
45 x 45	3.492	0.88
45 x 45	4.302	0.874
50 x 50	3.892	0.983
50 x 50	4.802	0.976
50 x 50	5.644	0.963
60 x 60	4.692	1.19
60 x 60	5.802	1.18
65 x 65	6.367	1.28
65 x 65	7.527	1.27
65 x 65	9.761	1.25
70 x 70	8.127	1.37
75 x 75	8.727	1.48
75 x 75	12.69	1.45
75 x 75	16.56	1.44
80 x 80	9.327	1.58
90 x 90	10.55	1.78
90 x 90	12.22	1.77
90 x 90	17	1.74
90 x 90	21.71	1.73
100 x 100	13.62	1.98
100 x 100	19	1.95
100 x 100	24.31	1.94
120 x 120	18.76	2.38
130 x 130	22.74	2.57
130 x 130	29.76	2.54
130 x 130	36.75	5.53
150 x 150	34.77	2.96
150 x 150	42.74	2.92
150 x 150	53.38	2.91
175 x 175	40.52	3.44
175 x 175	50.21	3.42



210808741

CU Thesais 5970240021 thesis / recv: 01082562 13:45:58 / seq: 6

ตาราง 4.7 ข้อมูลหน้าตัดของเหล็กฉาก (ต่อ)

sectional dimension(mm.)	Area	Radius of Gyration (cm)
200 x 200	57.75	3.93
200 x 200	76	3.9
200 x 200	93.75	3.88
250 x 250	119.4	4.9
250 x 250	162.6	4.83
90 x 75	14.04	1.56
100 x 75	11.87	1.61
100 x 75	16.5	1.58
125 x 75	13.62	1.64
125 x 75	19	1.61
125 x 75	24.31	1.6
125 x 90	20.5	1.93
125 x 90	26.26	1.91
150 x 90	20.94	1.96
150 x 90	27.36	1.93
150 x 100	21.84	2.18
150 x 100	28.56	2.15
150 x 100	35.25	2.14

เงื่อนไขการออกแบบของสะพานโครงข้อหมุนเหล็ก

เงื่อนไขของสะพานโครงข้อหมุนเหล็กในกรณีศึกษาที่ 1 เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบน้ำหนักและรูปร่างที่เหมาะสมกับงานวิจัยก่อนหน้า ได้แก่ เงื่อนไขที่เหมือนกัน คือ ความยาวของสะพานเท่ากับ 10 เมตร , ความสูงของสะพานเท่ากับ 1 เมตร และจำนวนชิ้นส่วนเท่ากับ 37 ชิ้น ขณะที่เงื่อนไขที่แตกต่างกันเป็นไปตามตาราง 4.6

ตาราง 4.8 เจริญไขสะพานโครงข้อหมุนหลัก

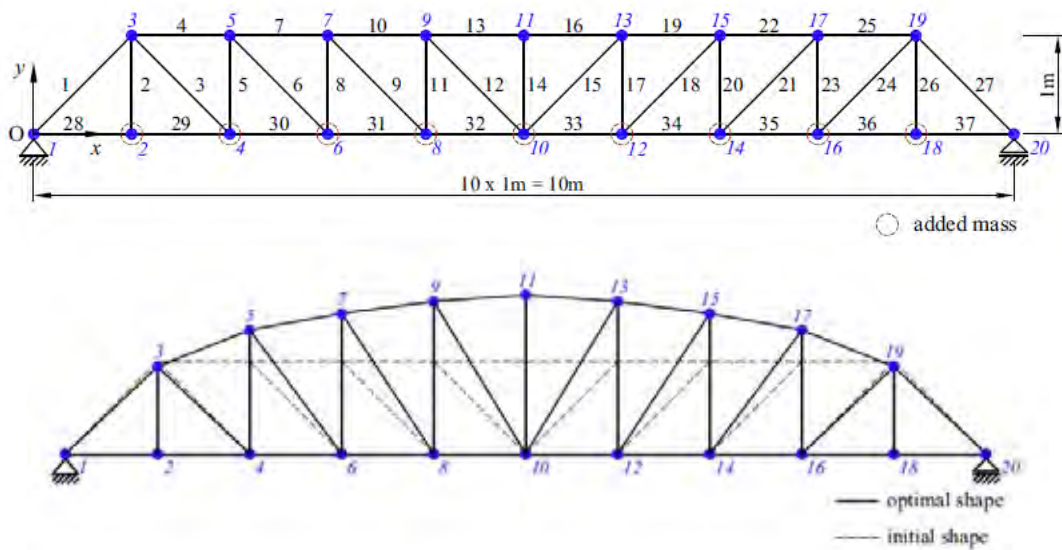
เงื่อนไข	[1] (วิธี RO)	[4] (วิธี AHEFA)	[3] (วิธี SBO)	[2] (วิธี SGA)	งานวิจัยนี้ (วิธี HS)
หน้าตัด(ตร.ซม.)					
-ชั้นส่วน upper chord	-ส้อมตั้งแต่ 1 ถึง 3.5	-ส้อมเริ่มต้นที่ 1	-ส้อมตั้งแต่ 1 ถึง 10	-ส้อมเริ่มต้นที่ 1	-ส้อมจากตารางหลัก
-ชั้นส่วนบริเวณกลางสะพาน	-ส้อมตั้งแต่ 1 ถึง 3.5	-ส้อมเริ่มต้นที่ 1	-ส้อมตั้งแต่ 1 ถึง 10	-ส้อมเริ่มต้นที่ 1	-ส้อมจากตารางหลัก
-ชั้นส่วน lower chord	- กำหนดค่าเท่ากับ 40	- กำหนดค่าเท่ากับ 40	-กำหนดค่าเท่ากับ 40	-กำหนดค่าเท่ากับ 40	-กำหนดเท่ากับ 40.14
การขยับของโหนด					
-โหนดบริเวณ upper chord	-ขยับแบบสมมาตร เฉพาะในแนวแกน Y ตั้งแต่ 1 ม. ถึง 2.5 ม.	-ขยับแบบสมมาตร เฉพาะในแนวแกน Y	-ขยับแบบสมมาตร เฉพาะในแนวแกน Y	-ขยับแบบสมมาตร เฉพาะในแนวแกน Y	-ขยับแบบสมมาตร เฉพาะในแนวแกน Y ตั้งแต่ 1 ม. ถึง 2.5 ม.
-โหนดบริเวณ lower chord	-ไม่สามารถขยับได้	-ไม่สามารถขยับได้	-ไม่สามารถขยับได้	-ไม่สามารถขยับได้	-ไม่สามารถขยับได้

4.1.1 ผลการออกแบบรูปร่างที่เหมาะสม

ผลการออกแบบรูปร่างที่เหมาะสมของกรณีศึกษาที่ 1 และงานวิจัยในอดีต เป็นดังต่อไปนี้

1. รูปร่างสะพานโครงข้อหมุนหลักจากวิธี AHEFA

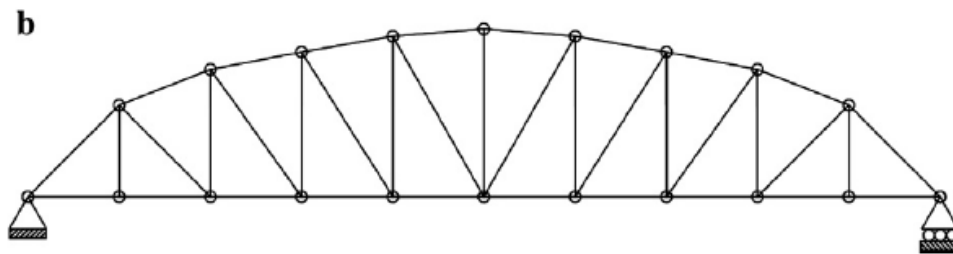
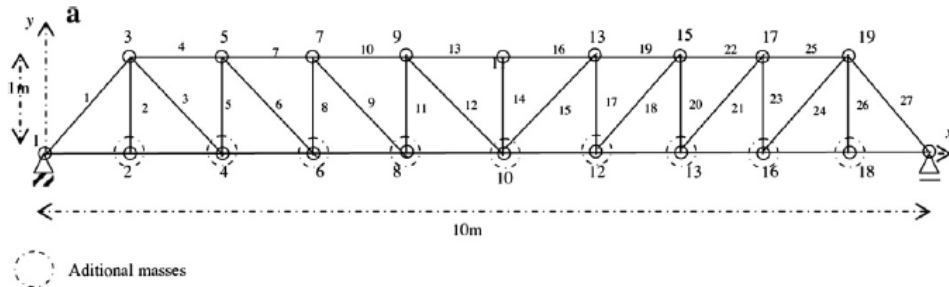
รูปร่างของสะพานก่อนและหลังใช้วิธี AHEFA ในการหารูปร่างที่เหมาะสมเป็นดังรูป 4.2



รูป 4.2 รูปร่างสะพานก่อนและหลังหารูปร่างที่เหมาะสม
ที่มา,[4]

2. รูปร่างสะพานโครงข้อหมุนเหล็กจากวิธี RO

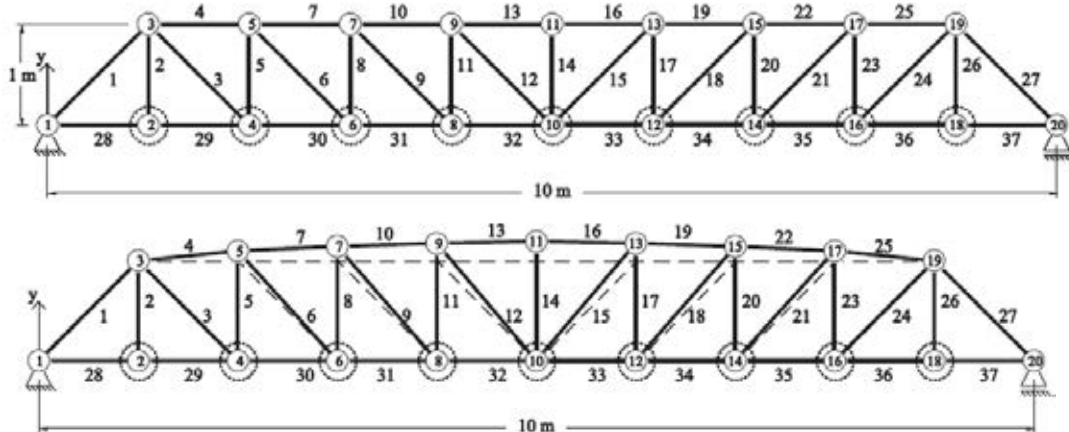
รูปร่างของสะพานก่อนและหลังใช้วิธี RO ในการหารูปร่างที่เหมาะสมเป็นดังรูป 4.3



รูป 4.3 รูปร่างสะพานก่อนและหลังหารูปร่างที่เหมาะสมด้วยวิธี RO
ที่มา, [1]

3. รูปร่างสะพานโครงข้อหมุนเหล็กจากวิธี SBO

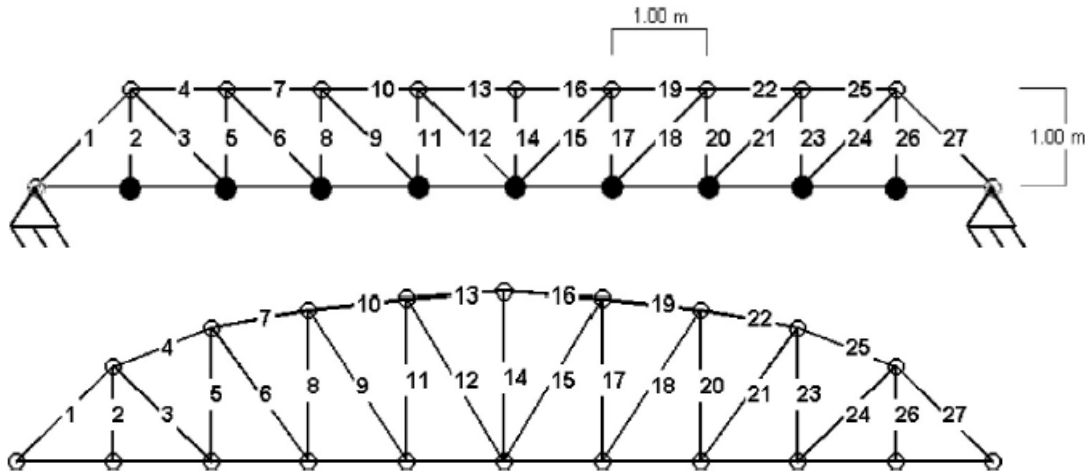
รูปร่างของสะพานทั้งก่อนและหลังใช้วิธี SBO ในการหารูปร่างที่เหมาะสมเป็นดังรูป 4.4



รูป 4.4 รูปร่างสะพานก่อนและหลังหารูปร่างที่เหมาะสมด้วยวิธี SBO
ที่มา, [3]

4. รูปร่างสะพานโครงข้อหมุนเหล็กจากวิธี SGA

รูปร่างของสะพานทั้งก่อนและหลังใช้วิธี SGA ในการหารูปร่างที่เหมาะสมเป็นดังรูป 4.5

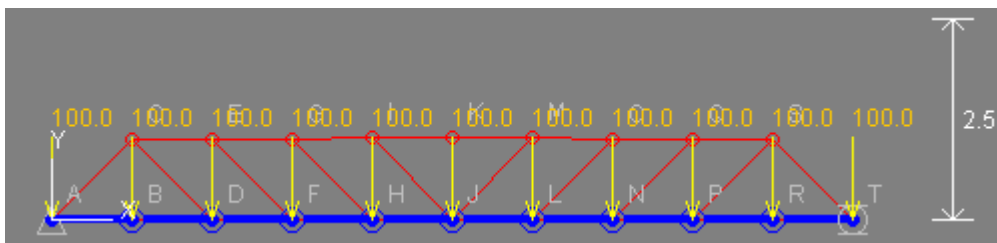
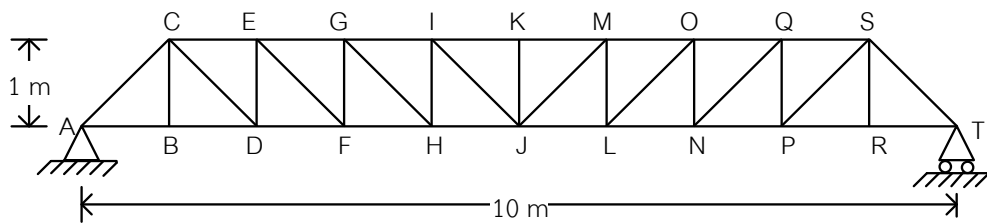


รูป 4.5 รูปร่างสะพานก่อนและหลังหารูปร่างที่เหมาะสมด้วยวิธี SGA

ที่มา, [2]

5. รูปร่างสะพานโครงข้อหมุนเหล็กจากวิธี HS ด้วยโปรแกรมจาวา

รูปร่างของสะพานทั้งก่อนและหลังใช้วิธี SGA ในการหารูปร่างที่เหมาะสมเป็นดังรูป 4.6



รูป 4.6 รูปร่างสะพานก่อนและหลังหารูปร่างที่เหมาะสมด้วยโปรแกรมจาวา

4.1.2 ผลการออกแบบขนาดที่เหมาะสม

ผลลัพธ์ที่ได้ของการหาหน้าหนักที่น้อยที่สุดของสะพานโครงข้อหมุนเหล็กรูปแบบที่ 1 เปรียบเทียบกับงานวิจัยในอดีตเป็นดังตาราง 4.7

ตาราง 4.9 การเปรียบเทียบค่าตอบที่ดีที่สุดของกรณีศึกษาที่ 1 กับงานวิจัยก่อนหน้า

ตัวแปร Y_j (ม.), A_i (ตร.ซม.)	วิธี PSO[19] Kaveh	วิธี HS [6] Cheng	วิธี RO [1] Kaveh	วิธี SBO [3] Farshchin	วิธี SGA [2] Gonçalves	วิธี HS (งานวิจัยนี้)
ความสูงของโหนดจากพื้นสะพาน						
Y_3, Y_{19}	0.96	0.84	1.00	0.96	0.97	1.01
Y_5, Y_{17}	1.40	1.24	1.39	1.33	1.36	1.01
Y_7, Y_{15}	1.59	1.44	1.59	1.53	1.54	1.01
Y_9, Y_{13}	1.88	1.53	1.75	1.67	1.65	1.02
Y_{11}	2.09	1.60	1.83	1.75	1.72	1.03
เหล็กชิ้นส่วนตรงกลางสะพาน						
A_1, A_{27}	2.68	3.20	3.01	2.92	2.91	1.43
A_2, A_{26}	1.16	1.11	1.06	1.00	1.06	1.43
A_3, A_{24}	2.35	1.19	1.00	1.00	1.00	1.43
A_5, A_{23}	1.28	1.40	1.63	1.24	1.27	1.43
A_6, A_{21}	1.48	1.09	1.67	1.20	1.23	1.43
A_8, A_{20}	1.12	1.22	1.66	1.37	1.32	1.43
A_9, A_{18}	2.12	1.70	1.49	1.46	1.52	1.43
A_{11}, A_{17}	2.98	1.01	1.53	1.28	1.24	1.43
A_{12}, A_{15}	1.20	1.40	1.48	1.35	1.25	1.43
A เหล็กชิ้นส่วนด้านบน						
A_4, A_{25}	1.72	3.33	2.26	2.66	2.40	1.43
A_7, A_{22}	4.69	2.19	2.06	2.48	2.72	1.43
A_{10}, A_{19}	3.86	3.19	2.47	2.44	2.56	1.43
A_{13}, A_{16}	1.26	2.85	2.41	2.38	2.37	1.43
A เหล็กแนวตั้งกึ่งกลางสะพาน						
A_{14}	3.33	1.03	1.00	1.00	1.00	1.43

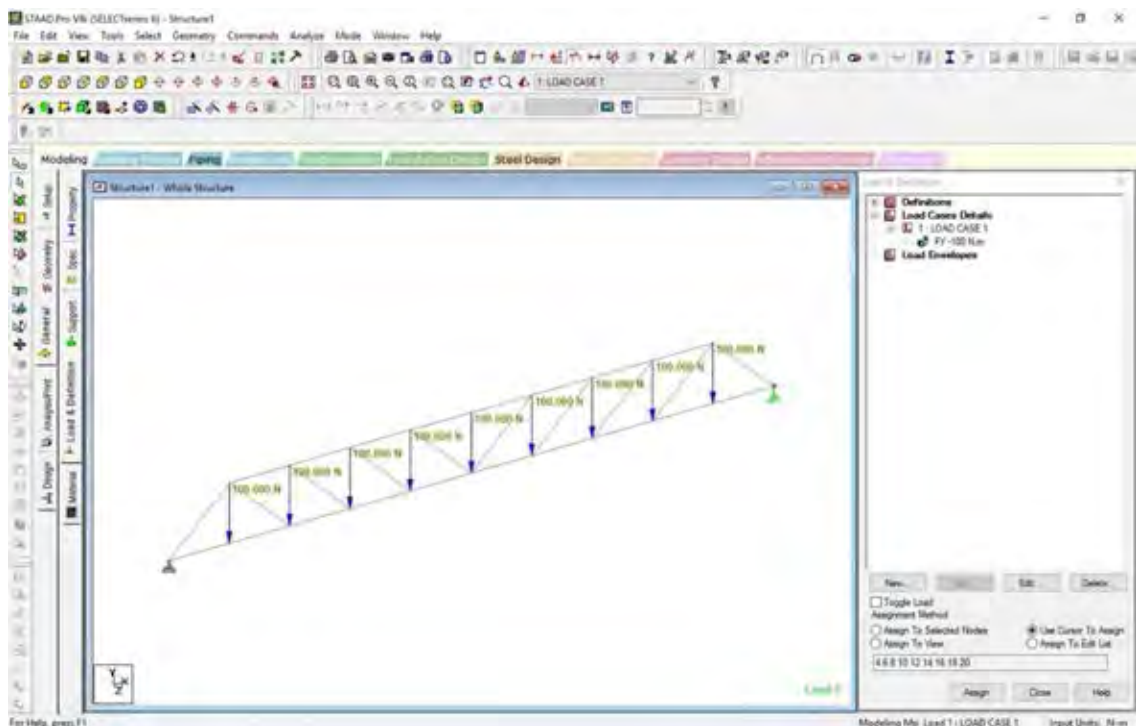
ตาราง 4.10 การเปรียบเทียบค่าตอบที่ดีที่สุดของกรณีศึกษาที่ 1 กับงานวิจัยก่อนหน้า (ต่อ)

ตัวแปร Y_j (ม.), A_i (ตร.ซม.)	วิธี PSO[19] Kaveh	วิธี HS [6] Cheng	วิธี RO [1] Kaveh	วิธี SBO [3] Farshchin	วิธี SGA [2] Gonçalves	วิธี HS (งานวิจัยนี้)
A เหล็กชั้นล่างทั้งหมดของสะพาน	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.52
น้ำหนักที่ดีที่สุด (กก.)	377	361	364	359	359	351

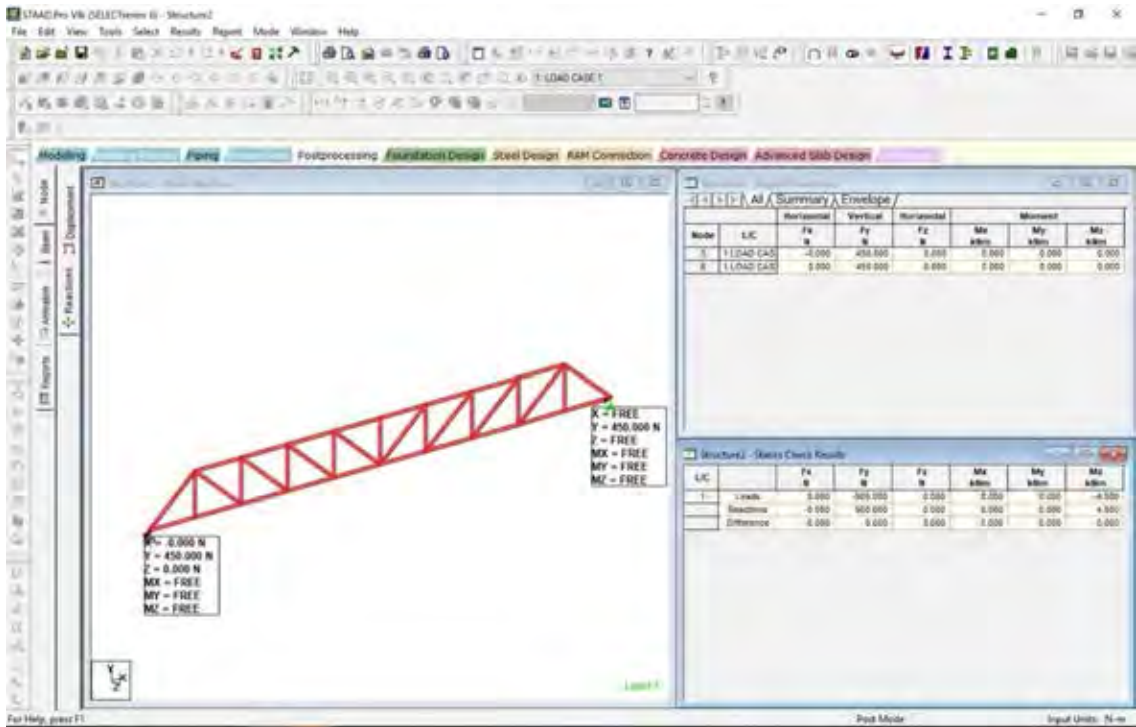
ผลลัพธ์ที่ได้พบว่า น้ำหนักที่น้อยที่สุดของกรณีศึกษาที่ 1 ที่ได้จากการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ภาษาจาวาด้วยวิธีฮาร์โมนิเสิร์ชมีน้ำหนักน้อยกว่าน้ำหนักที่น้อยที่สุดที่ได้จากงานวิจัยก่อนหน้าทั้ง 4 งานวิจัย โดยได้น้ำหนักที่ดีที่สุดเท่ากับ 351 กิโลกรัม หน้าตัดที่เหมาะสมของสะพานกรณีศึกษาที่ 1 คือ เหล็กชั้นล่างใช้หน้าตัด L 175 x 175 x 40.52 และเหล็กชั้นส่วนอื่นๆของสะพานใช้หน้าตัด L 25 x 25 x 1.43

4.1.3 การวิเคราะห์โครงสร้างด้วยโปรแกรม Staad Pro

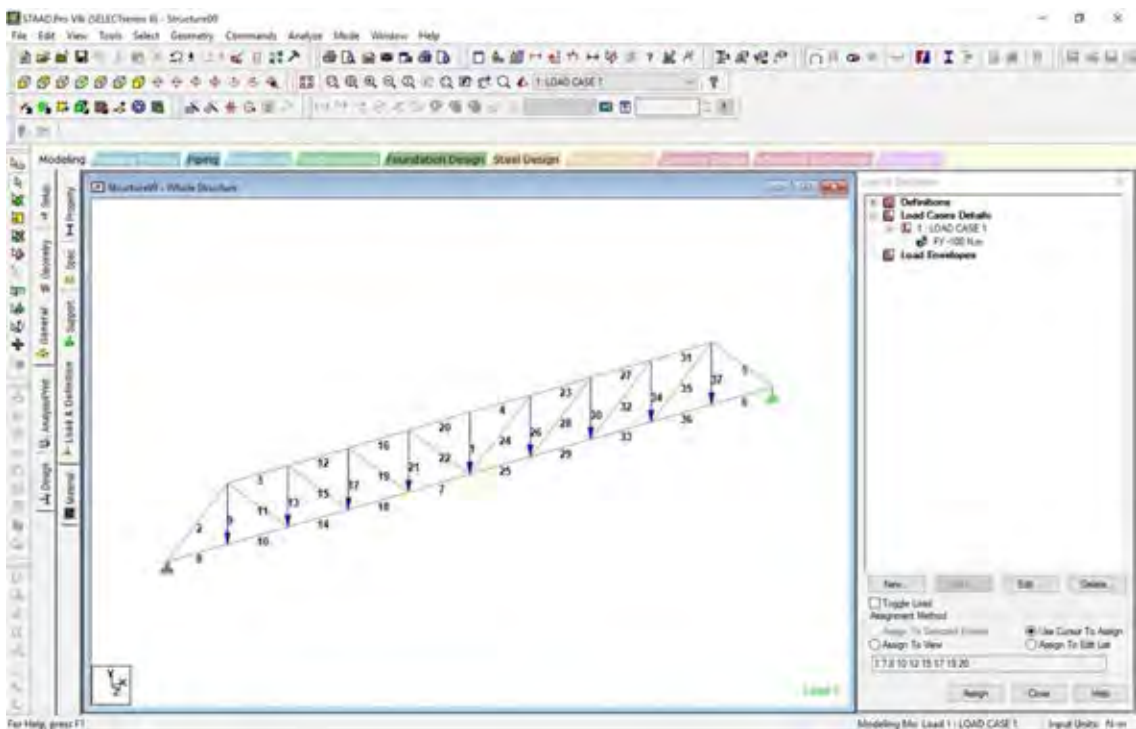
มีจุดประสงค์เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ภาษาจาวา โดยตรวจสอบการออกแบบและการวิเคราะห์โครงสร้าง ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้พบว่าทุกชิ้นส่วนของสะพานผ่านเกณฑ์เงื่อนไขการวิเคราะห์ออกแบบด้วยวิธี LRFD ทั้งหมด แสดงดังรูป 4.7 ถึง 4.9 และผลลัพธ์การเปรียบเทียบแรงภายในและการกระจัดของโหนดระหว่างโปรแกรม Staad Pro และโปรแกรมจาวาเป็นดังตาราง 4.8 และ 4.9



รูป 4.7 การใส่น้ำหนักบรรทุกทุกในกรณีศึกษาที่ 1 ด้วยโปรแกรม Staad Pro



รูป 4.8 การวิเคราะห์กรณศึกษาที่ 1 ด้วยโปรแกรม Staad Pro



รูป 4.9 การแสดงชิ้นส่วนหน้าตัดของกรณศึกษาที่ 1 ในโปรแกรม Staad Pro

ตาราง 4.11 การเปรียบเทียบแรงภายใน

ชิ้นส่วน	โปรแกรมจาวา (N)	โปรแกรม Staad Pro (N)
AB	320.55	320
AC	-906.66	-900
BC	119.65	120
BD	320.55	320
CD	710.61	700
CE	-1143.59	-1100
DF	571.79	575
ED	-377.27	-375
EF	509.01	500
EG	-1503.51	-1500
FG	-234.71	-240
FH	751.75	750
GH	307.40	300
GI	-1720.88	-1700
HI	-92.16	-90
HJ	860.44	850
IJ	105.80	100
IK	-1795.70	-1800
JK	-11.79	-10
JL	522.06	525
JM	106.91	100
KM	-1795.70	-1800
LM	-92.94	-90
JN	675.97	675
LO	302.96	300
MO	-1720.1	-1700



210808741

CT :thesis 5970240021 thesis / rev: 01082562 13:45:58 / seq: 6

ตาราง 4.12 การเปรียบเทียบแรงภายใน(ต่อ)

ชิ้นส่วน	โปรแกรมจาวา (N)	โปรแกรม Staad Pro (N)
NO	-231.57	-240
NP	572.58	575
NQ	510.12	500
OQ	-1505.87	-1500
PQ	-378.06	-375
PR	320.94	325
PS	711.72	710
QS	-1145.16	-1140
RS	119.65	115
RT	320.94	315
ST	-907.77	-900

ตาราง 4.13 การเปรียบเทียบการกระจัดของโหนด (nodal displacement)

โหนด	โปรแกรมจาวา		โปรแกรม Staad Pro	
	แกน x (mm)	แกน y (mm)	แกน x (mm)	แกน y (mm)
A	0.0	0.0	0.0	0.0
B	0.160	-0.176	0.148	-0.190
C	0.004	-0.533	0.005	-0.663
D	0.003	-0.670	0.005	-0.663
E	-0.138	-0.200	-0.139	-0.190
F	0.001	-0.169	0.001	-0.193
G	0.001	-0.001	0.001	-0.368
H	0.115	-0.375	0.121	-0.377
I	0.0022	-0.500	0.002	-0.519
J	0.140	-0.500	0.085	-0.524
K	0.003	-0.595	0.003	-0.618
L	0.016	-0.605	0.046	-0.619

ตาราง 4.14 การเปรียบเทียบการกระจัดของโหนด (nodal displacement)

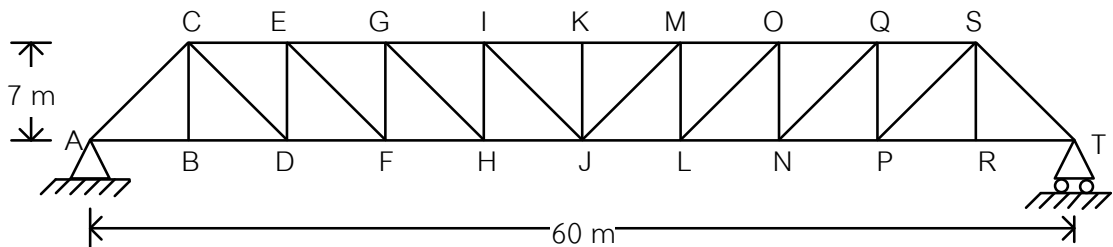
(ต่อ)

โหนด	โปรแกรมจาวา		โปรแกรม Staad Pro	
	แกน x (mm)	แกน y (mm)	แกน x (mm)	แกน y (mm)
M	-0.046	-0.610	-0.036	-0.620
N	0.002	-0.623	0.006	-0.618
O	-0.040	-0.532	-0.076	-0.524
P	0.003	-0.500	0.007	-0.519
Q	-0.100	-0.368	-0.110	-0.379
R	0.007	-0.365	0.008	-0.370
S	-0.017	-0.189	0.009	-0.194
T	0.000	0.000	0.000	0.000

4.2 กรณีศึกษาที่ 2

กรณีศึกษาที่ 2 คือ สะพานโครงข้อหมุนเหล็กรูปแบบที่ 1 มีจำนวนชิ้นส่วนทั้งหมด 37 ชิ้น ยาว

60 เมตร สูง 7 เมตร



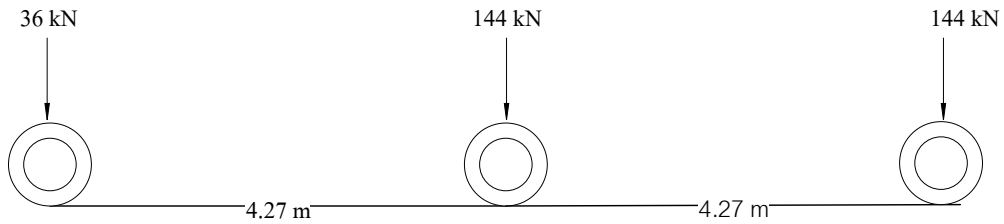
รูป 4.10 สะพานโครงข้อหมุนเหล็กรูปแบบที่ 1

น้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อสะพานโครงข้อหมุนเหล็ก

น้ำหนักที่กระทำลงบนกรณีศึกษาที่ 2 นั้นประกอบด้วย

1. น้ำหนักบรรทุกคงที่แบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่
 - a. น้ำหนักของชิ้นส่วนโครงข้อหมุนแต่ละชิ้น คิดจากโปรแกรม JSM โดยคำนวณจากน้ำหนักแต่ละชิ้นส่วนจะถ่ายไปยังปลาย 2 ข้างของชิ้นส่วนนั้นเท่าๆกัน โดยปลายของชิ้นส่วนแต่ละข้างจะรับน้ำหนักเท่ากับ ครึ่งหนึ่งของน้ำหนักชิ้นส่วน
 - b. ชิ้นส่วนพื้น คือ พื้นคอนกรีตหนา 40 cm กว้าง 7.5 m คิดเป็นน้ำหนักเท่ากับ $2400(40)(10^{-2})(7.5) = 72 \text{ kN/m}$

2. น้ำหนักบรรทุกจร ได้แก่ น้ำหนักรถบรรทุก HS20 ดังนี้
 - a. แรงที่ล้อหน้าของรถบรรทุกกระทำต่อสะพานเท่ากับ 36 kN
 - b. แรงที่ล้อกลางของรถบรรทุกกระทำต่อสะพานเท่ากับ 144 kN
 - c. แรงที่ล้อหลังของรถบรรทุกกระทำต่อสะพานเท่ากับ 144 kN



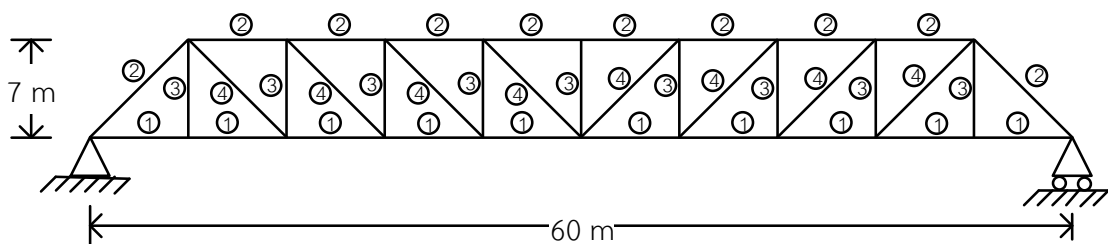
รูป 4.11 น้ำหนักบรรทุกทุกแต่ละล้อกระทำลงพื้นสะพาน

คำนวณน้ำหนักบรรทุกเคลื่อนที่ (moving loads) โดยการขยับของรถบรรทุกครั้งละ 2 เมตร

3. น้ำหนักเนื่องจากแรงกระทำ มีค่าเท่ากับ $L_1 = L_s(1+l) =$ น้ำหนักรถบรรทุกแต่ละล้อ \times 1.155

หน้าตัดที่ใช้ในการสุ่มเลือกและการแบ่งกลุ่มหน้าตัดของสะพานโครงข้อหมุนเหล็ก

การหาขนาดและรูปร่างที่เหมาะสมของสะพานโครงข้อหมุนเหล็กในกรณีศึกษาที่ 2 หน้าตัดที่ใช้ในการออกแบบนำมาจาก การสุ่มขนาดหน้าตัดจากตารางเหล็กรูปพรรณมาตรฐานในไทย โดยหน้าตัดที่เลือกใช้ในการสุ่มคือ เหล็กหน้าตัดรูปปีกกว้าง ดังตาราง 4.8 และแบ่งกลุ่มหน้าตัดออกเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ เหล็กชิ้นส่วน upper bound , เหล็กชิ้นส่วน lower bound , เหล็กแนวตั้ง(vertical) และเหล็กแนวเฉียง(diagonal) ดังรูป 4.10



รูป 4.12 การแบ่งกลุ่มหน้าตัดของสะพานโครงข้อหมุนเหล็กในกรณีศึกษาที่ 2

- โดยที่ ชิ้นส่วนหมายเลข 1 = เหล็กชิ้นส่วน lower bound
 ชิ้นส่วนหมายเลข 2 = เหล็กชิ้นส่วน upper bound
 ชิ้นส่วนหมายเลข 3 = เหล็กแนวตั้ง (vertical)
 ชิ้นส่วนหมายเลข 4 = เหล็กแนวเฉียง (diagonal)

ตาราง 4.15 ข้อมูลเหล็กหน้าตัดรูปปีกกว้าง

Sectional dimension(mm.)	Area (sq.cm.)	Radius of Gyration	
		r_x (cm)	r_y (cm)
d x b			
100 x 50	11.85	3.96	1.12
100 x 100	21.9	4.16	2.47
125 x 60	16.84	4.95	1.32
125 x 125	30.31	5.29	3.11
150 x 75	17.85	6.11	1.66
150 x 100	26.84	6.17	2.37
150 x 150	40.14	6.39	3.75
175 x 90	23.04	7.26	2.06
175 x 125	29.65	7.18	2.97
175 x 175	51.21	7.5	4.38
200 x 100	23.18	8.26	2.21
200 x 100	27.16	8.24	2.22
200 x 150	39.01	8.3	3.61
200 x 200	63.53	8.62	5.02
200 x 200	71.53	8.35	4.88
200 x 200	83.69	8.83	5.13
250 x 125	32.68	10.4	2.79
250 x 125	37.66	10.4	2.79
250 x 175	56.24	10.4	4.18
250 x 250	82.06	10.3	5.98
250 x 250	84.7	10.8	6.29
250 x 250	92.18	10.8	6.29
250 x 250	104.7	10.5	6.09
300 x 150	40.8	12.4	3.29
300 x 150	46.78	12.4	3.29
300 x 200	72.38	12.5	4.71
300 x 200	83.36	12.6	4.77
300 x 300	107.7	12.5	7.16
300 x 300	110.8	13	7.51



210808741

CU Thesisis 5970240021 thesis / recv: 01082562 13:45:58 / seq: 6

ตาราง 4.16 ข้อมูลเหล็กหน้าตัดรูปปีกกว้าง (ต่อ)

Sectional dimension(mm.)	Area (sq.cm.)	Radius of Gyration	
		r_x (cm)	r_y (cm)
d x b			
300 x 300	119.8	13.1	7.51
300 x 300	134.8	12.6	7.26
300 x 300	134.8	13.2	7.57

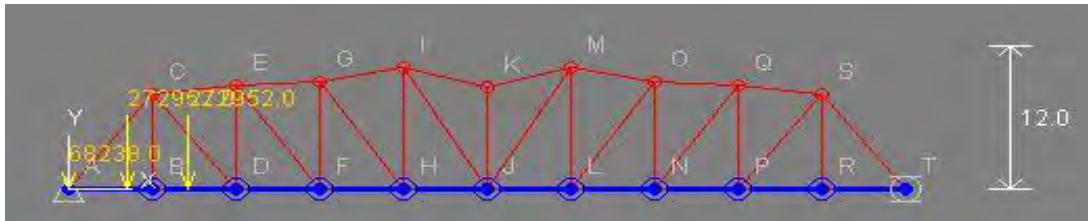
ผลการออกแบบ

ผลลัพธ์ที่ได้จากการออกแบบสะพานโครงข้อหมุนเหล็กในกรณีศึกษาที่ 2 ด้วยวิธีฮาร์โมนี
เสิร์ช เป็นดังตาราง 4.11

ตาราง 4.17 ค่าตอบที่ดีที่สุดของกรณีศึกษาที่ 2

ตัวแปร	ค่าตอบที่ดีที่สุด
การขยับของโหนดในแนวแกน y (ม.)	
C, S	1.00
E, Q	1.76
G, O	1.96
I, M	3.24
K	1.52
พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	
เหล็กชั้นส่วน upper chord	11.85
เหล็กแนวตั้ง	21.90
เหล็กแนวเฉียง	72.38
เหล็กชั้นส่วน lower chord	72.38
น้ำหนักที่ดีที่สุด(กก.)	10454

ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ภาษาจาวาพบว่า น้ำหนักที่ดีที่สุดเท่ากับ 10454 กิโลกรัม เหล็กชิ้นส่วน upper chord ใช้หน้าตัด H 100 x 50 x 11.85, เหล็กแนวตั้งใช้หน้าตัด H 100 x 100 x 21.9, เหล็กแนวเฉียงและชิ้น lower chord ใช้หน้าตัด H 300 x 200 x 72.38 และรูปร่างที่เหมาะสมที่สุดเป็นดังรูป 4.13

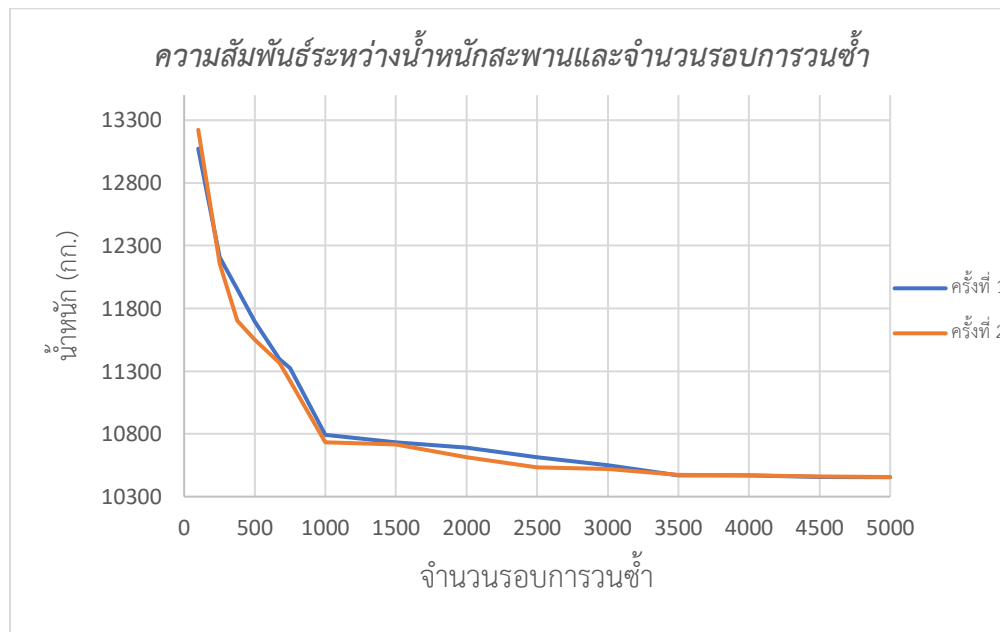


รูป 4.13 รูปร่างที่เหมาะสมของกรณีศึกษาที่ 2

ที่มา, โปรแกรม jsm

ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักสะพานกับจำนวนรอบการวนซ้ำ

เมื่อเพิ่มจำนวนรอบของการวนซ้ำในแต่ละครั้งของการหาคำตอบที่ดีที่สุดจาก 100 ถึง 5000 รอบตามลำดับ จะได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ดังรูป 4.14



รูป 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักสะพานและจำนวนรอบการวนซ้ำ

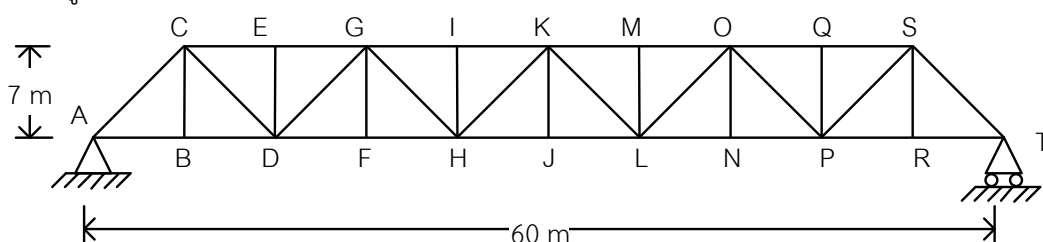
จากกราฟจะเห็นได้ว่าเมื่อจำนวนรอบของการวนซ้ำมากขึ้น คำตอบจะลู่เข้าสู่ค่าคำตอบที่แท้จริงและได้น้ำหนักที่ดีที่สุดออกมา



210808741

4.3 กรณีศึกษาที่ 3

กรณีศึกษาที่ 3 สะพานโครงข้อหมุนเหล็กรูปแบบที่ 2 จำนวนชิ้นส่วนทั้งหมด 37 ชิ้น ยาว 60 เมตร สูง 7 เมตร



รูป 4.15 สะพานโครงข้อหมุนเหล็กรูปแบบที่ 2

น้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อสะพานโครงข้อหมุนเหล็ก

น้ำหนักที่กระทำลงบนกรณีศึกษาที่ 3 ใช้น้ำหนักบรรทุกแบบเดียวกับที่กระทำลงบนกรณีศึกษาที่ 2

หน้าตัดที่ใช้ในการสุ่มเลือกและการแบ่งกลุ่มหน้าตัดของสะพานโครงข้อหมุนเหล็ก

การหาขนาดและรูปร่างที่เหมาะสมของสะพานโครงข้อหมุนเหล็กในกรณีศึกษาที่ 3 หน้าตัดที่ใช้ในการออกแบบนำมาจากการสุ่มขนาดหน้าตัดจากตารางเหล็กรูปพรรณมาตรฐานในไทย โดยหน้าตัดที่เลือกใช้ในการสุ่มคือ เหล็กหน้าตัดรูปปีกกว้าง ดังตาราง 4.8 และแบ่งกลุ่มหน้าตัดออกเป็น 4 กลุ่มเหมือนกรณีศึกษาที่ 2

ผลการออกแบบ

ผลลัพธ์ที่ได้จากการออกแบบเป็นดังตาราง 4.12

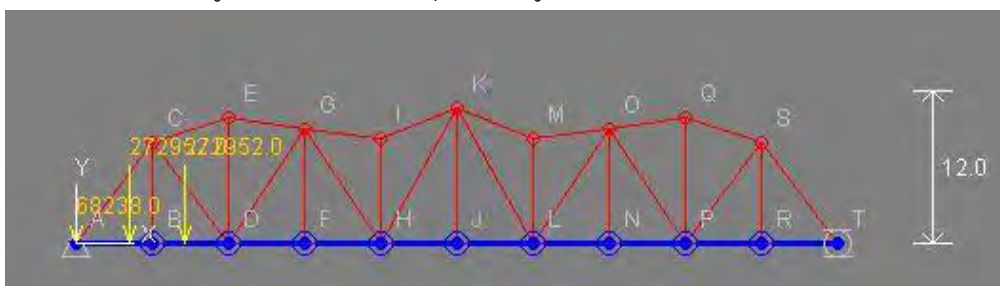
ตาราง 4.18 คำตอบที่ดีที่สุดของกรณีศึกษาที่ 3

ตัวแปร	คำตอบที่ดีที่สุด
ความสูงของโหนดจากพื้นสะพาน (ม.)	
C, S	1.02
E, Q	2.91
G, O	1.99
I, M	1.29

ตาราง 4.19 ค่าตอบที่ดีที่สุดของกรณีศึกษาที่ 3 (ต่อ)

ตัวแปร	ค่าตอบที่ดีที่สุด
ความสูงของโหนดจากพื้นสะพาน (ม.)	
K	3.71
พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	
เหล็กชั้นส่วน upper chord	11.85
เหล็กชั้นส่วนแนวตั้ง	51.21
เหล็กชั้นส่วนแนวเฉียง	72.38
เหล็กชั้นส่วน lower chord	72.38
น้ำหนักที่ดีที่สุด(กก.)	12506

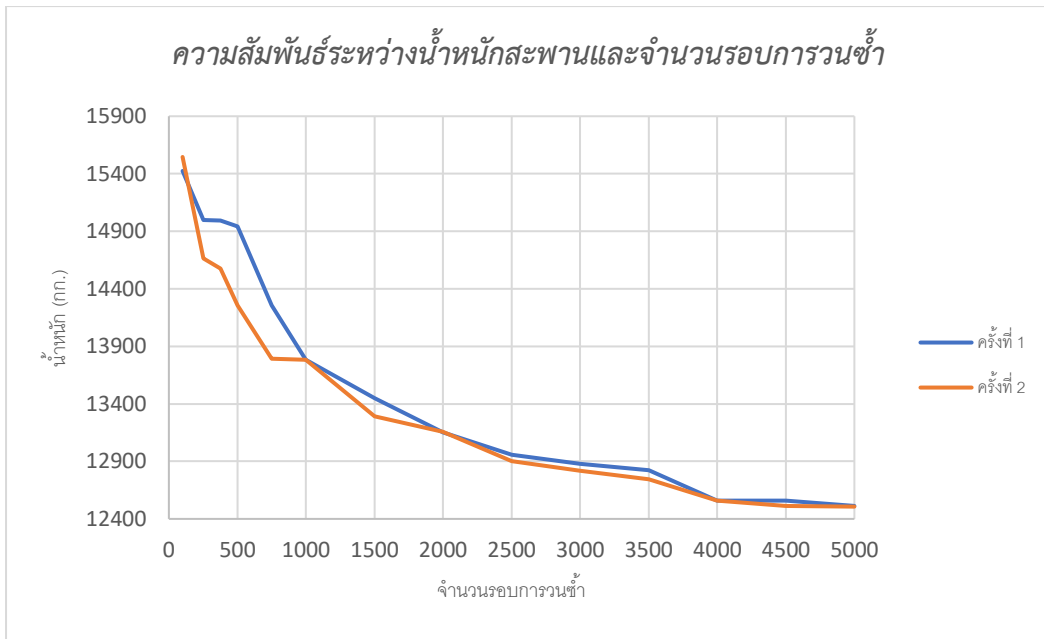
ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ภาษาจาวาพบว่า น้ำหนักที่ดีที่สุดเท่ากับ 12506 กิโลกรัม เหล็กชั้นส่วน upper chord ใช้หน้าตัด H 100 x 50 x 11.85 เหล็กชั้นส่วนแนวตั้งใช้หน้าตัด H 175 x 175 x 51.21 เหล็กชั้นส่วนแนวเฉียงและชั้นส่วน lower chord ใช้หน้าตัด H 300 x 200 x 72.38 และรูปร่างที่เหมาะสมที่สุดเป็นดังรูป 4.16



รูป 4.16 รูปร่างสะพานที่เหมาะสม

ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักสะพานกับจำนวนครั้งในการหาคำตอบ

เมื่อเพิ่มจำนวนรอบของการวนซ้ำในแต่ละครั้งของการหาคำตอบที่ดีที่สุดจาก 100 ถึง 5000 รอบตามลำดับ จะได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ดังรูป 4.17

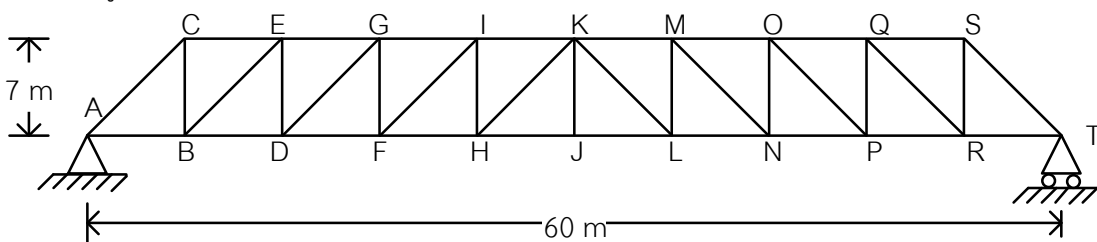


รูป 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักสะพานและจำนวนรอบการวนซ้ำ

จากกราฟจะเห็นได้ว่าน้ำหนักของสะพานโครงข้อหมุนเหล็กในกรณีศึกษาที่ 3 ค่อยๆ าลู่เข้าสู่ค่าน้ำหนักที่น้อยที่สุดเท่ากับ 12506.59 กิโลกรัม สอดคล้องตามหลักการของวิธีฮาร์โมนีเสิร์ชที่สามารถค้นพบคำตอบที่ดีขึ้นได้ในทุกๆ รอบของการวนซ้ำ

4.4 กรณีศึกษาที่ 4

กรณีศึกษาที่ 4 คือ สะพานโครงข้อหมุนเหล็กรูปแบบที่ 3 จำนวนชิ้นส่วนทั้งหมด 37 ชิ้น ยาว 60 เมตร สูง 7 เมตร



รูป 4.18 สะพานโครงข้อหมุนเหล็กรูปแบบที่ 3

น้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อสะพานโครงข้อหมุนเหล็ก

น้ำหนักที่กระทำลงบนกรณีศึกษาที่ 4 ใช้น้ำหนักบรรทุกแบบเดียวกับที่กระทำลงบนกรณีศึกษาที่ 2

หน้าตัดที่ใช้ในการสุ่มเลือกและการแบ่งกลุ่มหน้าตัดของสะพานโครงข้อหมุนเหล็ก

การหาขนาดและรูปร่างที่เหมาะสมของสะพานโครงข้อหมุนเหล็กในกรณีศึกษาที่ 4 หน้าตัดที่ใช้ในการออกแบบนำมาจากการสุ่มขนาดหน้าตัดจากรายงเหล็กรูปพรรณมาตรฐานในไทย โดยหน้า

ตัดที่เลือกใช้ในการสุมคือ เหล็กหน้าตัดรูปปีกกว้าง ดังตาราง 4.8 และแบ่งกลุ่มหน้าตัดออกเป็น 4 กลุ่มเหมือนกรณีศึกษาที่ 2

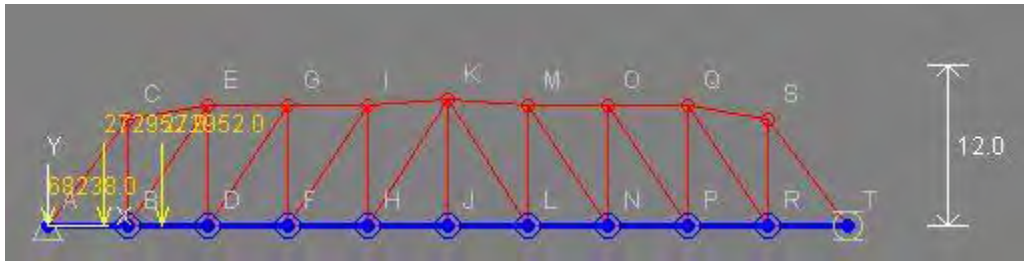
ผลการออกแบบ

ผลการออกแบบเป็นดังตาราง 4.13

ตาราง 4.20 คำตอบที่ดีที่สุดของกรณีศึกษาที่ 4

	คำตอบที่ดีที่สุด
ความสูงของโหนดจากพื้นสะพาน (ม.)	
C, S	1.02
E, Q	2.00
G, O	1.96
I, M	2.03
K	2.94
พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	
เหล็กชั้นส่วน upper chord	11.85
เหล็กชั้นส่วนแนวตั้ง	82.06
เหล็กชั้นส่วนแนวเฉียง	72.38
เหล็กชั้นส่วน lower chord	82.06
น้ำหนักที่ดีที่สุด(กก.)	16276

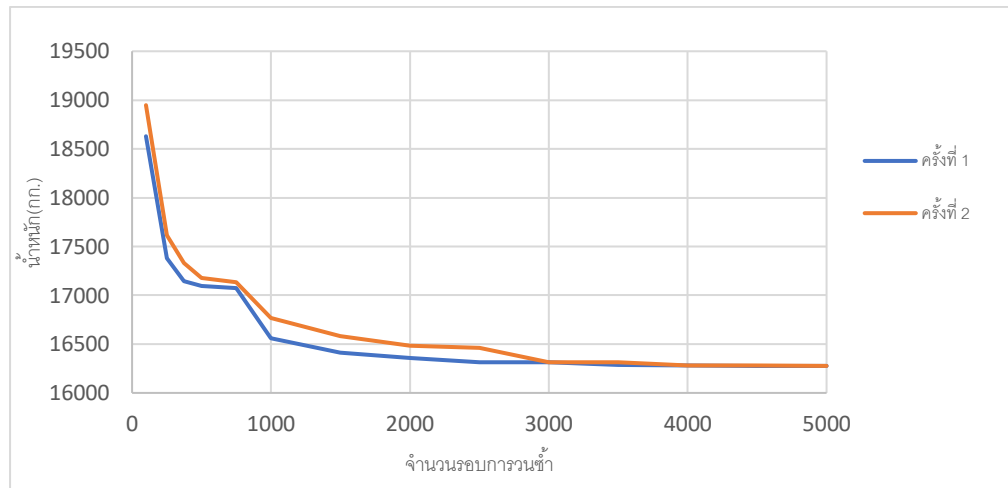
ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ภาษาจาวาพบว่า น้ำหนักที่ดีที่สุดเท่ากับ 16276 กิโลกรัม เหล็กชั้นส่วน upper chord ใช้หน้าตัด H 100 x 50 x 11.85 เหล็กชั้นส่วนแนวเฉียงใช้หน้าตัด H 300 x 200 x 72.38 เหล็กชั้นส่วนแนวตั้งและชั้นส่วน lower chord ใช้หน้าตัด H 250 x 250 x 82.06 และรูปร่างที่เหมาะสมที่สุดเป็นดังรูป 4.19



รูป 4.19 รูปร่างที่ดีที่สุดของกรณีศึกษาที่ 4

ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักสะพานกับจำนวนครั้งในการหาคำตอบ

เมื่อเพิ่มจำนวนรอบของการวนซ้ำในแต่ละครั้งของการหาคำตอบที่ดีที่สุดจาก 100 ถึง 5000 รอบตามลำดับ จะได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ดังรูป 4.20

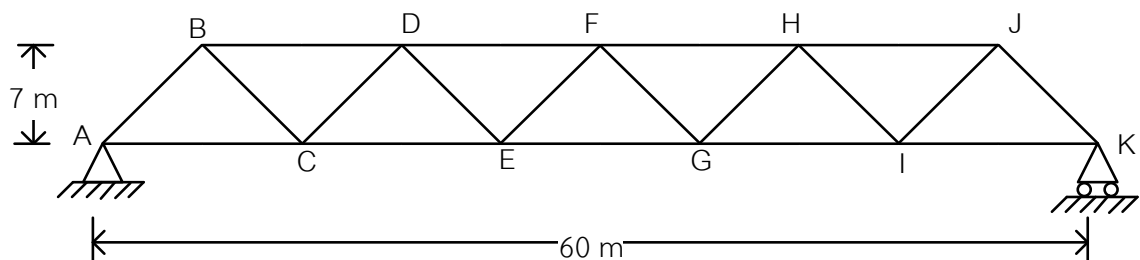


รูป 4.20 การลู่เข้าสู่คำตอบของกรณีศึกษาที่ 4

จากกราฟจะเห็นได้ว่าในทุกๆรอบของการวนซ้ำ น้ำหนักของสะพานโครงข้อหมุนเหล็กในกรณีศึกษาที่ 4 ค่อยๆลดลงและลู่เข้าสู่ค่าน้ำหนักที่น้อยที่สุด

4.5 กรณีศึกษาที่ 5

กรณีศึกษาที่ 5 คือ สะพานโครงข้อหมุนเหล็กรูปแบบที่ 4 จำนวนชิ้นส่วนทั้งหมด 37 ชิ้น ยาว 60 เมตร สูง 7 เมตร



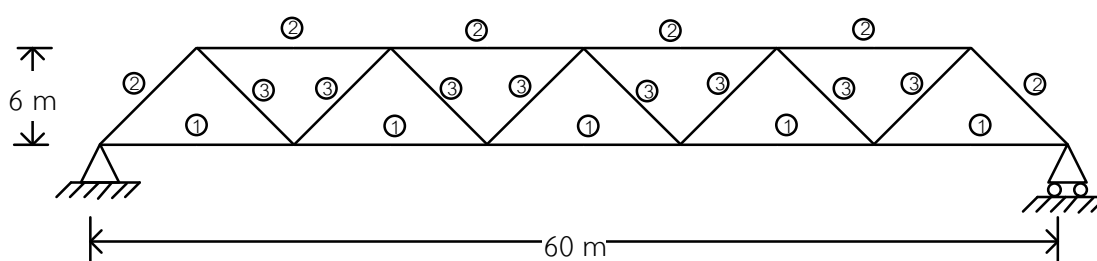
รูป 4.21 สะพานโครงข้อหมุนเหล็กรูปแบบที่ 4

น้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อสะพานโครงข้อหมุนเหล็ก

น้ำหนักที่กระทำลงบนกรณีศึกษาที่ 5 ใช้น้ำหนักบรรทุกแบบเดียวกับที่กระทำลงบนกรณีศึกษาที่ 2

หน้าตัดที่ใช้ในการสุ่มเลือกและการแบ่งกลุ่มหน้าตัดของสะพานโครงข้อหมุนเหล็ก

การหาขนาดและรูปร่างที่เหมาะสมของสะพานโครงข้อหมุนเหล็กในกรณีศึกษาที่ 5 หน้าตัดที่ใช้ในการออกแบบนำมาจากการสุ่มขนาดหน้าตัดจากตารางเหล็กรูปพรรณมาตรฐานในไทย โดยหน้าตัดที่เลือกใช้ในการสุ่มคือเหล็กหน้าตัดรูปปีกกว้างดังตาราง 4.8 และแบ่งกลุ่มหน้าตัดออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ ชั้นส่วน lower chord (หมายเลข 1) , ชั้นส่วน upper chord (หมายเลข 2) และชั้นส่วนกึ่งกลางสะพาน(หมายเลข 3) แสดงดังรูป 4.22



รูป 4.22 การแบ่งกลุ่มหน้าตัดของสะพานโครงข้อหมุนเหล็กในกรณีศึกษาที่ 5

ผลการออกแบบ

ผลลัพธ์ที่ได้จากการออกแบบเป็นดังตาราง 4.14

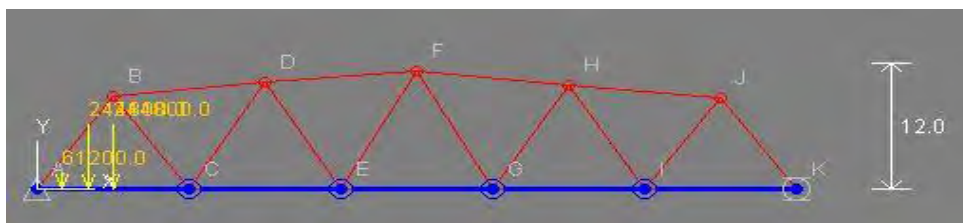
ตาราง 4.21 ค่าตอบที่ดีที่สุดของกรณีศึกษาที่ 5

ตัวแปร	ค่าตอบที่ดีที่สุด
ความสูงของโหนดจากพื้นสะพาน (ม.)	
B	1.82
D	3.18
F	4.28
H	2.94
J	1.66

ตาราง 4.22 ค่าตอบที่ดีที่สุดของกรณีศึกษาที่ 5 (ต่อ)

ตัวแปร	ค่าตอบที่ดีที่สุด
พื้นที่หน้าตัด (ตร.ชม.)	
เหล็กชั้นส่วน upper chord	17.85
เหล็กชั้นส่วนแนวเฉียง	72.38
เหล็กชั้นส่วน lower chord	92.18
น้ำหนักที่ดีที่สุด(กก.)	11808

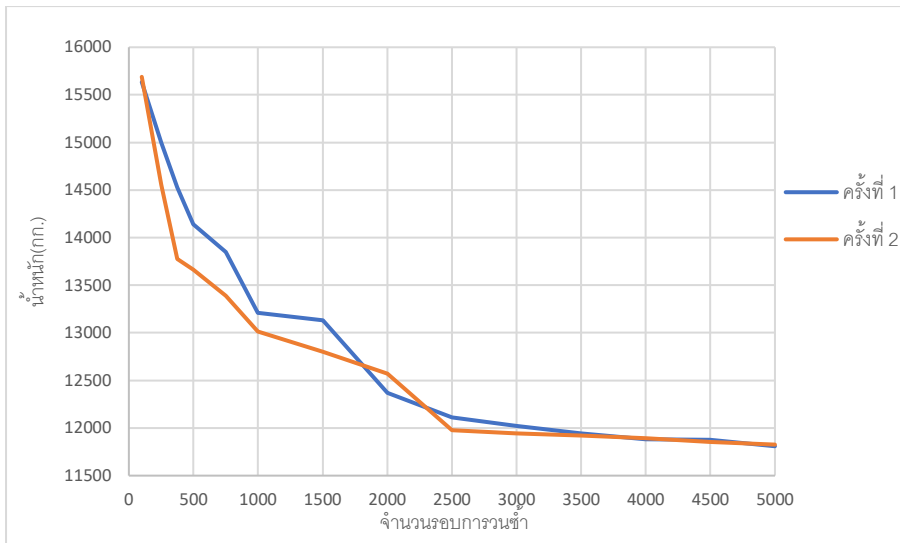
ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ภาษาจาวาพบว่า น้ำหนักที่ดีที่สุดเท่ากับ 11808 กิโลกรัม เหล็กชั้นส่วน upper chord ใช้หน้าตัด H 150 x 75 x 17.85 เหล็กชั้นส่วนแนวเฉียงใช้หน้าตัด H 300 x 200 x 72.38 ชั้นส่วน lower chord ใช้หน้าตัด H 250 x 250 x 92.18 และรูปร่างที่เหมาะสมที่สุดเป็นดังรูป 4.23



รูป 4.23 รูปร่างที่ดีที่สุดของกรณีศึกษาที่ 5

ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักสะพานกับจำนวนครั้งในการหาคำตอบ

เมื่อเพิ่มจำนวนรอบของการวนซ้ำในแต่ละครั้งของการหาคำตอบที่ดีที่สุดจาก 100 ถึง 5000 รอบตามลำดับ จะได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ดังรูป 4.24



รูป 4.24 การดูเข้าสู่ค่าตอบของกรณีศึกษาที่ 5



210808741

CT :thesis 5970240021 thesis / rev: 01082562 13:45:58 / seq: 6

บทที่ 5 สรุป

งานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์ใช้การหาค่าที่เหมาะสมด้วยวิธีฮาร์โมนิเสิร์ชในการออกแบบโครงสร้างสะพานโครงข้อมุมเหล็กกับกรณีศึกษาทั้งหมด 5 กรณีศึกษารวมถึงทำการเปรียบเทียบกรณีศึกษาแบบแรกกับตัวอย่างในงานวิจัยก่อนหน้า ซึ่งผลทั้งหมดที่ได้จากการประยุกต์ใช้วิธี HS ในการหาน้ำหนักที่น้อยที่สุดของสะพานโครงข้อมุมเหล็กได้ผลลัพธ์เป็นที่น่าพอใจ

5.1 สรุปผล

1. พารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับงานวิจัยนี้

พารามิเตอร์ที่เป็นตัวแปรสำคัญในวิธี HS ได้แก่ HMCR , PAR และ HMS โดยค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในงานวิจัยนี้เท่ากับ $PAR = 0.4$, $HMCR = 0.85$ และใช้ $HMS = 10$ ในกรณีศึกษาที่ 1 และ 2 ใช้ค่า $HMS = 15$ ในกรณีศึกษาที่ 3 และ 4 และใช้ค่า $HMS = 25$ ในกรณีศึกษาที่ 5

2. พารามิเตอร์ที่มีผลต่อการทำงานของวิธีฮาร์โมนิเสิร์ช

พารามิเตอร์แต่ละตัวจะมีบทบาทแตกต่างกันออกไป ค่า PAR ส่งผลต่อการปรับค่าที่เลือกมาจากเมตริกซ์ ค่า HMCR เป็นตัวกำหนดโอกาสความเป็นไปได้ในการสุ่มค่าจากขอบเขตหรือสุ่มจากชุดคำตอบเดิมที่มีอยู่แล้ว หากค่า HMCR มีค่าลดลงจะทำให้โอกาสในการสุ่มค่าจากขอบเขตตัวแปรที่กำหนดมีมากขึ้นทำให้ชุดคำตอบเกิดความหลากหลายมากขึ้น ขณะที่ HMS เป็นตัวกำหนดขนาดเมตริกซ์ซึ่งเป็นที่เก็บชุดคำตอบเริ่มต้น หาก HMS มีค่าน้อยจะทำให้อัตราการเข้าสู่คำตอบเร็วขึ้นสามารถหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดได้รวดเร็วแต่อาจไม่ครอบคลุมชุดคำตอบทั้งหมดทำให้ไม่ได้ค่าที่ดีที่สุดที่แท้จริง แต่หาก HMS มีค่ามากจะทำให้ชุดคำตอบเริ่มต้นมีความหลากหลาย แต่จะทำให้อัตราการเข้าสู่คำตอบช้าลง เพราะฉะนั้นการกำหนดค่าพารามิเตอร์ให้เหมาะสมกับปัญหาจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง

3. ข้อดีของวิธีฮาร์โมนิเสิร์ช

ข้อดีของวิธี HS ได้แก่ ด้านการสุ่มคำตอบ มีทั้งการสุ่มชุดคำตอบจากชุดที่มีอยู่แล้วหรือการสุ่มชุดคำตอบใหม่จากขอบเขตตัวแปรที่กำหนดไว้ ด้านการเก็บชุดคำตอบ คำตอบที่ได้นั้นถูกเก็บไว้ในเมตริกซ์จึงมีชุดคำตอบมากกว่า 1 ชุด ชุดคำตอบเริ่มต้นจะกระจายตัวไปตามจุดต่างๆทำให้การค้นหาสามารถทำได้อย่างทั่วถึงและเมื่อเราทำการเพิ่มรอบในการคำนวณจะทำให้ชุดคำตอบเข้าสู่ชุดคำตอบที่ดีที่สุด

4. ผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัยนี้

จากกรณีศึกษาที่ 1 พบว่า น้ำหนักที่ดีที่สุดที่ได้จากโปรแกรมจาวาเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับตัวอย่างงานวิจัยก่อนหน้าทั้ง 4 แบบ มีค่านี้น้อยกว่าจากงานวิจัยอื่นซึ่งเป็นผลลัพธ์ที่น่าพอใจ



กรณีศึกษาที่ 1 เราสุ่มหน้าตัดเหล็กจากตารางเหล็กหน้าตัดรูปเหล็กฉากและแบ่งกลุ่มหน้าตัดออกเป็น 3 กลุ่ม ซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยก่อนหน้าที่สุ่มหน้าตัดเหล็กอยู่ในช่วงที่กำหนดและแบ่งหน้าตัดเป็นคู่แบบสมมาตร ทำให้รูปร่างที่เหมาะสมต่างไปจากรูปร่างจากงานวิจัยก่อนหน้า ขณะที่ผลลัพธ์จากกรณีศึกษาที่ 2 ถึง 5 พบว่าน้ำหนักที่ดีที่สุดเท่ากับ 10454, 12506, 16276 และ 11808 กิโลกรัมตามลำดับ เมื่อเราวนซ้ำด้วยจำนวนรอบที่มากขึ้นทำให้คำตอบเข้าสู่ค่าที่แท้จริง

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ข้อจำกัดของงานวิจัยนี้

งานวิจัยนี้พิจารณาในระนาบ 2 มิติ หากต้องการพิจารณาในระนาบ 3 มิติอาจต้องพัฒนาในส่วนของโปรแกรมจาวาที่ใช้ในการคำนวณออกแบบ รวมถึงงานวิจัยนี้พิจารณาเฉพาะชิ้นส่วนและไม่พิจารณารอยต่อ (joint) และคานรองรับสะพานเป็นแบบคานช่วงเดี่ยวธรรมดา (simple beam) หากต้องการปรับเปลี่ยนเป็นคานชนิดต่อเนื่อง (continuous beam) อาจต้องมีการปรับเปลี่ยนในการออกแบบรวมถึงวิธีการถ่ายน้ำหนัก และงานวิจัยนี้ไม่ได้กำหนดเกณฑ์การหยุด (tolerance) ซึ่งอาจกำหนดว่าหากคำตอบที่ได้มีการเปลี่ยนแปลงที่น้อยมากๆซึ่งอยู่ในเงื่อนไขที่ยอมรับได้ ให้หยุดการวนซ้ำ

2. ข้อเสนอแนะในการนำวิธีฮาร์โมนิเสิร์ชไปใช้ในการออกแบบโครงสร้างอย่างเหมาะสม

ควรกำหนดค่าพารามิเตอร์ให้เหมาะสมกับปัญหา ทั้งค่า HMS, HMCR และ PAR รวมถึงตรวจสอบว่า ปัญหาที่ต้องการพิจารณาเป็นประเภทตัวแปรต่อเนื่องหรือไม่ต่อเนื่อง หากเป็นประเภทไม่ต่อเนื่อง ตัวแปร PAR จะไม่ส่งผลมากเท่าตัวแปรอื่น รวมถึงลดขอบเขตความเป็นไปได้ของตัวแปรจะสามารถช่วยให้กระบวนการค้นหาเป็นไปอย่างรวดเร็วเนื่องจากยิ่งขอบเขตของตัวแปรน้อยจะทำให้จำนวนคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมดน้อยลงตาม เช่น ลดขอบเขตการขยับของโหนดบนสะพาน หรือ ลดขอบเขตพื้นที่หน้าตัดที่สุ่มเลือก เป็นต้น

บรรณานุกรม

1. Kaveh, A. and M. Khayatazad, *Ray optimization for size and shape optimization of truss structures*. Computers & Structures, 2013. **117**: p. 82-94.
2. Gonçalves, M.S., R.H. Lopez, and L.F.F. Miguel, *Search group algorithm: a new metaheuristic method for the optimization of truss structures*. Computers & Structures, 2015. **153**: p. 165-184.
3. Farshchin, M., C.V. Camp, and M. Maniat, *Optimal design of truss structures for size and shape with frequency constraints using a collaborative optimization strategy*. Expert Systems with Applications, 2016. **66**: p. 203-218.
4. Lieu, Q.X., D.T. Do, and J. Lee, *An adaptive hybrid evolutionary firefly algorithm for shape and size optimization of truss structures with frequency constraints*. Computers & Structures, 2018. **195**: p. 99-112.
5. Nakib, R., *Deterministic and reliability-based optimization of truss bridges*. Computers & structures, 1997. **65**(5): p. 767-775.
6. Cheng, J., *Optimum design of steel truss arch bridges using a hybrid genetic algorithm*. Journal of Constructional Steel Research, 2010. **66**(8): p. 1011-1017.
7. Kripakaran, P., A. Gupta, and J.W. Baugh, *A novel optimization approach for minimum cost design of trusses*. Computers & Structures, 2007. **85**(23): p. 1782-1794.
8. Hasançebi, O. and S.K. Azad, *Adaptive dimensional search: a new metaheuristic algorithm for discrete truss sizing optimization*. Computers & Structures, 2015. **154**: p. 1-16.
9. Ahrari, A. and A.A. Atai, *Fully stressed design evolution strategy for shape and size optimization of truss structures*. Computers & Structures, 2013. **123**: p. 58-67.
10. Gil, L.s. and A. Andreu, *Shape and cross-section optimisation of a truss structure*. Computers & Structures, 2001. **79**(7): p. 681-689.



210808741

CD :Thesis 5970240021 thesis / recv: 01082562 13:45:58 / seq: 6

11. สุนิสสา ทองศรี และ ทักซิณ เทพชาติศรี, การออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดสำหรับโครงถักเหล็กในระนาบโดยวิธีวิวิธติค Engineering Journal of Research and Development, 2011. **22**(3): p. 25-30.
12. วรรณถ แซ่มสุวรรณ, *optimum design of plane steel truss using Genetic Algorithm*. 2005.
13. Cheng, M.-Y., et al., *A Hybrid Harmony Search algorithm for discrete sizing optimization of truss structure*. Automation in Construction, 2016. **69**: p. 21-33.
14. อัฐพล เตชะรัตนประเสริฐ, การออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีฮาร์โมนีเสิร์ช. 2014: 2557.
15. Degertekin, S., *Improved harmony search algorithms for sizing optimization of truss structures*. Computers & structures, 2012. **92**: p. 229-241.
16. Maheri, M.R. and M. Narimani, *An enhanced harmony search algorithm for optimum design of side sway steel frames*. Computers & Structures, 2014. **136**: p. 78-89.
17. วินิต ช่อวิเชียร, การออกแบบโครงสร้างเหล็ก : มาตรฐาน AISC/ASD/LRFD. 1996: กรุงเทพฯ : ป.สัมพันธ์การพาณิชย์, 2539.
18. *Standard specifications for highway bridges*. 1996: Washington, D.C. : The Association, 2002.17th ed.
19. Kaveh, A. and S. Talatahari, *Particle swarm optimizer, ant colony strategy and harmony search scheme hybridized for optimization of truss structures*. Computers & Structures, 2009. **87**(5): p. 267-283.



210808741

CT :Thesis 5970240021 thesis / recv: 01082562 13:45:58 / seq: 6

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ปรีชญ์ จันทรระกูล
วัน เดือน ปี เกิด	24 กุมภาพันธ์ 2537
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
วุฒิการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขา วิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ที่อยู่ปัจจุบัน	58/131 เทเวศร์ แมนชั่น ซ.เทเวศร์ 1 ถ.กรุงเกษม แขวง บางขุนพรหม เขต พระนคร กทม. 10200



210808741

CD IThesis 5970240021 thesis / recv: 01082562 13:45:58 / seq: 6