การประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์ในการออกแบบโครงสร้างเหล็กที่เหมาะสม
Application of artificial intelligence in the design of optimum steel structure

พัชร อ่อนพรม[*1] เรืองรุชดิ์ ชีระโรจน์[2] เดชวิชัย พิมพ์โคตร[3] และ ขจรศักดิ์ วิเศษสุนทร[4]
Patchara Onprom[1], Raungrut Cheerarot[2], Dechvichai Pimkhot[3] and Kajonesak Visetsountron[4]

*[*1]สาขาวิชาเทคโนโลยีโยธา สถาบันการอาชีวศึกษาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 1 วิทยาลัยเทคนิคหนองคาย หนองคาย 43000*
[2]ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม มหาสารคาม 44000
[3]วิทยาลัยเทคนิคหนองคาย สถาบันการอาชีวศึกษาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 1 หนองคาย 43000
[4]สถาบันการอาชีวศึกษาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 1 หนองคาย 43000
*[*1]Civil Technology Institute of Vocational Education Northeastern Region 1 Nongkhai Technical College Nongkhai 43000*
[2]Civil Engineering ,FACULTY OF ENGINEERING, MAHASARAKHAM UNIVERSITY, MAHASARAKHAM 44150
[3]Nongkhai Technical College Nongkhai 43000
[4]Institute of Vocational Education Northeastern Region 1 Nongkhai 43000

Received :20221-04-29 Revised : 2021-05-30 Accepted :2021-06-10

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการประยุกต์ใช้แบบจำลองการปีนเขา (Hill climbing algorithm : HCA) และแบบจำลองการอบเหนียว(Simulated annealing algorithm : SA) สำหรับการออกแบบหน้าตัดที่เหมาะสมตามมาตรฐานโครงสร้างเหล็กของสถาบันเหล็กก่อสร้างแห่งสหรัฐอเมริกา โดยใช้วิธีกำลังที่ยอมให้และวิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก ซึ่งขั้นตอนการออกแบบที่เหมาะสมถูกสร้างขึ้นโดยใช้ไมโครซอฟท์วิชวลเบสิค 2015 จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่า HCA และ SA สามารถใช้ในการออกแบบที่เหมาะสมของหน้าตัดเหล็กได้ และจากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการออกแบบโดยแบบจำลองการปีนเขา และโดยวิธีแบบจำลองอบเหนียว พบว่าผลการออกแบบโดยทั้งสองวิธีแบบจำลองสามารถออกแบบได้คำตอบที่เหมาะสมได้ใกล้เคียงกันและมีความประหยัดมากกว่าวิธีดั้งเดิม

คำสำคัญ : กำลังที่ยอมให้, ตัวคูณความต้านทาน, น้ำหนักบรรทุก, แบบจำลองการปีนเขา, แบบจำลองการอบเหนียว

Abstract

This research presents the application of the hill climbing algorithm (HCA) and simulated annealing algorithm (SA) for the optimum design of steel structures based on American institute of Steel Construction standards. Allowable Stress Design and Load and Resistance Factor Design were used in this study. The optimum design process was created by Microsoft visual basic 2015. From the results found that, the HCA and SA can be applied to design the steel structure. Both algorithms gave the similar solutions and saver of steel than that of the classical methods.

Keywords: Allowable strength, Load, Resistance factor, Hill climbing algorithm, Simulated annealing algorithm

1.บทนำ

เหล็กจัดเป็นวัสดุโครงสร้างที่สำคัญประเภทหนึ่งที่ใช้ในการก่อสร้างส่วนต่าง ๆ ของอาคาร สะพาน หอถังเก็บน้ำ หอคอยส่งสายไฟฟ้าแรงสูง ไซโล และโครงสร้างอื่น ๆ ในการออกแบบโครงสร้างเหล็กนั้น โครงสร้างต้องสามารถรับน้ำหนักบรรทุกคงที่และน้ำหนักบรรทุกจรได้ สำหรับการเลือกเหล็กอาจจะใช้วิธีสุ่มหน้าตัดเหล็กขึ้นมาก่อน แล้วจึงคำนวณกำลังรับแบกทานเพื่อเปรียบเทียบแรงที่กระทำ แต่วิธีการสุ่มหน้าตัดเหล็กจะต้องใช้เวลาในการลองผิดลองถูก (Trial and error) และการปรับแก้ที่ใช้เวลานานซึ่งจะขึ้นอยู่กับประสบการณ์ของ

* พัชร อ่อนพรม
E-mail address: Civilman2517@gmail.com

ผู้ออกแบบด้วย การออกแบบจะคำนึงถึงความปลอดภัยมากกว่าความประหยัด ดังนั้นการออกแบบหน้าตัดเหล็กที่มีความปลอดภัย และมีความประหยัดสูงสุดจึงเป็นสิ่งที่มีความจำเป็นอย่างยิ่ง ในงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอแนวคิดการออกแบบอย่างเหมาะสมขึ้นเพื่อใช้แก้ปัญญาหาการลองผิดลองถูกของผู้ออกแบบเพื่อให้ผลการออกแบบมีความปลอดภัย และมีความประหยัด โดยการพัฒนาเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ

อัลกอริทึม (Algorithm) คือ กระบวนการที่มีการเรียงลำดับขั้นตอนการทำงานด้วยกระบวนการทางคณิตศาสตร์และตรรกศาสตร์ การตัดสินใจเพื่อใช้ในการแก้ปัญหาใดปัญหาหนึ่งโดยเป็นกระบวนการการทำซ้ำขั้นตอนเดิมจนกว่าจะพบคำตอบที่ดีที่สุด [1] ในงานวิจัยครั้งนี้เลือกใช้สองวิธีการด้วยกัน ได้แก่ แบบจำลองการปีนเขา (Hill climbing algorithm : HCA) และแบบจำลองการอบเหนียว (Simulated annealing algorithm : SA) โดยวิธีการเหล่านี้เริ่มเป็นที่รู้จักและใช้กันอย่างแพร่หลายในงานออกแบบโครงสร้างในด้านความเหมาะสมหลายๆด้าน เช่น การออกแบบโครงสร้างให้มีน้ำหนักที่ต่ำที่สุด การออกแบบใหม่ให้มีราคาที่น้อยที่สุด การออกแบบให้มีลักษณะของโครงสร้างใหม่เหมาะสมกับน้ำหนักที่กระทำเป็นต้น

แบบจำลองการปีนเขา (Hill climbing algorithm : HCA) เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ในการค้นหาและแก้ปัญหาเพื่อหาคำตอบในรูปแบบค่าสูงสุดและค่าต่ำสุด ทฤษฎีนี้ได้นำมาเสนอครั้งแรกโดย Pearl ในปี ค.ศ.1984 [2] โดยพัฒนาและจำลองมาจากวิธีการค้นหาข้อมูลที่มีลักษณะคล้ายกับการพิจารณาการปีนภูเขาของนักปีนเขาเพื่อให้ไปถึงยอดภูเขาให้เร็วที่สุด เริ่มจากกำหนดว่ายอดภูเขาอยู่ตำแหน่งใดแล้ว พยายามไปจุดนั้นให้ได้และหลีกเลี่ยงทิศทางที่จะทำให้ห่างจากยอดภูเขา ทำเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งไปถึงยอดภูเขา [3]

แบบจำลองการอบเหนียว (Simulated annealing algorithm : SA) ถูกนำเสนอครั้งแรกในปี ค.ศ.1983 โดย Scott Kirkpatrick และคณะ นับได้ว่าเป็นระบบปัญญาประดิษฐ์ (Artificial intelligence : AI) วิธีหนึ่งในหลายวิธีของการค้นหาคำตอบแบบฮิวริสติก (Heuristic search) เพื่อใช้ในการหาคำตอบที่ดีที่สุดหรือใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุด โดยมีแนวคิดของอัลกอริทึมมาจากเทคนิคในการให้ความร้อนและโดยความร้อนจะทำให้โมเลกุลหลุดออกมาจากตำแหน่งเดิมที่มันอยู่และจะเคลื่อนที่แบบสุ่มโดยจะมีพลังงานในระดับที่สูง การลดอุณหภูมิลงอย่างช้า ๆ จะทำให้โมเลกุลมีโอกาสมากขึ้นในการหาตำแหน่งซึ่งมีพลังงานภายในที่ต่ำกว่าเดิม โครงสร้างของโลหะจะจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ ผลที่ได้ก็คือจะทำให้ได้โลหะที่เหนียวและไม่เปราะ แต่ในทางตรงกันข้ามถ้ามีการลดอุณหภูมิลงอย่างรวดเร็ว หรือทำให้เย็นเร็วเกินไป ก็จะทำให้โครงสร้างของโลหะไม่สม่ำเสมอและเกิดรอยร้าวขึ้นได้ ดังนั้น หลักการและแนวคิดของแบบจำลองการอบเหนียว ก็คือการสุ่มเลือกตัวแปรหรือเส้นทางอย่างมีเหตุผล มีข้อดีคือ เป็นวิธีการที่ไม่ซับซ้อน มีเสถียรภาพในด้านความแม่นยำ ใช้ระยะเวลาในการค้นหาคำตอบที่สั้นกว่า [4]

จากวิธีการที่ได้กล่าวนั้น แบบจำลองการปีนเขาและแบบจำลองการอบเหนียว เป็นวิธีการค้นหาคำตอบเชิงสุ่มที่มีประสิทธิภาพในการหาค่าสูงสุดและต่ำสุดตามสมการเป้าหมาย จึงได้นำมาใช้ในการออกแบบหน้าตัดเหล็ก โดยเปรียบเทียบผลการออกแบบจากแบบจำลองทั้ง 2 วิธี และเพื่อค้นหาวิธีที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการประยุกต์ใช้การออกโครงสร้างเหล็กอีกด้วย

2.วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาขั้นตอนวิธีการที่เหมาะสมสำหรับการออกแบบหน้าตัดเหล็กแบบต่าง ๆ โดยวิธีการแบบจำลองการปีนเขาและวิธีการการอบเหนียว

2.2 เพื่อพัฒนาเป็นโปรแกรมที่สามารถนำไปใช้ในงานออกแบบโครงสร้างเหล็กอย่างเหมาะสมได้

3.ขอบเขตการศึกษา

3.1การออกแบบหน้าตัดเหล็กโดยวิธีกำลังที่ยอมให้ (Allowable Strength Design, ASD) ตามมาตรฐาน AISC

3.2การออกแบบหน้าตัดโดยวิธีคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก (Load and Resistance Factor Design, LRFD) ตามมาตรฐาน AISC [5]

3.3หน้าตัดที่ใช้ในการออกแบบ หน้าตัด Wide Flange (WF) หน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส หน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า หน้าตัดเหล็กตัวซี

3.4ในการออกแบบรอยต่อจะไม่ออกแบบรอยต่อแบบทาบ

3.5ออกแบบชิ้นส่วนเหล็กความยาวไม่เกิน 12 เมตร

3.6กำหนดค่าสัมประสิทธิ์ความยาวประสิทธิผลที่ยอมใช้ได้ ในการออกแบบเป็นแบบหมุด

3.7ในการออกแบบคานกำหนดให้ใช้แรงกระจายสม่ำเสมอในการออกแบบ

3.8ในการออกแบบชิ้นส่วนรับแรงอัดจะสามารถออกแบบได้เฉพาะเสาตรงเท่านั้น

3.9ในการออกแบบจะไม่ออกแบบชิ้นส่วนแผ่นเหล็กประกอบ

3.10กำหนดตัวคูณความปลอดภัยที่ใช้เท่ากับ 1.67 หรือ 2.00 โดยแรงดึง ใช้เท่ากับ 1.67 แรงอัด แรงดัด แรงอัดดัด และแรงเฉือน ใช้เท่ากับ 2.00

3.11กำหนดตัวคูณความต้านทานที่ใช้เท่ากับ 0.75 กับ 0.9 โดยแรงเฉือนขาดกำลัง สลักเกลียว หรือธูปเชื่อม ใช้เท่ากับ 0.75 แรงดึง แรงอัด แรงดัด แรงอัดดัด ใช้เท่ากับ 0.9

3.12การออกแบบเหล็กรับแรงดัดจะออกแบบเฉพาะเหล็กรับแรงดัดแกนเดียว

3.13กำหนดหน้าตัดเหล็ก ที่มีความกว้างและความลึกอยู่ในช่วง 10 ถึง 90 เซนติเมตร โดยเปลี่ยนขนาดหน้าตัดครั้งละ 5 เซนติเมตร ความหนาเอวอยู่ในช่วง 10 ถึง 20 มิลลิเมตร โดยเปลี่ยนขนาดความหนาครั้งละ2 มิลลิเมตร ความหนาปีกอยู่ในช่วง 10 ถึง 38 มิลลิเมตร โดยเปลี่ยนขนาดความหนาครั้งละ 2 มิลลิเมตร

3.14การออกแบบคานและเสารับโมเมนต์จะออกแบบเฉพาะรับโมเมนต์แกนเดียว

3.15ขนาดหน้าตัดที่ใช้สุ่มจะเป็นขนาดหน้าตัดสมมติ ซึ่งขนาดหน้าตัดบางขนาดจะไม่มีขายจริงตามท้องตลาด

3.16ตัวคูณความปลอดภัยที่ใช้ในวิธีตัวคูณต้านทานและน้ำหนักบรรทุกจะใช้ 1.2DL+1.6LL สำหรับวิธีกำลังที่ยอมให้จะใช้ DL+LL

3.17กำหนดให้ใช้โมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็กเท่ากับ 2.04×10^6 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร

3.18กำหนดให้ใช้หน่วยแรงคราก เท่ากับ 2450 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร

3.19การออกแบบสลักเกลียวกำหนดให้ใช้ หน่วยแรงดึงระบุเท่ากับ 7800 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร และ หน่วยแรงเฉือนระบุในรอยต่อรับแรงแบกทาน เท่ากับ 5200 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร

3.20ขนาดหน้าตัดที่ใหญ่ที่สุดสำหรับการออกแบบของเหล็ก WF หน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส หน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า หน้าตัดเหล็กตัวซี เท่ากับ 900x900 เซนติเมตร และขนาดที่เล็กที่สุดเท่ากับ 100x100 เซนติเมตร

4.วิธีดำเนินงานวิจัย

4.1เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

ในการศึกษาครั้งนี้ใช้เครื่องมือในการดำเนินงานวิจัยคือเครื่องมือไมโครคอมพิวเตอร์และโปรแกรมที่ใช้พัฒนากระบวนการหาคำตอบโดยมีคุณสมบัติของเครื่องคอมพิวเตอร์ดังนี้

4.1.1 ระบบปฏิบัติการวินโดว์ 10 (Microsoft Window10)

4.1.2 หน่วยประมวลผลกลาง Intel(R) Core(TM) i5-3230M CPU @ 2.60GHz

4.1.3 หน่วยความจำแรม 4.00 GB (3.8 GB usable)

4.1.4 ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการพัฒนากระบวนการหาคำตอบคือ Microsoft visual basic 2015

4.2การออกแบบและขั้นตอนการทำงานของแบบจำลองการปีนเขา

ขั้นตอนกระบวนการหาคำตอบของแบบจำลองการปีนเขาจะมีกระบวนการหลัก ๆ คือ การสร้างคำตอบแรกและกระบวนการทำซ้ำเพื่อหาคำตอบที่เหมาะสมด้วยการปรับเปลี่ยนตัวแปรออกแบบขึ้นลงหนึ่งขั้น ซึ่งการปรับเปลี่ยนตัวแปรนั้น มีส่วนสำคัญต่อการลู่เข้าหาคำตอบที่เหมาะสม หลังจากนั้นจึงจะมีการคำนวณการรับแรงในแนวแกน และตรวจสอบเงื่อนไขการออกแบบ โดยขั้นตอนการทำงานหลักมีรายละเอียดการทำงาน ดังนี้

4.2.1การสร้างคำตอบแรกตามวิธีแบบจำลองการปีนเขาจะเป็นการหาคำตอบด้วยการสุ่มไปเรื่อย ๆจนคำตอบแรกที่ได้มานั้น ผ่านเงื่อนไขการออกแบบและสามารถรับน้ำหนักได้มากกว่าที่ต้องการหลังจากนั้นจะถูกกำหนดให้เป็นคำตอบแรกเริ่ม

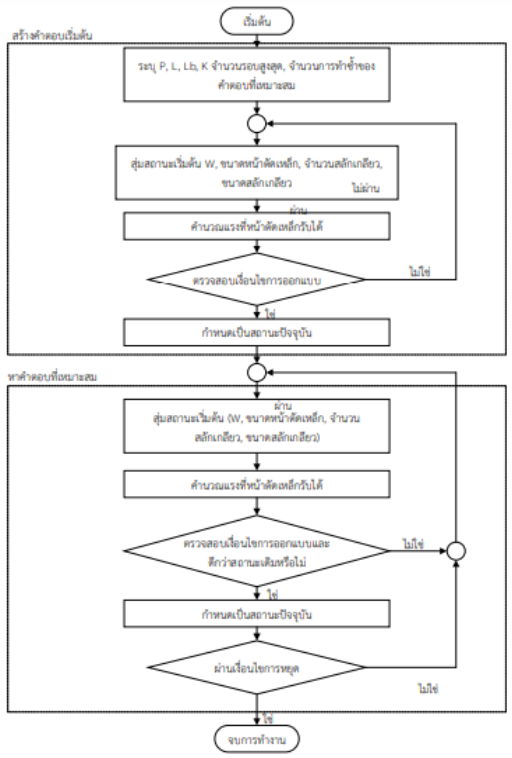
4.2.2ขั้นตอนการทำซ้ำเพื่อหาคำตอบที่เหมาะสม มีลักษณะการทำงาน ดังนี้

1)สร้างคำตอบใหม่ด้วยการปรับค่าตัวแปรออกแบบเพิ่มขึ้นหรือลดลงเพียง 1 ระดับ

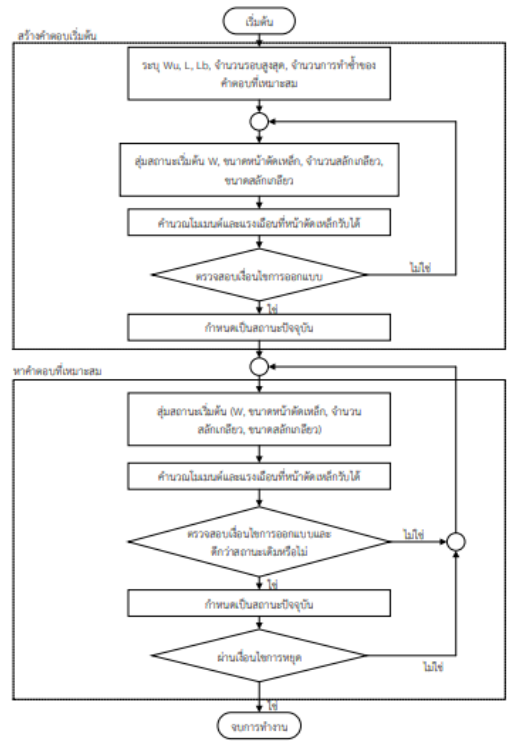
2)เข้าสู่กระบวนการคำนวณออกแบบและคำนวณราคา

3)ตรวจสอบสถานะของคำตอบด้วยเงื่อนไขการออกแบบและเงื่อนไขของราคา ถ้าคำตอบใหม่ที่ได้หลังจากการปรับปรุงมีราคาที่ต่ำกว่าคำตอบปัจจุบันและผ่านเงื่อนไขการออกแบบคำตอบใหม่นี้จะถูกกำหนดเป็นคำตอบปัจจุบัน ถ้าไม่ใช่ คำตอบใหม่นี้จะถูกปฏิเสธ

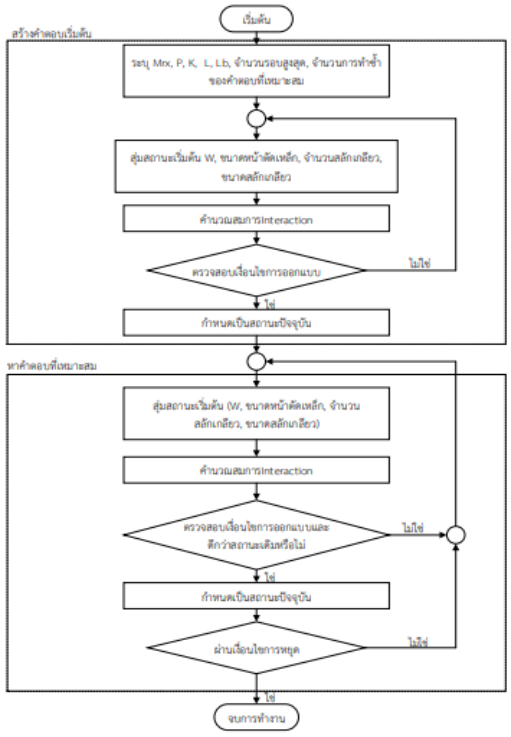
4)ตรวจสอบเงื่อนไขการหยุด ถ้าเงื่อนไขการหยุดที่กำหนดไว้ให้หยุดการทำงานทันที ถ้าไม่ใช่ให้กลับไปทำตามกระบวนการที่ 1 อีกครั้ง จากขั้นตอนระบวนการข้างต้นสามารถอธิบายเป็นผังลำดับการทำงานได้ดังแสดงในรูปที่ 1, 2, 3, และ 4



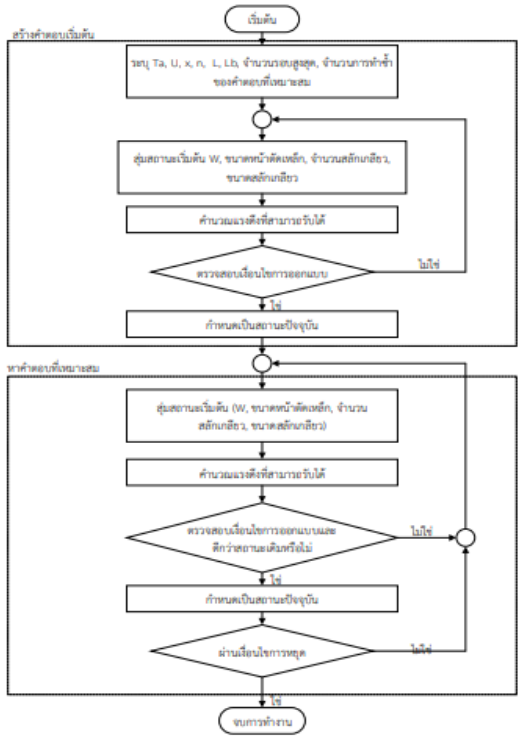
รูปที่ 1 กระบวนการทำงานของแบบจำลองปีนเขาวิธีออกแบบรับแรงอัด



รูปที่ 2 กระบวนการทำงานของแบบจำลองปีนเขาวิธีออกแบบรับแรงดัด



รูปที่ 3 กระบวนการทำงานของแบบจำลองปีนเขาวิธีออกแบบรับแรงอัดดัด



รูปที่ 4 กระบวนการทำงานของแบบจำลองปีนเขาวิธีออกแบบรับแรงดึง

4.3การออกแบบและขั้นตอนการทำงานของแบบจำลองการอบเหนียว

ขั้นตอนกระบวนการหาคำตอบของแบบจำลองการอบเหนียวจะมีกระบวนการหลัก ๆ เช่นเดียวกับแบบจำลองการปีนเขา แต่วิธีการนี้จะมีการยอมรับคำตอบอื่นที่นอกเหนือจากคำตอบที่ดีกว่าคำตอบปัจจุบัน โดยขั้นตอนการทำงานหลัก ๆ มีรายละเอียดการทำงาน ดังนี้

4.3.1การสร้างคำตอบแรกตามวิธีแบบจำลองอบเหนียวมีลักษณะการสร้างคำตอบเช่นเดียวกับแบบจำลองการปีนเขา

4.3.2ขั้นตอนการทำซ้ำเพื่อหาคำตอบที่เหมาะสมมีลักษณะของการทำงานดังนี้

1)สร้างคำตอบใหม่ด้วยการปรับค่าตัวแปรออกแบบเพิ่มขึ้นหรือลดลงเพียง 1 ขั้น

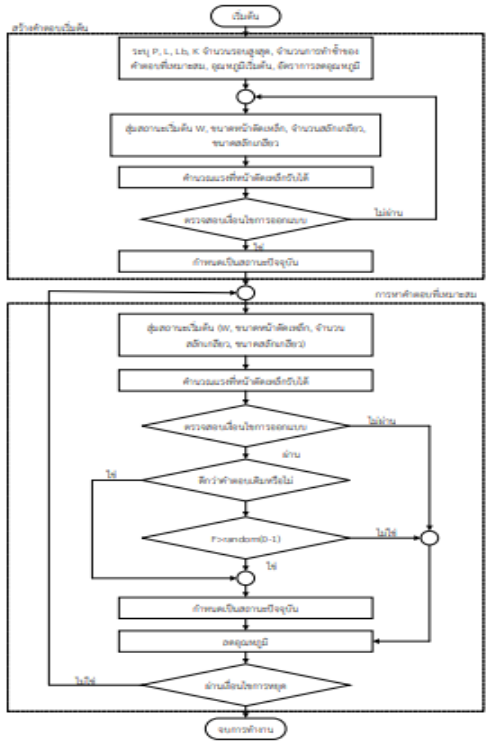
2)เข้าสู่กระบวนการคำนวณการออกแบบและคำนวณราคา

3)ตรวจสอบสถานะของคำตอบด้วยเงื่อนไขของการออกแบบและเงื่อนไขของราคา ถ้าคำตอบใหม่ที่ได้หลังจากการปรับปรุงมีราคาที่ต่ำกว่าคำตอบปัจจุบันและผ่านเงื่อนไข การออกแบบคำตอบใหม่นี้จะถูกกำหนดเป็นคำตอบปัจจุบัน ถ้าไม่ใช่ ให้ทำในขั้นตอนข้อถัดไป

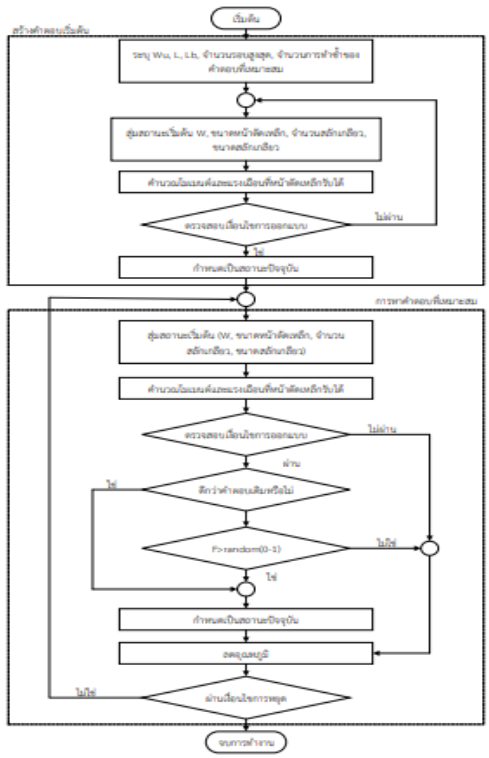
4)คำนวณค่าพลังงานที่เปลี่ยนไปด้วยสมการ $P = e^{-[\Delta E/T]}$ เมื่อ ΔE คือผลต่างของน้ำหนักที่เปลี่ยนไปเปรียบเทียบกับค่าสุ่มของ P'= random (0-1) ระหว่าง 0-1 ถ้า P>P' และออกแบบผ่านเงื่อนไข คำตอบใหม่นี้จะถูกยอมรับให้เป็นคำตอบปัจจุบัน แต่ถ้าไม่ใช่ คำตอบนี้จะถูกปฏิเสธ

5)ตรวจสอบเงื่อนไขการหยุด ถ้าเข้าเงื่อนไขการหยุดที่กำหนดไว้ให้หยุดการทำงานทันที ถ้าไม่ให้กลับไปทำตามกระบวนการที่ 1 อีกครั้ง

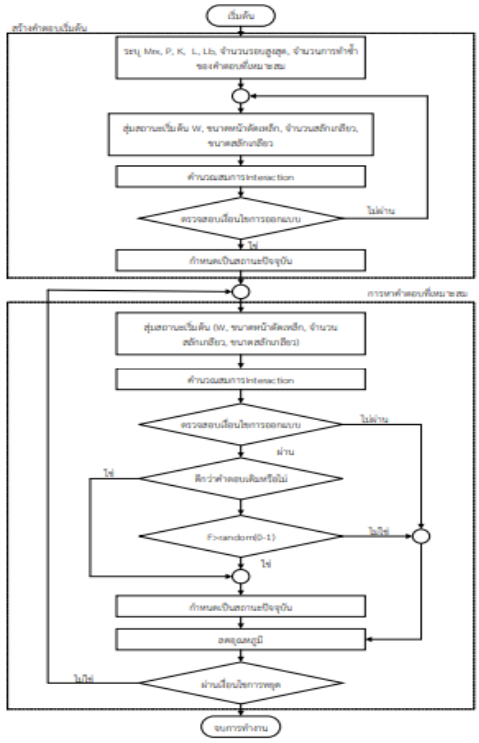
จากขั้นตอนกระบวนการข้างต้นสามารถอธิบายเป็นผังลำดับการทำงานได้ดังแสดงในรูปที่ 5, 6, 7, และ 8



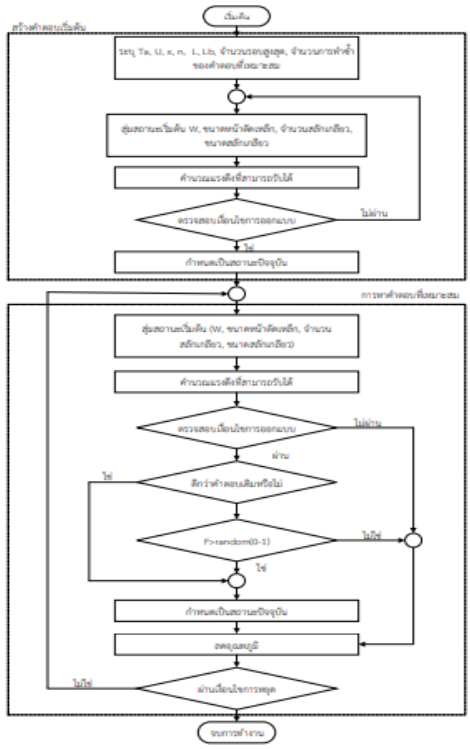
รูปที่ 5 กระบวนการทำงานของแบบจำลองการอบเหนียววิธีออกแบบรับแรงอัด



รูปที่ 6 กระบวนการทำงานของแบบจำลองการอบเหนียววิธีออกแบบรับแรงดัด



รูปที่ 7 กระบวนการทำงานของแบบจำลองการอบเหนียววิธีออกแบบรับแรงอัดดัด



รูปที่ 8 กระบวนการทำงานของแบบจำลองการอบเหนียววิธีออกแบบรับแรงดึง

4.4ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบและการออกแบบ

ตัวอย่างที่นำมาทดสอบการออกแบบในงานวิจัยนี้เป็นตัวอย่างที่นำมาจากหนังสือพฤติกรรมและการออกแบบโครงสร้างเหล็ก แต่งโดย ทักษิณ เทพชาตรี และอัครวัชร เล่นวารี [6] โดยหนังสือเล่มนี้ได้รับการตีพิมพ์และเป็นที่ยอมรับกันในทางออกแบบกันอย่างแพร่หลาย ซึ่งในการศึกษานี้จะนำเอาตัวอย่างมาทดสอบการออกแบบทั้งหมด 3 ตัวอย่าง ได้แก่ การออกแบบเหล็กรับแรงอัด การออกแบบเหล็กรับแรงดัด และการออกแบบรับแรงอัดดัด อย่างละ 1 ตัวอย่าง ดังนี้

ตัวอย่างที่ 1 ความยาวเสา 10 เมตร ระยะค้ำยัน 5 เมตร น้ำหนักตามแนวแกน 100 ตัน น้ำหนักตามแนวแกนปรับค่าแล้ว 140 ตัน โดยวิธี ASD ใช้เหล็ก W250x82.2 กก./ม. สามารถรับน้ำหนักได้ 95.8 ตัน วิธี LRFD ใช้เหล็ก W250x82.2 กก./ม. สามารถรับน้ำหนักได้ 144 ตัน

ตัวอย่างที่ 2 ความยาวคาน 10 เมตร น้ำหนักบรรทุกคงที่กระจายสม่ำเสมอ 2 ตัน/เมตร น้ำหนักบรรทุกคงที่ปรับค่าแล้วกระจายสม่ำเสมอ 3 ตัน/เมตร โดยวิธี ASD ใช้เหล็ก W500x89.6 กก./ม. สามารถรับโมเมนต์ได้ 25 ตัน-เมตร และแรงเฉือน 49 ตัน วิธี LRFD ใช้เหล็ก W500x89.6 กก./ม. สามารถรับโมเมนต์ได้ 37.5 ตัน-เมตร และแรงเฉือน 73.5 ตัน

ตัวอย่างที่ 3 ความยาวคาน 5 เมตร แรงตามแนวแกน 70 ตัน โมเมนต์ 30 ตัน-ม. แรงตามแนวแกนปรับค่าแล้ว 90 ตัน โมเมนต์ปรับค่าแล้ว 42 ตัน-เมตร โดยวิธี ASD ใช้เหล็ก W600x450กก./ม. สมการ Interaction = 0.98 วิธี LRFD ใช้เหล็ก W600x350 กก./ม. สมการ Interaction = 0.98 ตัน

5.ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

5.1ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมออกแบบโครงสร้างเหล็ก

จากการนำเสนอ Microsoft visual basic 2015 พัฒนาเป็นโปรแกรมออกแบบโครงสร้างเหล็ก สำหรับการใช้งานจำเป็นต้องเลือกลักษณะของการออกแบบซึ่งประกอบด้วย การออกแบบโครงสร้างรับแรงดึง การออกแบบโครงสร้างรับแรงอัด การออกแบบโครงสร้างรับแรงดัดและการออกแบบโครงสร้างรับแรงอัดดัด หลังจากนั้นผู้ใช้จะต้องเลือกลักษณะการออกแบบ โดยออกแบบรับแรงอัดจะต้องระบุแรงตามแนวแกน ความยาวของเสา การออกแบบรับแรงดึงจะระบุค่าแรงดึงที่กระทำ ระยะของการเจาะ ระยะห่างจากขอบของเหล็กถึงรูเจาะ การออกแบบรับแรงดัดจะระบุแรงกระจายคงที่ ความยาวของคานที่ใช้ การออกแบบรับแรงอัดดัดจะระบุค่าแรงตามแนวแกน โมเมนต์ที่ใช้ในการออกแบบ ความยาวเสา แล้วให้เลือกใช้วิธีการออกแบบหน้าตัดโดยวิธีกำลังที่ยอมให้ หรือวิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก หลังจากนั้นเลือกใช้

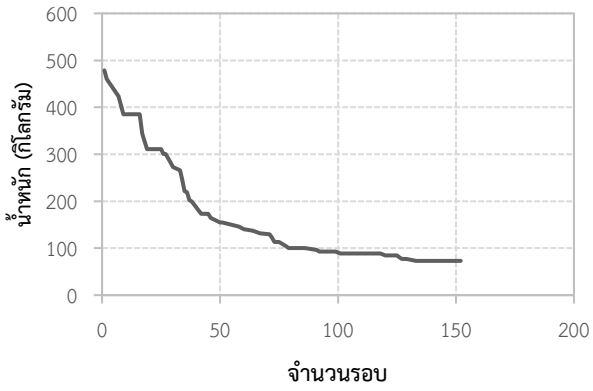
วิธีการออกแบบอย่างเหมาะสมมี 2 วิธี คือ แบบจำลองการปีนเขา และแบบจำลองการอบเหนียว วิธีการใดวิธีการหนึ่งซึ่งแต่ละวิธีจะมีการหาคำตอบที่แตกต่างกัน สำหรับแบบจำลองการปีนเขาจะมีการตรวจสอบที่สำคัญคือ การปรับคำตอบการทำซ้ำคำตอบที่เหมาะสม จำนวนรอบสูงสุด ส่วนแบบจำลองการอบเหนียว จะมีการตรวจสอบที่สำคัญคือ การปรับคำตอบการทำซ้ำคำตอบที่เหมาะสม จำนวนรอบสูงสุด อุณหภูมิเริ่มต้นและอัตราการลดอุณหภูมิในแต่ละอัลกอริทึมจะมีการแสดงผลในลักษณะการลู่เข้าสู่ผลการออกแบบที่มีค่าต่ำที่สุดของแต่ละอัลกอริทึมที่มีความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบ และน้ำหนักของหน้าตัดเหล็ก

5.2ผลการทดสอบด้วยวิธีแบบจำลอง

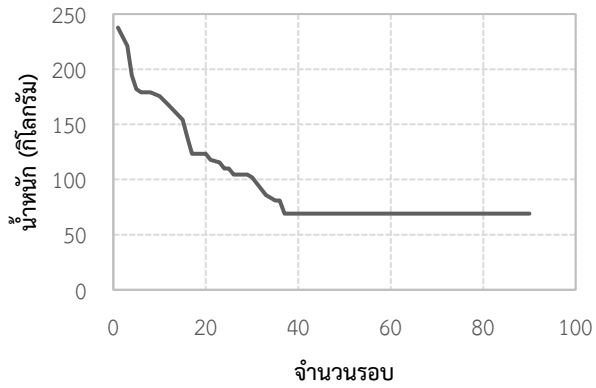
5.2.1ผลการทดสอบด้วยวิธีแบบจำลองปีนเขา

ตัวอย่างที่ 1 การออกแบบเหล็กรับแรงอัด โดยวิธีกำลังที่ยอมให้

ผลการออกแบบตัวอย่างที่ 1 โดยระบุแรงตามแนวแกนความยาวของเสาเมื่อทำการทดสอบวิธีแบบจำลองปีนเขาเพื่อหาคุณสมบัติของหน้าตัดเหล็ก ได้ผลการออกแบบ ดังแสดงในรูปที่ 9 และรูปที่ 10 พบว่า ตัวอย่างที่ 1 วิธีกำลังที่ยอมให้ ใช้จำนวนรอบในการหาคำตอบ 152 รอบ น้ำหนักเท่ากับ 73 กิโลกรัม วิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก ใช้จำนวนรอบในการหาคำตอบ 90 รอบ น้ำหนักเท่ากับ 69.08 กิโลกรัม



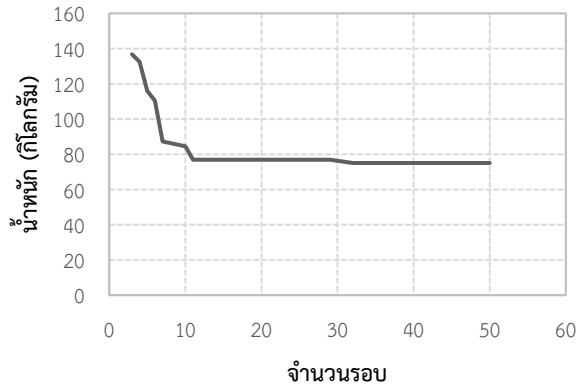
รูปที่ 9 การลู่เข้าของคำตอบ HCA ตัวอย่างที่ 1 วิธีกำลังที่ยอมให้ เหล็ก Wide flange



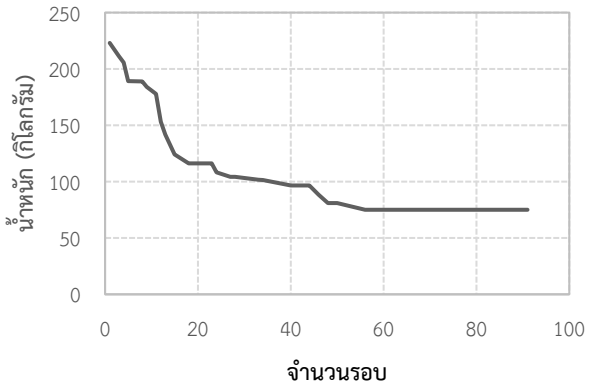
รูปที่ 10 การลู่เข้าของคำตอบ HCA ตัวอย่างที่ 1 วิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุกเหล็ก Wide flange

ตัวอย่างที่ 2 การออกแบบเหล็กรับแรงดัด โดยวิธีกำลังที่ยอมให้

ผลการออกแบบตัวอย่างที่ 2 โดยระบุแรงกระจายตามแนวแกน ความยาวของคาน เมื่อทำการทดสอบวิธีแบบจำลองปีนเขาเพื่อหาคุณสมบัติของหน้าตัดเหล็ก ได้ผลการออกแบบ ดังแสดงในรูปที่ 11 และ รูปที่ 12 พบว่า ตัวอย่างที่ 2 วิธีกำลัง ที่ยอมให้ใช้จำนวนรอบในการหาคำตอบ 50 รอบ น้ำหนักเท่ากับ 75.05 กิโลกรัม วิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก ใช้จำนวนรอบการหาคำตอบ 91 รอบ น้ำหนักเท่ากับ 75.05 กก.



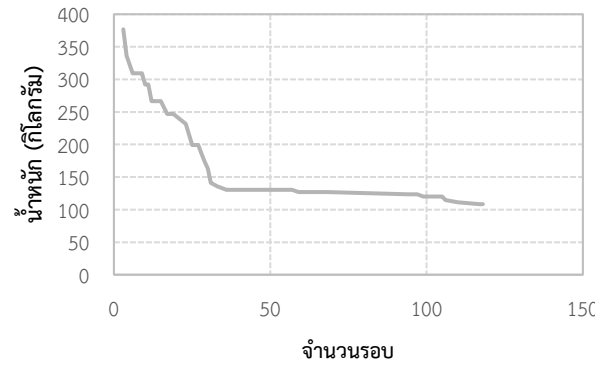
รูปที่ 11 การลู่เข้าของคำตอบ HCA ตัวอย่างที่ 2 วิธีกำลังที่ยอมให้ เหล็ก Wide flange



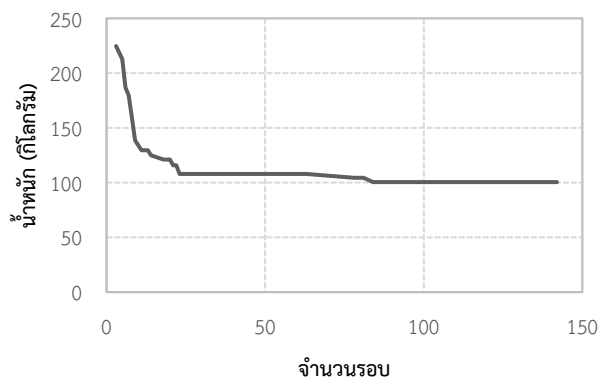
รูปที่ 12 การลู่เข้าของคำตอบ HCA ตัวอย่างที่ 2 วิธีตัวคูณความต้านทาน และน้ำหนักบรรทุกเหล็ก Wide flange

ตัวอย่างที่ 3 การออกแบบเหล็กรับแรงอัดดัดโดยวิธีกำลังที่ยอมให้

ผลการออกแบบตัวอย่างที่ 3 โดยระบุแรงตามแนวแกน โมเมนต์ที่กระทำ ความยาวของเสา เมื่อทำการทดสอบวิธีแบบจำลองปีนเขาเพื่อหาคุณสมบัติของหน้าตัดเหล็ก ได้ผลการออกแบบ ดังรูปที่ 13 และรูปที่ 14 พบว่า วิธีกำลังที่ยอมให้ใช้จำนวนรอบในการหาคำตอบ 174 รอบ น้ำหนักเท่ากับ 108.33 กิโลกรัม วิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุกใช้จำนวนรอบในการหาคำตอบ 142 รอบ น้ำหนัก 100.48 กิโลกรัม



รูปที่ 13 การลู่เข้าของคำตอบ HCA ตัวอย่างที่ 3 วิธีกำลังที่ยอมให้ เหล็ก Wide flange

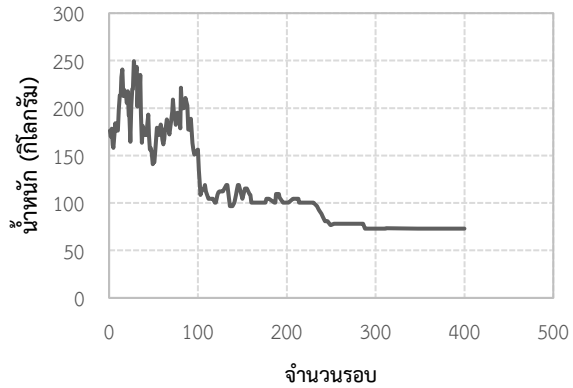


รูปที่ 14 การลู่เข้าของคำตอบ HCA ตัวอย่างที่ 3 วิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก เหล็ก Wide flange

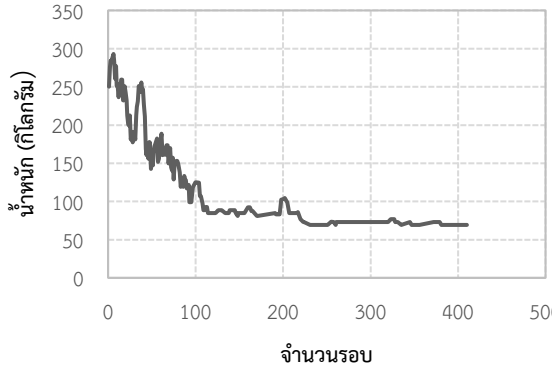
5.2.2ผลการทดสอบด้วยวิธีแบบจำลองการอบเหนียว

ตัวอย่างที่ 1 การออกแบบเหล็กรับแรงอัด

ผลการออกแบบตัวอย่างที่ 1 โดยระบุแรงตามแนวแกน ความยาวของเสาเมื่อทำการทดสอบวิธีแบบจำลองการอบเหนียว เพื่อหาคุณสมบัติของหน้าตัดเหล็ก ได้ผลการออกแบบดังรูปที่ 15 และ รูปที่ 16 พบว่า ตัวอย่างที่ 1 วิธีกำลังที่ยอมให้ ใช้จำนวนรอบในการหาคำตอบ 400 รอบ น้ำหนักเท่ากับ 73 กิโลกรัม วิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก ใช้จำนวนรอบในการหาคำตอบ 410 รอบ น้ำหนักเท่ากับ 69.08 กิโลกรัม



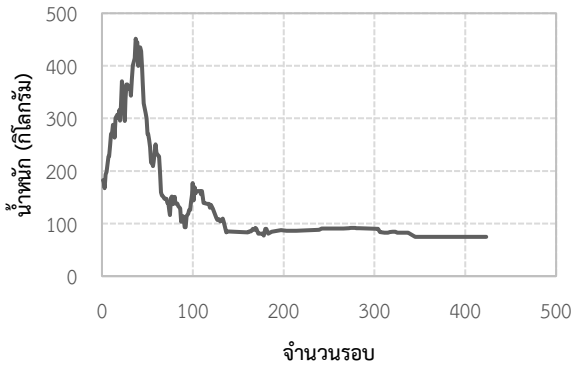
รูปที่ 15 การลู่เข้าของคำตอบ SA ตัวอย่างที่ 1 วิธีกำลังที่ยอมให้ เหล็ก Wide flange



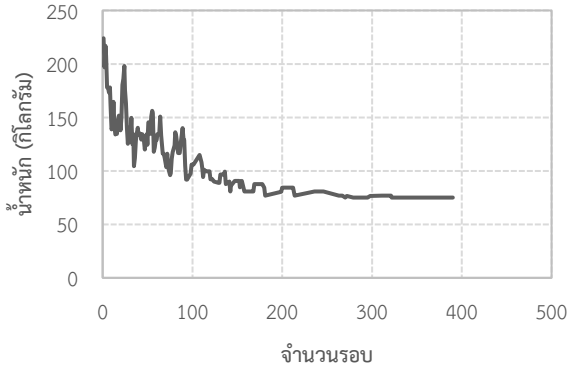
รูปที่ 16 การลู่เข้าของคำตอบ SA ตัวอย่างที่ 1 วิธีตัวคูณความต้านทาน และน้ำหนักบรรทุกเหล็ก Wide flange

ตัวอย่างที่ 2 การออกแบบเหล็กรับแรงดัด

ผลการออกแบบตัวอย่างที่ 2 โดยระบุแรงกระจายตามแนวแกน ความยาวของคาน เมื่อทำการทดสอบวิธีแบบจำลองปีนเขาเพื่อหาคุณสมบัติของหน้าตัดเหล็ก ได้ผลการออกแบบดังรูปที่ 17 และ รูปที่ 18 พบว่า วิธีกำลังที่ยอมให้ใช้จำนวนรอบในการหาคำตอบ 423 รอบ น้ำหนักเท่ากับ 75.05 กิโลกรัม วิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก ใช้จำนวนรอบในการหาคำตอบ 390 รอบ น้ำหนักเท่ากับ 75.05 กิโลกรัม



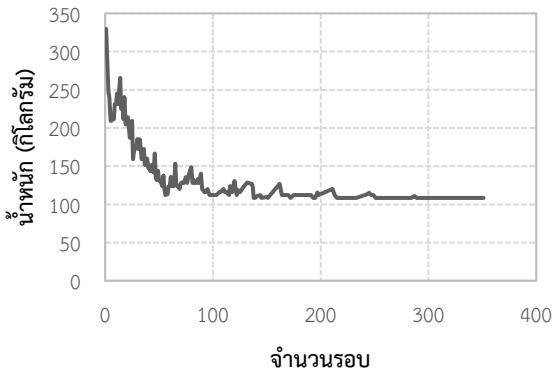
รูปที่ 17 การลู่เข้าของคำตอบ SA ตัวอย่างที่ 2 วิธีกำลังที่ยอมให้ เหล็ก Wide flange



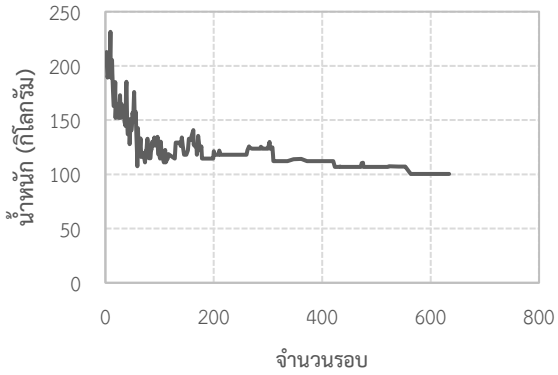
รูปที่ 18 การลู่เข้าของคำตอบ SA ตัวอย่างที่ 2 วิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุกเหล็ก Wide flange

ตัวอย่างที่ 3 การออกแบบเหล็กรับแรงอัดดัด

ผลการออกแบบตัวอย่างที่ 3 โดยระบุแรงตามแนวแกน โมเมนต์ที่กระทำ ความยาวของเสา เมื่อทำการทดสอบวิธีแบบจำลองแบบอบเหนียวเพื่อหาคุณสมบัติของหน้าตัดเหล็ก ได้ผลการออกแบบ ดังรูปที่ 19 และ รูปที่ 20 พบว่า ตัวอย่างที่ 3 วิธีกำลังที่ยอมให้ใช้จำนวนรอบในการหาคำตอบ 351 รอบ น้ำหนักเท่ากับ 108.33 กิโลกรัม วิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุกใช้จำนวนรอบในการหาคำตอบ 634 รอบ น้ำหนัก 100.48 กิโลกรัม



รูปที่ 19 การลู่เข้าของคำตอบ SA ตัวอย่างที่ 3 วิธีกำลังที่ยอมให้ เหล็ก Wide flange



รูปที่ 20 การลู่เข้าของคำตอบ SA ตัวอย่างที่ 3 วิธีตัวคูณความต้านทาน และน้ำหนักบรรทุกเหล็ก Wide flange

จะเห็นได้ว่าผลการออกแบบทั้งแบบจำลองการปีนเขาและแบบจำลองการอบเหนียว มีการลู่เข้าหาคำตอบที่เหมาะสมทั้งสองวิธี แต่วิธีแบบจำลองการปีนเขาจะมีการลู่เข้าที่เร็วกว่าแบบจำลองการอบเหนียว แต่ค่าคำตอบมีค่าคำตอบที่ออกมาใกล้เคียงกันโดยเปรียบเทียบวิธี HCA กับ SA

5.2.3วิเคราะห์คุณลักษณะของอัลกอริทึม

1)แบบจำลองการปีนเขา

จากผลการออกแบบแสดงให้เห็นว่า วิธีการลู่เข้าของแบบจำลองการปีนเขาจะมีการลู่เข้าของคำตอบแบบลดลงทีละขั้นจนถึงคำตอบที่ต่ำที่สุด และเหมาะสมที่สุด ในการออกแบบจะใช้จำนวนรอบที่น้อยกว่าวิธีแบบจำลองอบเหนียว มีขั้นตอนการทำที่ง่าย แต่คำตอบที่ดีที่สุดอาจจะมีเฉพาะบางแห่ง ไม่ถึงกับดีที่สุดแบบวงกว้างเมื่อเทียบความแม่นยำในการหาคำตอบซ้ำคำตอบเดิม

2)แบบจำลองการอบเหนียว

จากผลการออกแบบวิธีแบบจำลองการอบเหนียวจะมีวิธีการออกแบบในลักษณะที่คล้ายกับ แบบจำลองปีนเขา และด้วยคุณสมบัติเฉพาะในการลดอุณหภูมิอย่างช้า ๆ และคงที่ตลอดกระบวนการ โดยจากกราฟแสดงให้เห็นว่า การค้นหาคำตอบของวิธีแบบจำลองอบเหนียวมีลักษณะการกระจายตัวทำให้ส่งผลดีต่ออัลกอริทึมนี้ ในการหาคำตอบที่ดีที่สุดแบบวงกว้าง ซึ่งการลดอุณภูมิอย่างช้า ๆ ทำให้อัลกอรึทึมนี้สามารถปรับสถานะของคำตอบให้สามารถหลุดออกจากตำแหน่งของค่าที่ดีที่สุดเฉพาะแห่ง เพื่อไปสู่ค่าที่ดีที่สุดแบบวงกว้างได้ แต่ถึงแม้ว่าอัลกอริทึมนี้จะสามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดแบบวงกว้างได้ก็ต้องใช้จำนวนรอบในการหาคำตอบที่นานขึ้น ตัวแปรที่สำคัญของอัลกอริทึมนี้ประกอบด้วย 2 ตัวแปร คือ อุณหภูมิเริ่มต้น และอัตราการลดอุณหภูมิ ซึ่งสองตัวแปรนี้จะส่งผลต่อระยะเวลาในการหาคำตอบ การกำหนดค่าตัวแปรเหล่านี้จึงจำเป็นที่ต้องมีค่าที่เหมาะสม เพื่อให้ได้คำตอบที่ดีที่สุดแบบวงกว้าง

ดังนั้นการออกแบบโครงสร้างเหล็ก โดยวิธีการหาคำตอบแบบจำลองการปีนเขาและแบบจำลองการอบเหนียวสามารถนำมาใช้ในการหาผลของการออกแบบโครงสร้างเหล็กที่เหมาะสมและมีน้ำหนักที่น้อยลงได้

6.สรุปผลงานวิจัย

จากการทดสอบการทำงานของวิธีแบบจำลองการปีนเขาและแบบจำลองการอบเหนียวทั้งสองแบบร่วมกับการออกแบบโครงสร้างเหล็กทำให้ได้คำตอบ (น้ำหนัก) ที่เหมาะสม ดีกว่าการหาคำตอบแบบดั้งเดิม (การคำนวณมือ) เนื่องจากใช้ระยะเวลาในการได้มาซึ่งคำตอบสั้นกว่า ซึ่งหากเปรียบเทียบการทำงานของวิธีแบบจำลองทั้งสองแล้วสามารถสรุปได้ดังนี้

การออกแบบโครงสร้างเหล็กวิธีกำลังที่ยอมให้ และวิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก จากการใช้วิธีแบบจำลองเพื่อหาคำตอบที่เหมาะสม ทำให้ทราบว่าผลการออกแบบโดยทั้งสองวิธีแบบจำลองสามารถออกแบบได้คำตอบที่เหมาะสมได้ใกล้เคียงกันและมีความประหยัดมากกว่าวิธีดั้งเดิม

7.ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

7.1จากการวิจัยการออกแบบโครงสร้างเสริมเหล็กที่เหมาะสมด้วยวิธีแบบจำลองการปีนเขา และแบบจำลองการอบเหนียว ยังสามารถนำไปพัฒนาได้กับการทำงานของอัลกอริทึมแบบต่าง ๆ ได้อีก

7.2สามารถนำงานวิจัยนี้ไปพัฒนาการออกแบบโครงสร้างเหล็กชนิดต่าง ๆ หรืองานทางด้านวิศวกรรมด้านอื่น ๆ ด้วยวิธีแบบจำลองการปีนเขาและแบบจำลองการอบเหนียวได้

7.3สามารถนำทฤษฎีสำหรับ HCA และ SA ไปใช้ในการประยุกต์สำหรับการพัฒนาโปรแกรมในภาษาอื่นได้ เพื่อให้ได้ซอฟท์แวร์ที่มีความสวยงามและสะดวกต่อการใช้งาน

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอขอบคุณ รศ.ดร.เรืองรุชดิ์ ชีระโรจน์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ซึ่งให้คำปรึกษาด้วยดีตลอดมา

เอกสารอ้างอิง

[1] สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, “อัลกอริทึมและผังงานเบื้องต้น”. 2563. [Online]. https://www.scimath.org. (Accessed : 27 มกราคม 2564).

[2] S. Jendrik., “Better Order for Saturated Cost Partitionimg in Optimal Classical Planing”. *International Symposium on C0mbinatorial Search, SoCS* 2017, 2017, pp.149–153.

[3] มหาวิทยาลัยสวนดุสิต, “ทักษะพื้นฐานและการแก้ปัญหาด้วยการค้นหา”, [Online]. https://www.dusithost.dusit.ac.th. (Accessed 27 มกราคม 2564).

[4] มูลนิธิวิกิมีเดีย, “การจำลองการอบเหนียว”, [Online]. https://www.th.wikipedia.org. (Accessed 27 มกราคม 2564).

[5] American Institute of Steel Construction, “Manual of steel construction”, [Online]. www.issuu.com. (Accessed 27 มกราคม 2564).

[6] ทักษิณ เทพชาตรี และ อัครวัชร เล่นวารี, “พฤติกรรมและการออกแบบโครงสร้างเหล็ก”, กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2561.