การพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างเหล็กชนิดโครงข้อหมุน อย่างเหมาะสมที่สุด ด้วยภาษาไพทอน

Optimum Design for Steel Truss Structures Using Python

นิพิฐพนน์ เกอะประสิทธิ์[1] นิธิพร เจียรจินดา[2] บัณฑิต เข็มทอง[3] ผศ.ดร.วัฒนชัย สมิธากร[4] และ ศ.ดร.ธีรพงศ์ เสนจันทร์ฒิไชย[3]

[1,2,3] ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จ.กรุงเทพฯ

บทคัดย่อ

โครงงานนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้างเหล็กสำหรับ โครงข้อหมุน (Truss) ในอดีต นำมาประยุกต์และเพิ่มเติมการออกแบบโครงสร้างแบบอย่างเหมาะสมที่สุด (Optimum Design) โดยใช้อัลกอริทึมฮาร์โมนีเสิร์จ (HS) ในการสุ่มค่าตัวแปรต่าง ๆ อย่างเป็นระบบ ทั้งความสูงของโครงข้อหมุน (Truss) และขนาดของชิ้นส่วนต่าง ๆ ส่งผลให้โปรแกรมสามารถออกแบบโครงสร้างได้อย่างปลอดภัย ประหยัด และเหมาะสมมากที่สุด ทั้งนี้ ขอบเขตความสามารถของโปรแกรมในงานวิจัยฉบับนี้ คือ สามารถวิเคราะห์และออกแบบโครงข้อหมุน (Truss) โดยใช้หน้าตัดเหล็กท่อกลม ท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัส และท่อสี่เหลี่ยมผืนผ้า ชนิด Hollow Structural Sections (HSS) ซึ่งสามารถเป็นต้นแบบสำหรับการวิจัยหรือพัฒนาต่อโดยนิสิต โดยในบทความฉบับนี้ จะยกตัวอย่างการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างอย่างเหมาะสมที่สุดด้วยโปรแกรมที่ถูกพัฒนาขึ้นฝนโครงงานนี้

คำสำคัญ: การออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุด; โครงข้อหมุนเหล็ก; ฮาร์โมนีเสิร์จ; ภาษาไพทอน

Abstract

This project provides an alternative to analyze and optimum design steel truss structures with computer program which developed by Python language. Harmony Search is an algorithm we decided to use for randomization. The program will systematically choose the height of trusses and a size of each section we have defined with secure and economical consideration. However, this program can only analyze and optimum design steel truss structures with round, square and rectangular sections which can be used as a prototype for those who are interested in further development. In this paper, the design examples obtained from the developed program are presented.

Keywords: Optimum Design, Steel Truss Structures, Harmony Search, Python Language

1. บทนำ

โครงงานนี้จะพิจารณาการออกแบบโครงสร้างเหล็กรูปแบบโครงข้อหมุน (Truss) ซึ่งข้อดีของโครงข้อหมุนนั้น เป็นโครงสร้างที่มีน้ำหนักเบาแต่สามารถรับน้ำหนักได้มาก อีกทั้งยังสามารถออกแบบโครงสร้างได้หลากหลาย โดยพัฒนาโปรแกรมออกแบบโครงสร้างให้นอกจากจะมีความปลอดภัย แม่นยำมากกว่าการคิดด้วยมือแบบในอดีต และใช้เวลาในการคำนวณที่น้อยกว่าแล้ว ยังคำนึงถึงการออกแบบที่เหมาะสมที่สุด (Optimum Design) อีกด้วย ซึ่งในปัจจุบันมีหลักการและวิธีมากมายที่สามารถนำมาใช้ออกแบบโครงสร้างให้มีความเหมาะสมที่สุด เช่น วิธีผึ้ง (Bee) ซึ่งใช้การเลียนแบบวิธีการหาอาหารของฝูงผึ้ง วิธีหิ่งห้อย (Firefly) ที่เลียนแบบพฤติกรรมการกระพริบแสงของหิ่งห้อยในการหาคู่สืบพันธุ์และหาอาหาร หรือวิธีฮาร์โมนีเสิร์จ (Harmony Search, HS) ซึ่งเลียนแบบวิธีการแต่งเสียงดนตรีโดยไม่ได้เตรียมมาก่อนของนักดนตรี เป็นต้น โดยโครงงานนี้ได้เลือกใช้วิธีฮาร์โมนีเสิร์จ (Harmony Search, HS) เนื่องจากเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพใช้งานง่ายและเหมาะกับการนำมาเขียนโปรแกรม โดยจะพิจารณาตัวแปรต้น ทั้งความสูงของโครงข้อหมุนและขนาดของชิ้นส่วนต่าง ๆ ได้แก่ จันทัน (Upper Chord), ขื่อ (Lower Chord), ค้ำยันในแนวเอียง (Diagonal Web) และค้ำยันในแนวดิ่ง (Vertical Web) ซึ่งทำให้การออกแบบนอกจากจะปลอดภัยแล้ว ยังเป็นการออกแบบที่ประหยัดและเหมาะสมที่สุด

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1.1 วิธีสติฟเนสโดยตรง (Direct Stiffness Method)

การวิเคราะห์โครงสร้างโดยวิธี Direct Stiffness Method เป็นการวิเคราะห์โครงสร้างโดยใช้เมตริกซ์ เพื่อหาแรงภายในและระยะเคลื่อนที่ของโครงสร้างโครงสร้าง ซึ่งวิธีการนี้เองที่มีการวิเคราะห์อย่างเป็นระบบและเหมาะสำหรับการคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อหาคำตอบของโครงสร้างที่ใหญ่และซับซ้อน

1.2 การออกแบบโครงข้อหมุน

ในการออกแบบหน้าตัดของชิ้นส่วนใช้ข้อกำหนดตามาตรฐาน American Institute of Steel Construction (AISC) ซึ่งมาตรฐานที่ใช้ในการออกแบบงานวิจัยนี้มีดังนี้

2.2.1 Chapter D: Design of member for tension

สำหรับชิ้นส่วนโครงสร้างที่รับแรงดึง ต้องมีอัตราส่วนความชะลูดระหว่างความยาวของชิ้นส่วนกับรัศมีไจเรชั่นไม่เกิน 300 และกำลังรับแรงดึงของชิ้นส่วน (Tensile strength) หาได้จากค่าที่น้อยระหว่าง Tensile Yielding ของ Gross Section และ Tensile Rupture ของ Net Section ดังสมการ 2.1 และ 2.2

$$P_n = F_y A_g \quad (1)$$

$$P_n = F_u A_e \quad (2)$$

โดยที่ F_y คือ Specified minimum yield stress

F_u คือ Specified minimum tensile stress

A_g คือ Gross area of member

A_e คือ Effective net area

2.2.2 Chapter E: Design of members of compression

สำหรับชิ้นส่วนของโครงสร้างที่รับแรงอัด ต้องมีค่าอัตราส่วนความชลูด (Effective slenderness ratio, Lc/r) ต้องมีค่าไม่เกิน 200 และค่า Norminal compressive strength (P_n) ซึ่งหาได้จากสมการ 2.3

$$P_n = F_{cr} A_g \quad (3)$$

โดยที่ค่า Critical stress (F_{cr}) หาได้จากสมการ 2.4 และ 2.5

กรณี $\frac{F_y}{F_e} \leq 2.25$

$$F_{cr} = 0.658^{\frac{F_y}{F_e}} F_y \quad (4)$$

กรณี $\frac{F_y}{F_e} > 2.25$

$$F_{cr} = 0.877 F_e \quad (5)$$

โดยที่ F_e หาได้จากสมการ

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{(L_c/r)^2} \quad (6)$$

โดย F_y คือ Yield stress of the type of steel being used

F_e คือ Elastic buckling stress determined

r คือ Radius of gyration

E คือ Modulus of elasticity of steel

1.3 คุณสมบัติเหล็กท่อกลมและเหล็กท่อสี่เหลี่ยม

หน้าตัดแต่ละขนาดมีคุณสมบัติที่แตกต่างออกไปโดยขนาดและคุณสมบัติที่ใช้เป็นพื้นฐานในการออกแบบโครงสร้างมีตัวอย่างคุณสมบัติเหล็กท่อกลมดังตาราง 2.1

ตารางที่ 1 ตัวอย่างคุณสมบัติเหล็กท่อกลม

ขนาด	น้ำหนัก	A	I	S	r
	kg/m.	cm^2	cm^4	cm^3	cm
15	0.972	1.238	0.61	0.56	0.70
25	2.63	3.345	8.99	3.70	1.64
100	8.77	11.17	172.0	30.2	3.93
150	22.72	734.0	88.9	5.68	183

1.4 อัลกอริทึมฮาร์โมนีเสิร์จ (Harmony Search)

Harmony search เป็นวิธีการหาค่าเหมาะสมประเภทเมตาฮิวริสติก ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นมาโดย ศ.ดร. Zong Woo Geem ตั้งแต่ปีค.ศ.2000 โดยได้รับแนวคิดมาจากการประพันธ์บทเพลงของนักดนตรีในการหาตัวโน๊ตที่เหมาะสมสำหรับ เครื่องดนตรีแต่ละชนิด เพื่อให้มีเสียงเกิดประสานของเครื่องดนตรีแต่ละชนิดเพื่อให้ดนตรีออกมาไพเราะที่สุด โดยมีขั้นตอนดังนี้

1.4.1 กำหนดปัญหาและค่าตัวแปรต่างๆ

กำหนดปัญหา, ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์และตัวแปรได้แก่ Harmony Memory Size (HMS), Harmony Memory Consideration Rate (HMCR), Pitch Adjusting Rate (PAR) และ number of improvisation (NI) หรือจำนวนรอบในการทำซ้ำ

1.4.2 สร้างหน่วยความจำฮาร์โมนี่ (Harmony Memory)

นำชุดคำตอบมาเก็บไว้เป็นเมตริกซ์ โดยคำตอบในแต่ละชุดได้มากจากการสุ่มค่าตัวแปรแต่ละตัวจากขอบเขตของตัวแปรนั้นๆ และเก็บให้เต็มหน่วยความจำฮาร์โมนี่

$$\left[\begin{array}{cccc|c} x_1^1 & x_2^1 & \cdots & x_N^1 & z(x^1) \\ x_1^2 & x_2^2 & \cdots & x_N^2 & z(x^1) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ x_1^{HMS} & x_2^{HMS} & \cdots & x_N^{HMS} & z(x^{HMS}) \end{array}\right]$$

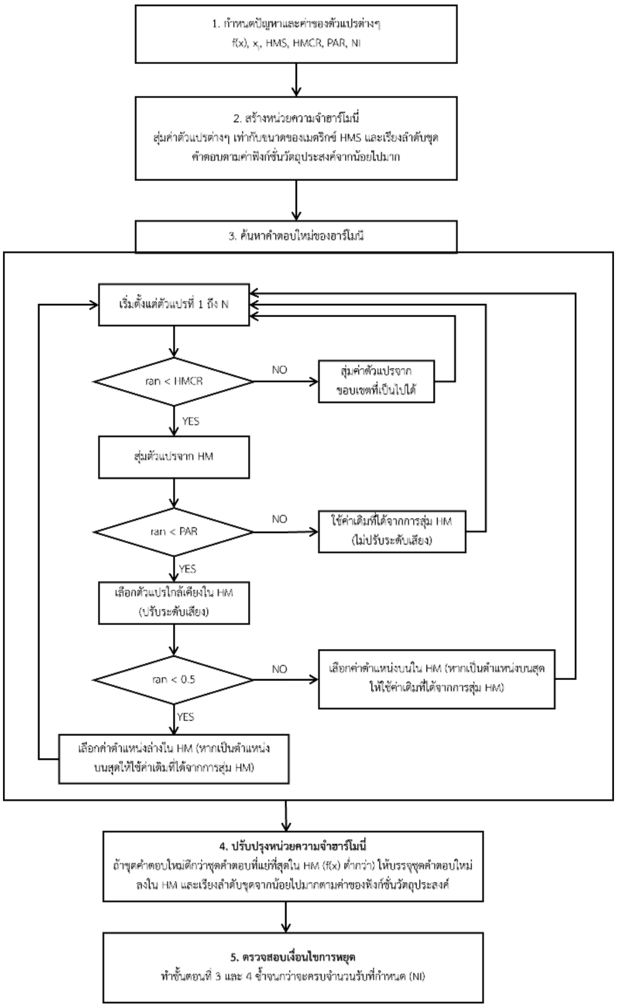
1.4.3 ค้นหาคำตอบใหม่

ค้นหาชุดคำตอบใหม่จาก 3 รูปแบบดังนี้

รูปแบบที่ **1** หาคำตอบจากหน่วยความจำฮาร์โมนี่ โดยสุ่มตัวแปรใดตัวแปรหนึ่งจากหน่วยความจำฮาร์โมนี่ที่มีอยู่ $(x_1'^1 - x_N'^{HMS})$

รูปแบบที่ 2 ปรับระดับเสียง จากการสุ่มในรูปแบบที่ 1 นำตัวแปรที่ได้นั้น มาปรับระดับขึ้นหรือลง 1 ระดับ สมมติค่าที่สุ่มได้คือตำแหน่งที่ k $(x'(k))$ นำมาปรับค่าให้เป็นตำแหน่งบน $(x'(k+1))$ หรือล่าง $(x'(k-1))$

รูปแบบที่ 3 หาคำตอบใหม่ โดยสุ่มค่าตัวแปรในขอบเขตที่กำหนดเหมือนกับการสร้างหน่วยความจำฮาร์โมนี่



รูปที่ 1 ขั้นตอนการทำงานของ Harmony Search

1.4.4 ปรับปรุงหน่วยความจำฮาร์โมนี

ให้พิจารณาชุดคำตอบที่ได้จากขั้นตอนที่สามมาเปรียบเทียบกับชุดคำตอบที่แย่ที่สุดในหน่วยความจำของฮาร์โมนี่ โดยเปรียบเทียบจากค่าฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ หากชุดคำตอบที่ค้นหาดีกว่าชุดคำตอบที่แย่ที่สุดในหน่วยความจำของฮาร์โมนี่ (ค่าฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ต่ำกว่า) ให้นำชุดคำตอบนั้นมาแทนที่ และเรียงลำดับชุดคำตอบตามค่าค่าฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์

1.4.5 ตรวจสอบเงื่อนไขการหยุด

ในการทำ Harmony search จะหยุดเมื่อทำครบจำนวนรอบ (NI) หากไม่ครบให้ทำขั้นตอนที่ 3, 4 จนครบจำนวนรอบ

3. ขั้นตอนการดำเนินงาน

โปรแกรมวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างนี้ ถูกพัฒนามาจากงานวิจัยในอดีต ซึ่งได้นำส่วนวิเคราะห์โครงสร้างของงานวิจัยเดิม มาพัฒนาโดยการเพิ่มส่วนการออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุด (Optimum Design) ในการสุ่มค่าชุดตัวแปรต้น ทั้งความสูงของโครงข้อหมุนและขนาดของชิ้นส่วนต่าง ๆ ได้แก่ จันทัน (Upper Chord), ขื่อ (Lower Chord), ค้ำยันในแนวเอียง (Diagonal Web) และค้ำยันในแนวดิ่ง (Vertical Web) โดยจะมีขั้นตอนการดำเนินงานของโปรแกรมดังนี้

3.1 นำเข้า Class และ Function ต่าง ๆ ที่ใช้ในการดำเนินโปรแกรม

Class และ Function ต่าง ๆ ที่จำเป็นมีดังนี้

3.1.1 Class Ball

เป็นที่เก็บของคำสั่งการกำหนดจุดต่อในโครงสร้าง (Node) และคำสั่งการกำหนดชนิดของจุดรองรับ (Support)

3.1.2 Class Section

เป็นที่เก็บของคำสั่งการกำหนดคุณสมบัติของหน้าตัด โดยสามารถกำหนดได้เอง ซึ่งประกอบไปด้วยพื้นที่หน้าตัด และโมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัดในแนวแกนต่าง ๆ

3.1.3 Class Material

เป็นที่เก็บของคำสั่งการกำหนดคุณสมบัติของวัสดุ โดยสามารถกำหนดได้เอง ซึ่งประกอบไปด้วย Elastic Modulus (E), Shear Modulus (G), Poisson Ratio และความหนาแน่น (Rho)

3.1.4 Class Material

เป็นการสร้างเมตริก K ของโครงสร้างโดยสร้างไว้ในตัวแปรเมตริก a และสร้างเมตริกแรงภายนอก F ของโครงสร้างไว้ในตัวแปรเมตริก b

3.1.5 Class Truss

เป็นการสร้างชิ้นส่วน (Element) โดยจะสร้างจุดต่อจาก Ball ทั้งสองด้านของปลายชิ้นส่วน ซึ่งจะถูกกำหนดคุณสมบัติวัสดุและหน้าตัดจาก Class Material และ Class Section ตามลำดับ

3.1.6 Class StructureAssemble

เป็น Class ที่มีหน้าในการประกอบจุดต่อในโครงสร้าง (Node) และชิ้นส่วน (Element) เข้ามาเป็นโครงสร้างหลัก

3.1.7 Class matplot

เป็นที่เก็บคำสั่ง show ซึ่งมีหน้าที่ในการแสดงรูปโครงสร้างสามมิติ

3.1.8 คำสั่ง allpipesection

เป็นคำสั่งที่ใช้เก็บข้อมูลคุณสมบัติของหน้าตัดท่อกลม ท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสและท่อสี่เหลี่ยมผืนผ้า ชนิด Hollow Structural Sections (HSS) ในรูปแบบของ List

3.2 กำหนดวัสดุของโครงสร้าง

ซึ่งจะเชื่อมโยงกับ Class Material ที่ได้กล่าวไปข้างต้น โดยเลือกเป็นเหล็ก (Steel)

3.3 คำสั่ง calculations

เป็นคำสั่งที่ใช้ในการตรวจสอบโครงสร้างว่าสามารถรับแรงได้หรือไม่ และคำนวณน้ำหนักของโครงสร้างทั้งหมด โดยเมื่อเราเรียกใช้คำสั่งนี้ หากโครงสร้างสามารถรับแรงได้ โปรแกรมจะส่งค่ากลับมาในรูปของ (TRUE, total mass) และในทางตรงกันข้าม หากโครงสร้างรับแรงไม่ได้ จะส่งค่ากลับมาในรูปของ (FALSE, total mass) โดยภายในคำสั่งมีขั้นตอนดังนี้

3.3.1 กำหนดตัวแปรต้นที่ใช้ในการตรวจสอบ

เป็นตัวแปรภายในวงเล็บที่มีความแปรผันตามการสุ่มของโปรแกรมตามอัลกอริทึมฮาร์โมนีเสิร์จ (Harmony Search)

3.3.2 กำหนดจุดต่อของโครงสร้าง (Node)

3.3.3 กำหนดชิ้นส่วนของโครงสร้าง (Member)

3.3.4 สร้าง T.list

3.3.5 กำหนดคุณสมบัติแรงที่กระทำกับโครงสร้าง

3.3.6 กำหนดคุณสมบัติจุดรองรับที่จุดต่อต่าง ๆ ของโครงสร้าง

3.3.7 ทำการสร้างโครงสร้าง สั่งงานให้โครงสร้างคิดน้ำหนักของตนเอง กำหนดตัวแปรน้ำหนักรวมของโครงสร้าง เขียนคำสั่ง Print ข้อมูลลงไฟล์ CSV และคำสั่ง matplot เมื่อต้องการเห็นแบบจำลอง 3 มิติ

3.3.8 ทำการล้าง (reset) ค่าต่าง ๆ ของจุดต่อและชิ้นส่วนของโครงสร้าง

3.3.9 ตรวจสอบความสามารถในการรับน้ำหนักของโครงสร้างและค่าการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง

โดยหากโครงสร้างสามารถรับแรงได้ โปรแกรมจะส่งค่ากลับมาในรูปของ (TRUE, total mass) และในทางตรงกันข้าม หากโครงสร้างรับแรงไม่ได้ จะส่งค่ากลับมาในรูปของ (FALSE, total mass)

3.4 คำสั่ง sth

เป็นคำสั่งสำหรับอัลกอริที่มฮาร์โมนีเสิร์จ (Harmony Search) ที่ใช้ในการสุ่มค่าตัวแปรต่าง ๆ ได้แก่ ขนาดหน้าตัด และความยาวชิ้นส่วนของโครงข้อหมุน โดยมีขั้นตอนการทำงานของคำสั่งดังนี้

3.4.1 กำหนดตัวแปรต้นสำหรับอัลกอริที่มฮาร์โมนีเสิร์จ (HS)

3.4.2 กำหนด List และ ตัวแปรที่ใช้ในการนับ

โดยจะประกอบไปด้วย

- hlist เป็น List ขอบเขตความยาวของโครงข้อหมุนที่เรากำหนดไว้ในโจทย์
- table เป็น List ตาราง Harmony Memory ที่ใช้เก็บข้อมูลตัวแปรต่าง ๆ ที่สุ่มได้จากอัลกอริที่มฮาร์โมนีเสิร์จ
- chart เป็น List สำหรับการพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักโครงสร้างและจำนวนครั้งในการหาคำตอบ
- counter เป็นตัวแปรที่ใช้นับรอบจำนวนแถวของตาราง table
- counti เป็นตัวแปรที่ใช้นับจำนวนรอบการวนซ้ำของจากอัลกอริที่มฮาร์โมนีเสิร์จ (Harmony Search)

3.4.3 ขั้นตอนการการสุ่มค่ามาเติมให้เต็มตาราง Harmony Memory

โดยจะเป็นขั้นตอนที่วนซ้ำจนกว่าตาราง Harmony Memory จะถูกเติมจนครบขนาดแถวที่เราได้กำหนดในตัวแปร row ซึ่งในโปรแกรมจะถูกกำหนดด้วยคำสั่ง while counter < row นั่นเอง

3.4.4 เรียงชุดข้อมูลจากน้ำหนักโครงสร้าง

โดยหลังจากโปรแกรมทำการเติมข้อมูลจนเต็มตาราง Harmony Memory หรือ List table ตามขนาดที่ถูกกำหนดแล้ว โปรแกรมจะทำการเรียงลำดับชุดข้อมูลจากน้อยไปมากตามหลักสุดท้ายของตาราง ซึ่งได้แก่ ค่าน้ำหนักรวมของโครงสร้าง (total mass) นั่นเอง

3.4.5 ขั้นตอนการสุ่มค่าชุดข้อมูลใหม่มาแทนที่ชุดข้อมูลในตาราง Harmony Memory

โดยเป็นการแทนที่ชุดข้อมูลที่ถูกเติมให้เต็มตารางและถูกเรียงข้อมูลไว้จากขั้นตอนที่ 3.4.2 และ 3.4.3 โดยจะแทนที่ชุดข้อมูลที่อยู่แถวล่างสุด ซึ่งได้แก่ ชุดข้อมูลที่มีน้ำหนักรวมของ โครงสร้างมากที่สุดนั่นเอง โดยการสุ่มข้อมูลนี้จะเป็นการสุ่มค่าอย่างเป็นระบบตามอัลกอริที่มฮาร์โมนีเสิร์จ (Harmony Search) โดยจะเป็นการทำวนซ้ำจนกว่าจะครบจำนวนรอบการวนซ้ำที่ได้กำหนดไว้ในตัวแปร iteration

3.4.6 เรียกใช้คำสั่ง calculations กับแถวบนสุดของตาราง HM

โดยมีจุดประสงค์เพื่อให้โปรแกรม PrintCSV บันทึกชุดข้อมูลแถวบนสุดซึ่งเป็นข้อมูลที่ดีที่สุด กล่าวคือเป็นข้อมูลที่มีค่าน้ำหนักรวมของโครงสร้างน้อยที่สุดนั่นเอง เนื่องจากภายในคำสั่ง calculations เป็นที่เก็บของคำสั่ง PrintCSV ซึ่งยังเก็บข้อมูลของรอบที่สุดท้ายของการวนซ้ำอยู่

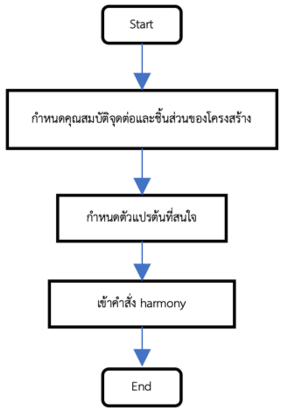
3.5 เรียกใช้งานคำสั่ง sth

ซึ่งจะเป็นการทำงานทั้งโปรแกรม โดยเราสามารถกำหนดตัวแปรต่างของคำสั่ง sth ซึ่งได้แก่ (จำนวนรอบการวนซ้ำ, จำนวนแถวของตาราง Harmony memory, ค่า HMCR, ค่า PAR, จำนวนตัวแปรความยาวของชิ้นส่วน Truss ที่ต้องการออกแบบ, จำนวนกลุ่มของหน้าตัดเหล็กที่ต้องการออกแบบ, ค่าการเปลี่ยนแปลงมากสุดที่ยอมให้) โดยในโปรแกรมจะตั้งชื่อตัวแปรเป็น (iteration, row, HMCR, PAR, vary1, vary2, DEFORM) ตามลำดับ

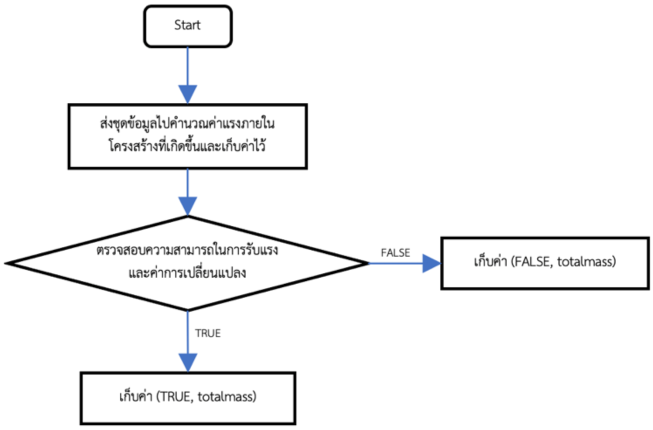
3.6 เรียกใช้งานคำสั่ง calculations แบบไม่ผ่านการวนซ้ำ

เป็นคำสั่งที่สามารถเรียกใช้งานได้หากต้องการตรวจสอบค่าการเปลี่ยนแปลงและความสามารถใน การรับแรงของโครงสร้างโดยไม่ผ่านการวนซ้ำ

โดยจะขั้นตอนทั้งหมด จะสามารถแสดงเป็น Flow chart ได้ดังนี้ คำสั่ง ส่วนของโจทย์โครงสร้าง และคำสั่ง calculations

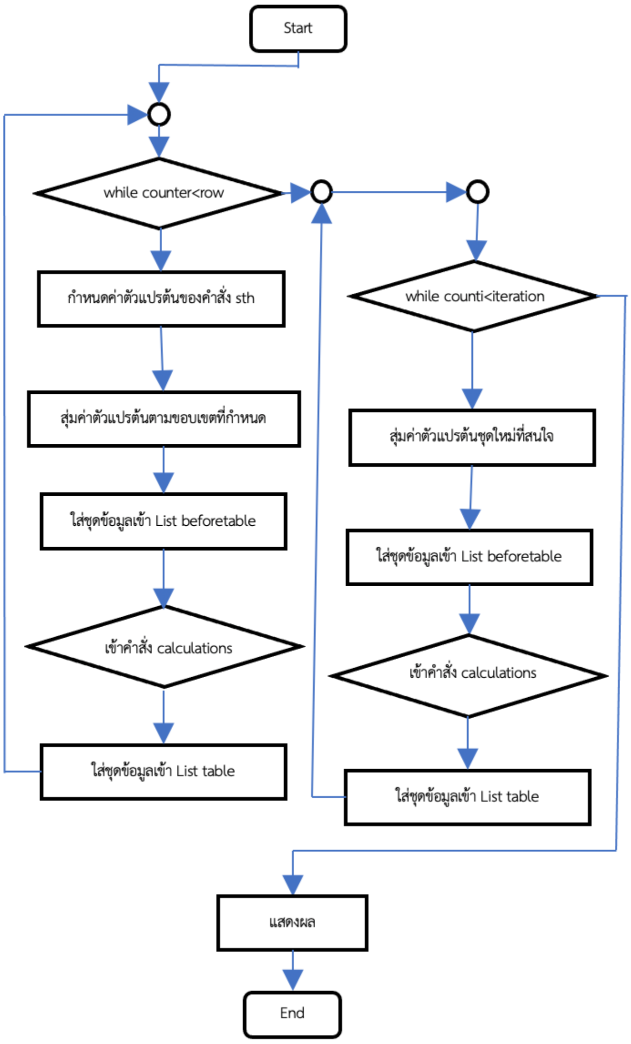


รูปที่ 2 คำสั่งส่วนโจทย์โครงสร้าง



รูปที่ 3 คำสั่งส่วน calculations

คำสั่ง Harmony Search



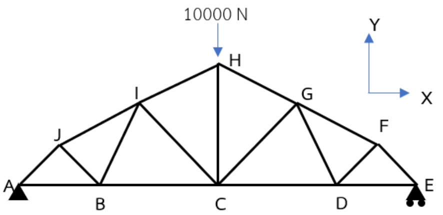
รูปที่ 4 คำสั่งส่วน harmony

4. ผลการดำเนินงาน

การวิเคราะห์ออกแบบหน้าตัดและโครงสร้างของโครงสร้างเหล็กให้เหมาะสมที่สุดด้วยโปรแกรมภาษาไพทอนที่ถูกพัฒนาขึ้นนี้ ต้องมีการป้อนข้อมูล (Input) เพื่อกำหนดลักษณะของโครงสร้างประกอบด้วย การกำหนดพิกัดจุดต่อ (Node) การสร้างชิ้นส่วนของโครงสร้างที่เชื่อมระหว่างจุดต่อ (Member) การใส่แรงที่จุดต่อ (Point Load) การกำหนดประเภทของจุดรับแรง (Support) กำหนดมาตรฐานที่ใช้ในการออกแบบ กำหนดขอบเขตตัวแปรต้นที่สนใจ กำหนดและปรับแก้ตัวแปรเงื่อนไขการสุ่ม (Parameter) แล้วจึงวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างตามเงื่อนไขการสุ่ม ซึ่งจะได้ผลวิเคราะห์และออกแบบ (Output) ที่ได้เพิ่มเติมจากโปรแกรมที่มีอยู่เดิมคือแรงที่สามารถรับได้ของแต่ละชิ้นส่วน และผลลัพธ์ที่แสดงว่าชิ้นส่วนสามารถรับแรงได้หรือไม่

1.1 ตัวอย่างโครงข้อหมุน 2 มิติ โดยใช้เหล็กท่อกลม

รูปที แสดงแบบจำลองของตัวอย่างโครงข้อหมุน 2 มิติ โดยใช้เหล็กท่อกลม ประกอบไปด้วยไปด้วย จุดเชื่อม, ประเภทของจุดรับแรง และแรงที่กระทำที่จุดเชื่อม



รูปที่ 5 ตัวอย่างโครงข้อหมุน 2 มิติ โดยใช้เหล็กท่อกลม

ผลลัพธ์จากการออกแบบด้วยโปรแกรมแสดงไว้ในตารางที่

ตารางที่ ตัวอย่างหน้าตัดและความสูงที่ดีที่สุดที่ได้จากการออกแบบโครงข้อหมุน

ตารางที่ 2 คำตอบลู่เข้าสู่ค่าที่เหมาะสมที่สุดทั้ง 3 รอบ

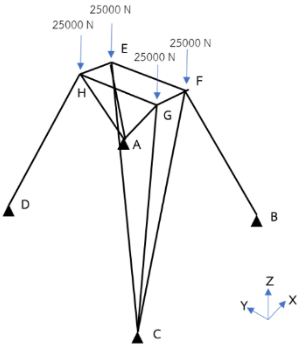
No.	Length of Member					Cross sectional area (m2)		Total mass (kg.)
	fy	gy	hy	iy	jy	EA, EC, FC, FD, GA, GC, HA, HB	EF, FG, GH, HE	
1	0.5	1.2	1.5	1.2	0.5	0.001533	0.000226	266.240
2	0.5	1.2	1.5	1.2	0.5	0.001533	0.000226	266.240
3	0.5	1.2	1.5	1.2	0.5	0.001533	0.000226	266.240
4	0.5	1.2	1.5	1.2	0.5	0.001533	0.000226	266.240

ตารางที่ 3 ค่าของแรงที่กระทำแรงและแรงที่สามารถรองรับได้ในแต่ละชิ้นส่วน

Member	P (N)	stress (MPa)	Allowable compression (N)	Allowable tension (N)	Status
AB	15205.685	9.797	18371.9667	22768.8623	OK
BC	15557.739	10.024	18371.9667	22768.8623	OK
CD	15557.739	10.024	18371.9667	22768.8623	OK
DE	15205.685	9.797	18371.9667	22768.8623	OK

จากตารางที่ 3 แรงที่เกิดขึ้นน้อยกว่าแรงที่สามารถรองรับได้ แสดงให้เห็นว่าโปรแกรมสามารถออกแบบหน้าตัดและโครงสร้างให้สามารถรับแรงที่เกิดขึ้นจริงได้อย่างเหมาะสม

1.2 ตัวอย่างโครงข้อหมุน 3 มิติ โดยใช้เหล็กท่อเหลี่ยม



รูปที่ 6 ตัวอย่างโครงข้อหมุน 3 มิติ โดยใช้เหล็กท่อเหลี่ยม

ตารางที่ 4 ตัวอย่างหน้าตัดและความยาวที่ดีที่สุดที่ได้จากการออกแบบโครงข้อหมุน

No.	Length of Member		Cross sectional area (m^2)		Total mass (kg.)
	x	y	EA, EC, FC, FD, GA, GC, HA, HB	EF, FG, GH, HE	
1	2.0	3.5	0.004563	0.002117	3399.905
2	2.0	3.5	0.004563	0.002117	3399.905
3	2.0	3.5	0.004563	0.002117	3399.905
4	2.0	3.5	0.004563	0.002117	3399.905

เมื่อทำการวิเคราะห์ครบ 3 รอบ คำตอบลู่เข้าสู่ค่าที่แสดงอยู่ในตารางที่ **ตารางที่ 5** ค่าของแรงที่กระทำแรงและแรงที่สามารถรองรับได้ในแต่ละชิ้นส่วน

Member	P (N)	stress (MPa)	Allowable compression (N)	Allowable tension (N)	Status
EA	-19911	-4.363	35150.097	66942.216	OK
EC	-11921	-2.613	15139.587	66942.216	OK
FC	9258	2.029	25103.247	66942.216	OK
FD	-34932	-7.656	35150.097	66942.216	OK

จากตารางที่ 5 แรงที่เกิดขึ้นน้อยกว่าแรงที่สามารถรองรับได้ แสดงให้เห็นว่าโปรแกรมสามารถออกแบบหน้าตัดและโครงสร้างให้สามารถรับแรงที่เกิดขึ้นจริงได้อย่างเหมาะสม

5. บทสรุป

การพัฒนาโปรแกรมที่เขียนด้วยภาษาไพทอน เพื่อช่วยวิเคราะห์โครงสร้างและออกแบบหน้าตัดโครงสร้างเหล็กให้เหมาะสมที่สุดทั้งสองและสามมิติสำหรับโครงข้อหมุนในโครงงานนี้ สามารถนำไปพัฒนาต่อยอดสำหรับผู้ที่สนใจต่อไปได้เนื่องจากประสิทธิภาพของภาษาไพทอนนั้นสามารถพัฒนาโปรแกรมให้สามารถวิเคราะห์โครงสร้างที่ซับซ้อนมากกว่า linear-elastic และ static problem ได้ เช่น การแก้ปัญหาโครงสร้างแบบ non-linear และการทำโครงสร้างย่อย sub-structuring เป็นต้น นอกจากนี้ไพทอนเป็นภาษาที่เรียนรู้ได้ง่าย สามารถใช้งานได้จริงในทางปฏิบัติทั้งยังเป็นภาษาที่มีโครงข่ายผู้ใช้งานค่อนข้างมาก เหมาะกับการนำไปพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้างและออกแบบหน้าตัดให้เหมาะสมที่สุดนี้ได้ต่อไป

สำหรับการพัฒนาโปรแกรมในอนาคต สามารถศึกษาหลักการทำงานของโปรแกรม แล้วจัดรูปแบบการทำงานให้มีประสิทธิภาพและกระชับมากยิ่งขึ้น เช่น การจัดระเบียบคลาสของโปรแกรม เพิ่มความหลากหลายของหน้าตัดประเภทต่าง ๆ ที่ใช้ในการออกแบบเพื่อให้เหมาะสมและสามารถนำไปใช้งานจริง อีกทั้งยังสามารถนำ Library ต่างๆของไพทอน เพื่อนำมาพัฒนารูปแบบในการใส่ข้อมูล (input) เพื่อความสะดวกต่อการใช้งาน ทั้งยังสามารถพัฒนาการแสดงผลในรูปแบบโมเดล 3 มิติ ร่วมกับการแสดงผลการวิเคราะห์และรูปแบบการเคลื่อนตัวของโครงสร้างในรูปแบบของ Graphic ได้ และยังสามารถปรับเปลี่ยนวิธีการในการสุ่มเพื่อให้เกิดความรวดเร็วในการใช้งานที่เพิ่มมากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานการพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างเหล็กชนิดโครงข้อหมุนอย่างเหมาะสมที่สุดด้วยภาษาไพทอน สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วัฒนชัย สมิทธากร และ ศาสตราจารย์ ดร. ธีรพงศ์ เสนจันทร์ฒิไชย อาจารย์ที่ปรึกษาและอาจารย์ที่ปรึกษาร่วมทั้งสองท่านที่กรุณาให้คำแนะนำและแสดงข้อคิดเห็นต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการพัฒนาโปรแกรม อีกทั้งยังได้สละเวลาเพื่อตอบข้อสงสัยของผู้จัดทำ ตลอดจนปรับปรุงและแก้ไขข้อบกพร่องของการทำโครงงานด้วยความใส่ใจอย่างยิ่ง ผู้จัดทำตระหนักถึงความตั้งใจจริงและความทุ่มเทของอาจารย์ทั้งสองท่าน จึงกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขณะเดียวกัน ขอขอบคุณผู้พัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้าง Truss ใน 3 มิติ นายชานน อธิปัญญา และ นางสาวณัฐชยา ศิริมาตย์ ที่พัฒนาโปรแกรมพื้นฐาน ทำให้สามารถต่อยอดจนมาเป็นโครงงานชิ้นนี้ได้

เอกสารอ้างอิง

[1] Kassimali, A. (2012). Matrix analysis of structures, second edition. (United States of America.).

[2] มนัส กุลตั้งกิจเสรี, สุวิทย์ พัฒนาสุทธินนท์, อภิรัตน์ เลี่ยวชวลิต, โปรแกรมวิเคราะห์โครงข้อแข็งระนาบบนอินเตอร์เน็ท, 2547.

[3] American Institute of Steel Construction [AISC]. (2017). Steel Construction Manual, 15th edition. (n.p.)

[4] ข้อดีและข้อเสียของภาษา Python. (ออนไลน์). 2562. แหล่งที่มา: https://www.mindphp.com/ (3 พฤษภาคม 2565)

[5] การเขียนโปรแกรมเชิงวัตถุ (Object oriented programming, OOP) 2556. แหล่งที่มา: https://arit.rmutsv.ac.th/ (3 พฤษภาคม 2565)

[6] ทักษิณ เทพชาตรี และอัครวัชร เล่นวารี พฤติกรรมและการออกแบบโครงสร้างเหล็กสำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2562.

[7] อัฐพล เตชะรัตนประเสริฐ, การออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีฮาร์ โมนีเสิร์ช. 2557.