



การออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นที่เหมาะสมด้วยอัลกอริทึมแบ่งครึ่งช่วง

กิตติศักดิ์ บรรณสาร และ อลงกรณ์ ละม่อม*

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

* ผู้ประสานงานเผยแพร่ (Corresponding Author), E-mail: alongkorn_lamom@msu.ac.th

วันที่รับบทความ: 30 สิงหาคม 2567; วันที่ทบทวนบทความ: 23 มกราคม 2568; วันที่ตอบรับบทความ: 29 มกราคม 2568

วันที่เผยแพร่ออนไลน์: 22 เมษายน 2568

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้เสนอการออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นโดยใช้วิธีอัลกอริทึมแบ่งครึ่งช่วงตามวิธีหน่วยแรงใช้งานของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (มาตรฐาน วสท. 011007-19) ในการออกแบบด้วยอัลกอริทึมนี้ จะมีการประเมินราคารวมของบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่น โดยอิงจากราคาวัสดุก่อสร้างและค่าแรงงานในปัจจุบัน การทดสอบเปรียบเทียบระหว่างวิธีอัลกอริทึมแบ่งครึ่งช่วงกับวิธีซิลโคลมิงอัลกอริทึมแบ่งเป็น 3 ตัวอย่าง ผลการศึกษาพบว่า ทั้งสองอัลกอริทึมสามารถค้นหาคำตอบที่เหมาะสมได้เหมือนกัน แต่ต่างกันในด้านรอบการทำงาน โดยวิธีอัลกอริทึมแบ่งครึ่งช่วงมีแนวโน้มการเข้าสู่คำตอบที่เหมาะสมได้อย่างมีประสิทธิภาพดีกว่าวิธีซิลโคลมิงอัลกอริทึม โดยสามารถลดจำนวนรอบการทำงานได้มากกว่า คิดเป็นร้อยละ 57.30 64.23 และ 71.63 ตามลำดับ เมื่อทดสอบซ้ำ 30 ครั้ง พบว่ารอบการทำงานเฉลี่ยของวิธีอัลกอริทึมแบ่งครึ่งช่วงเร็วกว่าวิธีซิลโคลมิงอัลกอริทึม ร้อยละ 28.56 42.94 และ 49.41 ตามลำดับ ดังนั้นวิธีอัลกอริทึมแบ่งครึ่งช่วงจึงสามารถนำมาใช้ในการออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: การออกแบบที่เหมาะสม; อัลกอริทึมแบ่งครึ่งช่วง; ซิลโคลมิงอัลกอริทึม; บันไดคอนกรีตแบบยื่น



Optimum Design of Reinforced Concrete Cantilever Stair Using Bisection Algorithm

Kittisak Bannasarn and Alongkorn Lamom *

Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Mahasarakham University

* Corresponding author, E-mail: alongkorn_lamom@msu.ac.th

Received: 30 August 2024; Revised: 23 January 2025; Accepted: 29 January 2025

Online Published: 22 April 2025

Abstract: This study proposes the design of a reinforced concrete cantilever stair using the Bisection Algorithm according to the Working Stress Design Method of the Engineering Institute of Thailand (EIT Standard 011007-19). In the design using this algorithm, the total cost of the cantilever stair will be estimated based on current construction material and labor prices. The experiment compared the performance of the Bisection Algorithm with the Hill Climbing Algorithm across three samples. The results indicated that both algorithms can find feasible solutions, but they differed in the number of iterations required. The Bisection Algorithm showed higher efficiency in converging to an optimal solution, reducing the number of iterations by 57.30, 64.23, and 71.63%, respectively, compared to the Hill Climbing Algorithm. In 30 repeated tests, the Bisection Algorithm was found to perform faster, reducing the average number of iterations by 28.56, 42.94, and 49.41%, respectively. Therefore, the Bisection Algorithm can be effectively applied in the design of reinforced concrete cantilever staircase.

Keywords: Optimum design; Bisection Algorithm; Hill Climbing Algorithm; Concrete Cantilever Stair



1. บทนำ

การออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นเป็นความท้าทายทางวิศวกรรมที่สำคัญ เนื่องจากความซับซ้อนของพฤติกรรมโครงสร้างและขั้นตอนการออกแบบที่ต้องมีการคำนวณหลายขั้นตอนในอดีตวิศวกรต้องใช้เวลาในการคำนวณด้วยมือซึ่งเพิ่มโอกาสเกิดข้อผิดพลาดและทำให้การหาแบบที่ประหยัดเป็นไปได้ยาก อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันความก้าวหน้าในเทคโนโลยีการประมวลผลความเร็วสูงและการพัฒนาขั้นตอนวิธีเชิงคำนวณที่มีประสิทธิภาพได้เปิดโอกาสให้มีการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างได้อย่างแม่นยำและมีเหตุผลมากขึ้น [1] โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การประยุกต์ใช้อัลกอริทึมการหาค่าที่เหมาะสม (Optimization Algorithm) ในการออกแบบโครงสร้างอาคาร ได้รับความนิยมน้อยอย่างแพร่หลาย [2] ด้วยความสามารถในการทำงานแบบอัตโนมัติและรวดเร็วช่วยให้วิศวกรสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพ ลดเวลาในการออกแบบ และลดต้นทุนการก่อสร้างโดยรวม นำไปสู่การสร้างโครงสร้างที่มีประสิทธิภาพและประหยัดมากขึ้น [3]

ในปัจจุบันมีหลายงานวิจัยที่ศึกษาการออกแบบโครงสร้างอาคารอย่างเหมาะสม ด้วยการนำอัลกอริทึมมาช่วยในการคำนวณออกแบบโครงสร้างอาคารต่างๆ อาทิ Govindaraj และ Ramasamy [4] ประยุกต์ใช้เจเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithm, GA) สำหรับการออกแบบรายละเอียดที่เหมาะสมที่สุดของคานคอนกรีตเสริมเหล็กแบบต่อเนื่องตามข้อกำหนดมาตรฐานของอินเดีย และ Cheng [5] ได้นำเจเนติกอัลกอริทึมแบบลูกผสม (Hybrid Genetic Algorithm, GA) มาใช้ในการออกแบบสะพานโครงสร้างเหล็กแบบโค้ง

ต่อมา Patchochai และคณะ [6] ได้ศึกษาการออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงตามแนวแกนอย่างเหมาะสมด้วยอัลกอริทึมแบ่งครึ่งช่วง (Bisection Algorithm, BA) จากนั้น Tapown และคณะ [7] ใช้ฮิลล์ไคลมิงอัลกอริทึม (Hill Climbing Algorithm, HCA) ซิมูเลเต็ดแอนนีลลิ่งอัลกอริทึม (Simulated Annealing Algorithm, SA) และเจเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithm, GA) ออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็กหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า ต่อมา Francisca และคณะ [8] ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของกำแพงกันดิน โดยใช้ อัลกอริทึมฮาร์โมนีเซิร์ช (Harmony Search, HS) ซึ่งผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าความสามารถในการรองรับฐานรากของดินมีผลกระทบอย่างมากต่อต้นทุน จากนั้น Akin และ saka [9] ได้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพในการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กโดยใช้ อัลกอริทึมฮาร์โมนีเซิร์ช (Harmony Search, HS) ต่อมา Chomchuen และ Lamom [10] ประยุกต์ใช้อัลกอริทึมแบ่งครึ่งช่วงสำหรับออกแบบหน้าตัดคานสะพานคอนกรีตอัดแรงที่เหมาะสม จากนั้น Tapown และ Cheerarot [11] นำการค้นหาแบบแมลงหวี่ (Fruit Fly Optimization, FOA) มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบที่เหมาะสมของฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก และ Azizi et al. [12] ได้นำวิธีฮาร์โมนีเซิร์ช (Tribe-Harmony Search, Tribe - HS) ออกแบบที่เหมาะสมที่สุดของโครงสร้างอาคารสูงและอาคารต่ำ ด้วยการพัฒนาขึ้นจากกระบวนการทางดนตรีในการค้นหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุด และ Cui et al. [13] ได้ศึกษาวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพวางแนวเสาเข็มสำหรับท่าเทียบเรือ โดยใช้เจเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithm, GA)



จากงานวิจัยที่ผ่านมา [4-13] แม้จะมีการใช้หลากหลายอัลกอริทึมในการออกแบบโครงสร้างอาคาร แต่ยังไม่มีการนำอัลกอริทึมแบ่งครึ่งช่วง (Bisection Algorithm, BA) มาออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่น งานวิจัยนี้จึงทดลองเปรียบเทียบการใช้ อัลกอริทึมแบ่งครึ่งช่วง (BA) กับฮิลโคลมิงอัลกอริทึม (HCA) สำหรับการออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่น ตามวิธีหน่วยแรงใช้งาน (WSD) ของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย มาตรฐาน วสท. 011007-19 [14] โดยสร้างโปรแกรมออกแบบด้วย Microsoft Visual Basic 6.0 เพื่อหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดและศึกษาประสิทธิภาพของอัลกอริทึมแบ่งครึ่งช่วง

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

การวิจัยนี้นำเสนออัลกอริทึมแบ่งครึ่งช่วง (BA) สำหรับการออกแบบและคำนวณราคาโดยรวมของบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่น เพื่อให้ได้ราคาโดยรวมต่ำสุด โดยใช้โปรแกรม Microsoft Visual Basic 6.0 ในการพัฒนาเป็นโปรแกรมช่วยคำนวณและค้นหาคำตอบ การวิจัยใช้คอมพิวเตอร์ที่มีระบบปฏิบัติการ Microsoft Windows 10 หน่วยประมวลผล Intel Core i7-7700HQ RAM 12 GB และซอฟต์แวร์ Microsoft Visual Basic 6.0

2.1 บันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่น

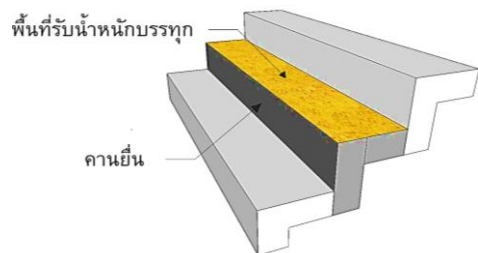
บันไดประเภทนี้ยื่นออกจากคานรองรับบันไดด้านเดียวอาจเป็นแบบท้องเรียบหรือพับผ้า แบบพับผ้านิยมมากกว่าเพราะมีน้ำหนักเบากว่าแบบท้องเรียบ ดังแสดงในรูปที่ 1

บันไดรูปแบบนี้ การรับแรงเหมือนคานยื่น ใช้เหล็กเสริมบ้นรับโมเมนต์ลบ การออกแบบใช้น้ำหนักบรรทุกเพียงชั้นเดียว ปลายเหล็กเสริมยื่นเข้าไปในคานรองรับให้ระยะฝังเพียงพอ มีโมเมนต์บิดถ่ายลงสู่คานรองรับ ต้องออกแบบเพื่อต้านทานโมเมนต์บิด น้ำหนักคานแต่ละชั้นคิดจากหน้าตัดรูปตัว L ดังแสดงในรูปที่ 2

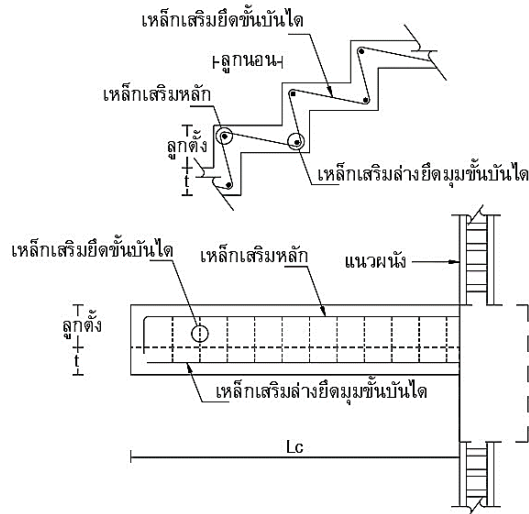
รูปที่ 3 เป็นรูปแบบการเสริมเหล็กของบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นที่มีความหนาพื้นบันไดเท่ากับ t ระยะยื่นเท่ากับ L_c เหล็กเสริมหลักจะเป็นเส้นอยู่บนสุดขนานกับแนวการยื่น เพื่อให้มีความลึกประสิทธิภาพในการต้านทานโมเมนต์ดัดส่วนเหล็กเสริมยึดชั้นบันไดจะวางยึดเหล็กเสริมหลักและเหล็กเสริมล่างยึดมุมชั้นบันได



รูปที่ 1 รูปแบบบันได คสล.แบบยื่น



รูปที่ 2 พื้นที่รับน้ำหนักบรรทุก



รูปที่ 3 รูปแบบการเสริมเหล็ก

2.2 การตรวจสอบความแข็งแรงของหน้าตัด

การตรวจสอบความแข็งแรงของหน้าตัด เมื่อรับน้ำหนักบรรทุก ต้องมีการตรวจสอบความสามารถในการรับโมเมนต์ดัด แรงเฉือน และการแอ่นตัว ซึ่งจะต้องอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ [14,15] ประกอบด้วย

1) ตรวจสอบความสามารถในการรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดบันได โดยพิจารณา

$$M_c \geq M_{max} \quad (1)$$

2) ตรวจสอบปริมาณเหล็กเสริมรับแรงดึง โดยพิจารณา

$$M_s \geq M_{max} \quad (2)$$

3) ตรวจสอบความสามารถในการรับแรงเฉือนของหน้าตัดบันได โดยพิจารณา

$$V_c \geq V_{max} \quad (3)$$

4) ตรวจสอบการแอ่นตัวสูงสุดเกิดขึ้นที่ปลายของบันไดยื่น โดยพิจารณา [16]

$$y_1 \geq \Delta_T \quad (4)$$

เมื่อ

M_c คือ โมเมนต์ต้านทานโดยคอนกรีต (กก.-ม.)

M_s คือ โมเมนต์ต้านทานโดยเหล็กเสริม (กก.-ม.)

M_{max} คือ โมเมนต์สูงสุดของบันได (กก.-ม.)

V_c คือ แรงเฉือนต้านทานโดยคอนกรีต (กก.)

V_{max} คือ แรงเฉือน ณ หน้าตัดวิกฤติ (กก.)

y_1 คือ ค่าการแอ่นตัวที่ยอมรับได้ (ซม.)

Δ_T คือ ค่าการแอ่นตัวสูงสุดที่เกิดขึ้น (ซม.)

2.3 สมการเป้าหมาย

สมการเป้าหมายของการศึกษานี้ คือ สมการที่ให้ผลรวมราคาวัสดุของบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่น ได้แก่ คอนกรีต เหล็กเสริมคอนกรีต และปริมาณแบบหล่อคอนกรีต รวมถึงค่าแรงงาน ทั้งหมดรวมกันแล้วต้องมีค่าน้อยที่สุด ตั้งสมการที่ 5



$$f(x) = \min \sum (V_c C_c + W_s C_s + A_F C_F) \quad (5)$$

เมื่อ

$f(x)$ คือ ราคาของบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยี่น (บาท)

V_c คือ ปริมาตรของคอนกรีต (ม.³)

C_c คือ ราคาของคอนกรีตรวมค่าแรงงาน (บาท/ม.³)

W_s คือ น้ำหนักรวมของเหล็กเสริม (กก.)

C_s คือ ราคาของเหล็กเสริมรวมค่าแรงงาน (บาท/กก.)

A_F คือ ปริมาณแบบหล่อคอนกรีต (ม.²)

C_F คือ ราคาของแบบหล่อคอนกรีตรวมค่าแรงงาน (บาท/ม.²)

ในงานวิจัยนี้ใช้ราคาวัสดุเฉพาะพื้นที่ที่สามารถปรับเปลี่ยนได้ตามความเหมาะสม ราคาคอนกรีตใช้เป็นราคาคอนกรีตผสมเสร็จ ดังแสดงในตารางที่ 1 ราคาเหล็กเสริมคอนกรีตต่อหน่วย เป็นราคาเฉลี่ยจากแต่ละขนาดตามกำลังครากของเหล็กเสริมคอนกรีต ดังแสดงในตารางที่ 2 ราคาแบบหล่อคอนกรีต

ตารางที่ 1 ราคาคอนกรีตผสมเสร็จและค่าแรงงาน

คอนกรีตผสมเสร็จ (ทรงกระบอกมาตรฐาน)			
กำลังอัดประลัย, f'_c (กก./ซม. ²)	ราคา (บาท/ม. ³)	ค่าแรงงาน (บาท/ม. ³)	รวม (บาท/ม. ³)
180	1,960	391	2,351
210	2,000	391	2,391
240	2,040	391	2,431
280	2,120	391	2,511
300	2,160	391	2,551
320	2,200	391	2,591

หมายเหตุ: ค่าแรงงานสำหรับโครงสร้างและส่วนประกอบอาคารชั้นเดียว

ตารางที่ 2 ราคาเหล็กเสริมคอนกรีตและค่าแรงงาน

ชนิดเหล็กเสริม คอนกรีต	ราคา (บาท/กก.)	ค่าแรงงาน (บาท/กก.)	รวม (บาท/กก.)
เหล็กเส้นกลม SR24	29.23	4.10	33.33
เหล็กข้ออ้อย SD30	27.89	3.30	31.19

ตารางที่ 3 ราคาแบบหล่อคอนกรีตและค่าแรงงาน

รายการ	จำนวน	หน่วย	ราคา (บาท)	รวม (บาท)
1 ไม้กระบาก	0.80	ลบ.ฟ.	590	472
2 ไม้ยาง	0.24	ลบ.ฟ.	650	156
3 ตะปู	0.20	กก	45	9
4 ค่าแรงงาน	1.00	ตร.ม.	133	133

รวมไม้แบบหล่อคอนกรีตเฉลี่ยใช้งาน 80 %

770

(บาท/ม.²)

หมายเหตุ: ไม้กระบาก ขนาด 1" × 6" - 8" ยาว 2.5 - 6.00 เมตร

2. ไม้ยาง ขนาด $1\frac{1}{2}$ " × 3" ยาว 2.50 - 6.00 เมตร

ดังแสดงในตารางที่ 3 [17] ทั้งหมดไม่รวมภาษีมูลค่าเพิ่ม จากสำนักงานพาณิชย์จังหวัดมหาสารคาม ประจำเดือนสิงหาคม 2565 [18] และค่าแรงงานตามบัญชีค่าแรงงาน/ดำเนินการสำหรับการถอดแบบคำนวณราคากลางงานก่อสร้าง [19]

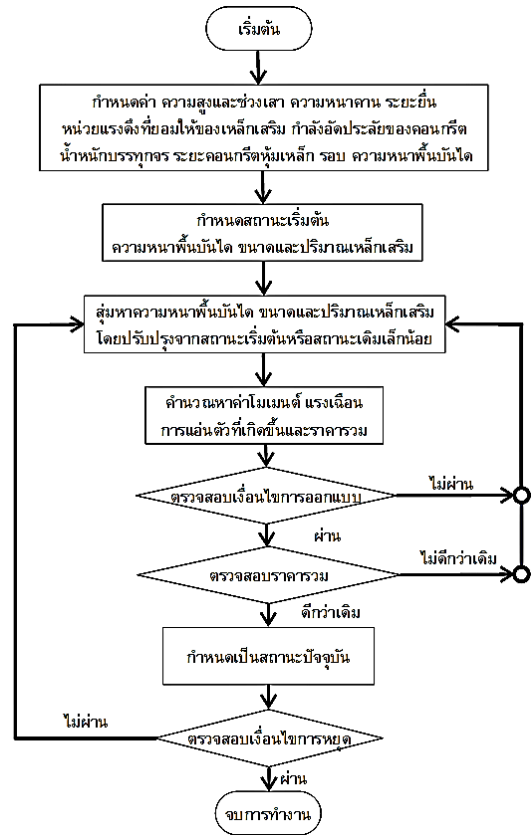


2.4 ฮิลล์ไคลมิงอัลกอริทึม

ฮิลล์ไคลมิงอัลกอริทึม (Hill Climbing Algorithm, HCA) ถูกเสนอครั้งแรกในปี 1984 โดย Pearl [20] เป็นวิธีการค้นหาข้อมูลที่เหมือนการปีนเขาเพื่อหาทางไปยังยอดเขาโดยเร็วที่สุด อัลกอริทึมนี้ใช้การค้นหาเชิงฮิวริสติก (Heuristic Search) เช่นเดียวกับเจเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithm) เพื่อแก้ปัญหาด้านความเหมาะสมหลายๆ ปัญหาอย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพในการหาค่าสูงสุดหรือต่ำสุด คล้ายการได้ขึ้นและลงเขาในแนวตั้ง

จากรูปที่ 4 เป็นขั้นตอนการหาค่าตอบของฮิลล์ไคลมิงอัลกอริทึม (HCA) มีขั้นตอนการทำงาน ดังนี้

- 1) กำหนดค่าตอบเริ่มต้นตามวิธี HCA ด้วยพารามิเตอร์การออกแบบ เช่น ความสูง ช่วงเสา ความหนาคาน ระยะยื่น หน่วยแรงดิ่งที่ยอมให้ของเหล็กเสริม กำลังอัดประลัยของคอนกรีต น้ำหนักบรรทุกจร ระยะคองกรีตหุ้มเหล็ก รอบ และความหนาพื้นบันได
- 2) กำหนดสถานะเริ่มต้น คือความหนาพื้นบันได ขนาดและปริมาณเหล็กเสริม
- 3) สร้างสถานะใหม่โดยปรับความหนาพื้นบันได ขนาดและปริมาณเหล็กเสริม เพิ่มหรือลดเพียงหนึ่งระดับ โดยไม่เกินจำนวนรอบที่กำหนดในขั้นตอนที่ 1
- 4) ตรวจสอบว่าสถานะใหม่ดีกว่าสถานะเดิมหรือไม่
- 5) หากไม่ใช่ ปฏิเสธสถานะใหม่และกลับไปทำขั้นตอนที่ 3
- 6) หากใช่ กำหนดสถานะใหม่เป็นสถานะปัจจุบัน
- 7) ตรวจสอบเงื่อนไขการหยุด เมื่อครบค่าที่เหมาะสมกับการทดลองนี้ คือ 1,000 รอบ หากไม่เข้าเงื่อนไข ให้กลับไปทำขั้นตอนที่ 3



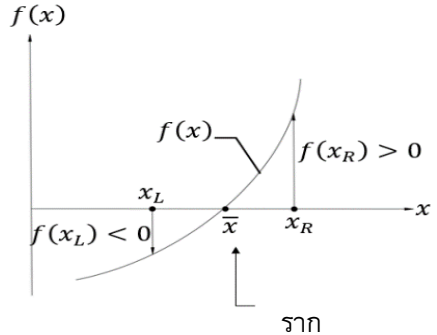
รูปที่ 4 ขั้นตอนการออกแบบด้วยการใช้ฮิลล์ไคลมิงอัลกอริทึม (HCA)

2.5 อัลกอริทึมแบ่งครึ่งช่วง

อัลกอริทึมแบ่งครึ่งช่วง (Bisection Algorithm, BA) [21] เป็นการหารากของสมการ โดยวิธีการแบ่งครึ่งช่วง (Bisection Method) ตั้งอยู่บนหลักความจริงที่ว่า ฟังก์ชัน $f(x)$ จะมีเครื่องหมายตรงกันข้ามในขณะ x ที่มีค่าน้อยกว่าและมากกว่าค่าของราก x ที่แท้จริง

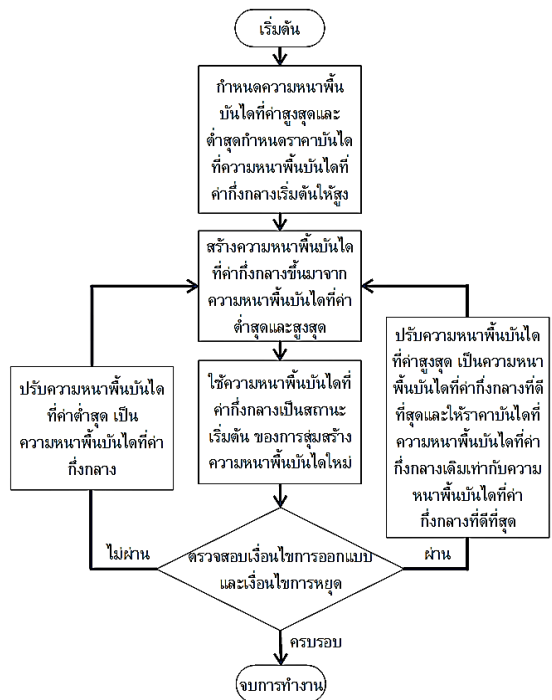


รูปที่ 5 แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงของฟังก์ชัน $f(x)$ จากกรณีที่มีค่าเป็นลบที่ $x = x_L$ ซึ่งอยู่ทางด้านซ้าย (Left) ของราก \bar{x} ไปเป็นค่าบวกที่ $x = x_R$ ทางด้านขวา (Right) ของราก \bar{x} นั่นคือสามารถสรุปได้ว่า หากราก \bar{x} นั้นอยู่ระหว่าง x_L และ x_R ที่กำหนดให้แล้วถ้าฟังก์ชัน $f(x_L)$ และ $f(x_R)$ จะมีเครื่องหมายตรงข้ามกันเสมอ



รูปที่ 5 ขั้นตอนการออกแบบด้วยการใช้อัลกอริทึมแบ่งครึ่งช่วง (BA)

จากรูปที่ 6 เป็นขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึมแบ่งครึ่งช่วง (BA) สรุปเป็นขั้นตอนการทำงานดังนี้



รูปที่ 6 ขั้นตอนการออกแบบด้วยการใช้อัลกอริทึมแบ่งครึ่งช่วง (BA)

1) กำหนดความหนาสูงสุดและต่ำสุดของพื้นบันได เริ่มต้นด้วยการตั้งค่าความหนาที่สูงมาก พร้อมทั้งตั้งค่าความหนาที่ดีที่สุดเป็นความหนาสูงสุด

2) คำนวณความหนาที่กึ่งกลางโดยแบ่งครึ่งระหว่างความหนาสูงสุดและต่ำสุด

3) สุ่มความหนาใกล้เคียงค่ากึ่งกลางเพื่อสร้างความหนาพื้นบันไดใหม่ แล้วตรวจสอบว่ารับน้ำหนักบรรทุกได้โดยปลอดภัยและประหยัดกว่าความหนาที่ดีที่สุดหรือไม่ หากดีกว่าบันทึกเป็นความหนาที่ดีที่สุด

4) เทียบราคาบันไดที่ความหนาที่กึ่งกลางเดิมกับความหนาที่ดีที่สุด หากราคาถูกกว่า ให้ตั้งค่าความหนาสูงสุดและราคาความหนาที่กึ่งกลางใหม่ตามความหนาที่ดีที่สุด หากไม่ใช่ให้ตั้งค่าความหนาต่ำสุดใหม่ตามความหนาที่ดีที่สุด แล้วทำซ้ำขั้นตอนที่ 2

5) หยุดการทำงานเมื่อครบรอบตามที่กำหนดไว้ สำหรับงานวิจัยในครั้งนี้ได้กำหนดจำนวนรอบการทำงาน 1,000 รอบ ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับการทดสอบนี้



2.6 ข้อจำกัดของอัลกอริทึม BA และ HCA

อัลกอริทึมแบ่งครึ่งช่วง (BA) และฮิลโคลมิงอัลกอริทึม (HCA) มีแนวโน้มที่จะติดอยู่ในจุดเหมาะสมเฉพาะที่ (Local Optimum) เนื่องจากการค้นหามุ่งเน้นเฉพาะบริเวณใกล้เคียงกับคำตอบปัจจุบันเท่านั้น ดังนั้น เมื่อพบจุดต่ำสุดหรือสูงสุดเฉพาะที่ อัลกอริทึมจะหยุด ซึ่งถือเป็นข้อจำกัดในการหาจุดเหมาะสมที่สุดเชิงรวม (Global Optimum) ในทางกลับกัน อัลกอริทึมบางประเภท เช่น อัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม (GA) มีจุดเด่นในการกระจายการค้นหาที่กว้าง ทำให้ลดโอกาสในการติดอยู่ในจุดเหมาะสมเฉพาะที่

อย่างไรก็ตาม อัลกอริทึมแบ่งครึ่งช่วงมีจุดเด่นในการเข้าสู่คำตอบได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะเมื่อปัญหามีขอบเขตที่ชัดเจนและไม่จำเป็นต้องใช้การสำรวจแบบสุ่มกระจาย ทั้งนี้เนื่องจากการค้นหาของอัลกอริทึมนี้มีความเป็นระบบและมุ่งเน้นในการหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงกับคำตอบปัจจุบัน ตัวอย่างเช่น การออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็กที่ต้องการเลือกขนาดวัสดุจากค่าที่ใหญ่ไปหาเล็กเพื่อให้ผ่านเงื่อนไขที่กำหนด ซึ่งไม่จำเป็นต้องใช้การกระจายตัวหรือการสำรวจที่ซับซ้อนเหมือนปัญหาประเภทอื่น ๆ เช่น การเลือกเส้นทางที่สั้นที่สุด หรือการจัดตารางงาน

ดังนั้น อัลกอริทึมแบ่งครึ่งช่วงจึงเหมาะสำหรับการเลือกขนาดวัสดุในงานออกแบบโครงสร้าง หรือปัญหาเฉพาะทางที่คล้ายกัน แม้ว่าจะมีข้อจำกัดในการค้นหาเฉพาะบริเวณใกล้เคียง แต่จุดเด่นในการลดเวลาและทรัพยากรในการคำนวณยังคงทำให้อัลกอริทึมนี้เหมาะสมกับงานที่มีข้อกำหนดชัดเจนและมีความซับซ้อนต่ำ

2.7 ตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย

การวิจัยด้วยการทดสอบระบุค่าความสูงเสา 1.50 ม. ช่วงเสา 2.00 ม. กำลังอัดประลัยคอนกรีต 240 กก./ชม.² หน่วยแรงที่ยอมให้ของเหล็กเสริม 3,000 กก./ชม.² ระยะหุ้มคอนกรีต 2.00 ซม. เป็นค่าคงที่ สำหรับน้ำหนักบรรทุกจร และระยะยื่นกำหนดแตกต่างกันแบ่งเป็น 3 ตัวอย่าง คำนวณหาความหนาพื้นบันได และปริมาณเหล็กเสริมที่เหมาะสม เพื่อแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของอัลกอริทึม ในตัวอย่างที่แตกต่างกันสำหรับการค้นหาการรวมต่ำสุด โดยโครงสร้างสามารถรับแรงแบกทานได้อย่างปลอดภัย งานวิจัยนี้จึงศึกษาตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยตามตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ตัวอย่างทดสอบการออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่น

ที่	น้ำหนักบรรทุกจร (กก./ม. ²)	ระยะยื่น (ม.)
1	300	2.50
2	400	3.00
3	500	3.50

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผลการทดสอบ

3.1 ตัวอย่างการทดสอบที่ 1

จากตารางที่ 4 ตัวอย่างที่ 1 กำหนดให้น้ำหนักบรรทุกจร 300 กก./ม.² ระยะยื่น 2.50 ม. ได้ผลลัพธ์ในการออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นด้วยวิธี BA และวิธี HCA ดังแสดงในตารางที่ 5



ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบผลการออกแบบด้วยวิธี BA กับวิธี HCA

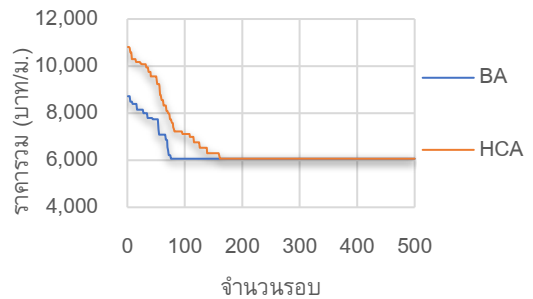
รายการ	ตัวอย่างที่ 1	
	BA	HCA
พื้นที่หน้า (ซม.)	12	12
ขนาดลูกตั้ง (ซม.)	16.67	16.67
ขนาดลูกนอน (ซม.)	25.00	25.00
เหล็กเสริมหลัก (ต่อ 1 ชั้น)	1-DB16	1-DB16
เหล็กเสริมยึดชั้นบันได	RB12	RB12
	@0.25ม.	@0.25ม.
เหล็กเสริมล่างยึดมุมชั้นบันได	1-RB12	1-RB12
ราคารวม (บาท/ม.)	6,112.85	6,112.85
รอบค่าตอบ (รอบ)	76	178
ร้อยละความแตกต่างรอบ	57.30	

จากตารางที่ 5 เป็นการเปรียบเทียบผลการออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นของตัวอย่างที่ 1 ด้วยวิธี BA กับวิธี HCA จากผลการศึกษาพบว่า การออกแบบด้วยวิธี BA มีประสิทธิภาพการลู่เข้าหาค่าตอบที่เหมาะสมได้เร็วกว่าวิธี HCA โดยวิธี BA ใช้รอบค่าตอบเพียง 76 รอบ ขณะที่วิธี HCA ใช้รอบค่าตอบมากถึง 178 รอบ ร้อยละความแตกต่างรอบคิดเป็นร้อยละ 57.30

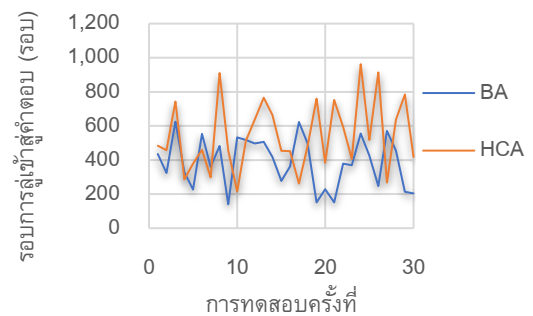
จากรูปที่ 7 การลู่เข้าสู่ค่าตอบที่เหมาะสมสำหรับตัวอย่างที่ 1 หากพิจารณาจากเส้นกราฟระหว่างราคารวมและจำนวนรอบ พบว่าวิธี BA เส้นกราฟจะลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากเป็นการลู่ขนาดหน้าตัดแบบแบ่งครึ่งช่วงจึงค้นหาค่าตอบได้รวดเร็ว สำหรับวิธี HCA เส้นของกราฟมีแนวโน้มลดลงในทุกกรอบของการทำงาน เนื่องจากเป็นการลู่ขนาดหน้าตัดเพียงเล็กน้อย เมื่อนำทั้ง 2 วิธีมาเปรียบเทียบการทำงานที่รอบต่างๆ เส้นกราฟวิธี BA แสดงให้เห็นว่ามีการค้นหาค่าตอบที่เหมาะสม ที่เร็วกว่าวิธี HCA

จากรูปที่ 8 ผลการทดสอบจำนวน 30 ครั้ง ของทั้งสองอัลกอริทึมสำหรับตัวอย่างที่ 1 พบว่าวิธี BA

สามารถค้นหาค่าตอบที่เหมาะสมได้เร็วกว่าวิธี HCA จำนวน 22 ครั้ง มีรอบการลู่เข้าสู่ค่าตอบที่เหมาะสมเฉลี่ยเท่ากับ 388.37 รอบ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ ± 146.60 การลู่เข้าสู่ค่าตอบที่เหมาะสมเฉลี่ยทั้งสองอัลกอริทึมแตกต่างกันร้อยละ 28.56 ดังแสดงในตารางที่ 6



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างราคารวมกับจำนวนรอบ ตัวอย่างที่ 1



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบที่ใช้ในการทำงานกับการทดสอบแต่ละครั้ง ตัวอย่างที่ 1

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบจำนวน 30 ครั้ง ด้วยวิธี BA กับวิธี HCA ตัวอย่างที่ 1

อัลกอริทึม	BA	HCA
จำนวนรอบเฉลี่ย (รอบ)	388.37	543.63
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	± 146.60	± 207.01
ร้อยละความต่างรอบเฉลี่ย	28.56	



3.2 ตัวอย่างการทดสอบที่ 2

จากตารางที่ 4 ตัวอย่างที่ 2 กำหนดให้นำหน้ากระบทุกจร 400 กก./ม.² ระยะยื่น 3.00 ม. ได้ผลลัพธ์ในการออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นด้วยวิธี BA และวิธี HCA ดังแสดงในตารางที่ 7

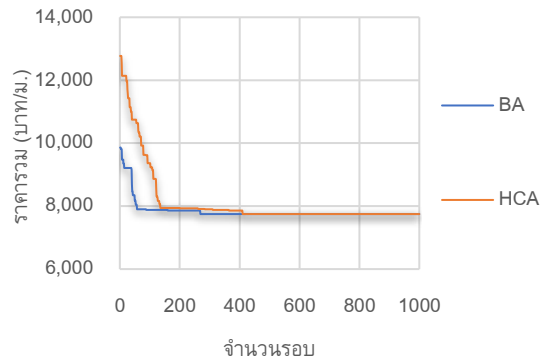
ตารางที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบผลการออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่น สำหรับตัวอย่างที่ 2 โดยใช้วิธี BA และวิธี HCA จากผลการศึกษา พบว่าวิธี BA สามารถเข้าสู่หาคำตอบที่เหมาะสมได้อย่างรวดเร็วกว่า โดยใช้รอบการค้นหาเพียง 269 รอบ ขณะที่วิธี HCA ต้องใช้ถึง 752 รอบ คิดเป็นความแตกต่างถึงร้อยละ 64.23 ในรอบคำตอบ การเปรียบเทียบนี้ชี้ให้เห็นถึงประสิทธิภาพของวิธี BA ในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ

จากรูปที่ 9 แสดงให้เห็นถึงการเข้าสู่คำตอบที่เหมาะสมในตัวอย่างที่ 2 เมื่อพิจารณาจากกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างราคารวมและจำนวนรอบของการทำงาน พบว่าวิธี BA นั้นสามารถลดราคารวมลงได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากเป็นการแบ่งขนาดหน้าตัดแบบแบ่งครึ่งช่วง ทำให้สามารถค้นหาคำตอบได้อย่างรวดเร็ว ในขณะที่วิธี HCA มีแนวโน้มจะลดราคารวมลงในทุกๆ รอบของการทำงาน แม้จะใช้การสุ่มขนาดหน้าตัดเพียงเล็กน้อยก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบกัน จะเห็นได้ว่ากราฟของวิธี BA แสดงถึงการค้นหาคำตอบที่เหมาะสม ที่เร็วกว่าอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับวิธี HCA

จากรูปที่ 10 แสดงผลการทดสอบจำนวน 30 ครั้ง สำหรับตัวอย่างที่ 2 พบว่าวิธี BA สามารถค้นหาคำตอบที่เหมาะสมได้เร็วกว่าวิธี HCA จำนวน 24 ครั้ง

ตารางที่ 7 การเปรียบเทียบผลการออกแบบด้วยวิธี BA กับวิธี HCA

รายการ	ตัวอย่างที่ 2	
	BA	HCA
พื้นที่หน้า (ซม.)	16	16
ขนาดลูกตั้ง (ซม.)	16.67	16.67
ขนาดลูกนอน (ซม.)	25.00	25.00
เหล็กเสริมหลัก (ต่อ 1 ชั้น)	3-DB12	3-DB12
เหล็กเสริมยึดชั้นบันได	RB12 @0.25ม.	RB12 @0.25ม.
เหล็กเสริมลางยึดมุมชั้นบันได	1-RB12	1-RB12
ราคารวม (บาท/ม.)	7,797.39	7,797.39
รอบคำตอบ (รอบ)	269	752
ร้อยละความแตกต่างราคา		64.23

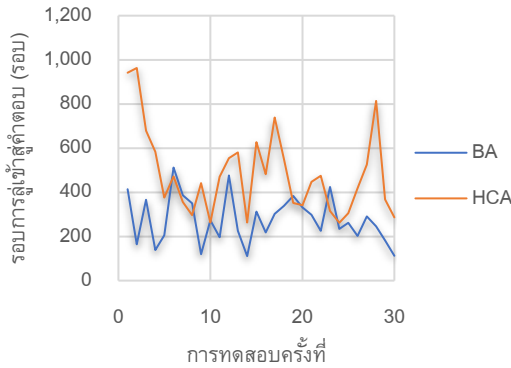


รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างราคารวมกับจำนวนรอบตัวอย่างที่ 2

โดยมีรอบเฉลี่ยในการเข้าสู่คำตอบที่เหมาะสมเท่ากับ 276.70 รอบ และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 106.69 นอกจากนี้ การเข้าสู่คำตอบที่เหมาะสมเฉลี่ยของทั้งสองวิธีแตกต่างกันถึงร้อยละ 42.94 ดังแสดงในตารางที่ 8 แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพและความสม่ำเสมอของวิธี BA ที่เหนือกว่าวิธี HCA



บทความวิจัย



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบที่ใช้ในการทำงานกับการทดสอบแต่ละครั้ง ตัวอย่างที่ 2

ตารางที่ 8 ผลการทดสอบจำนวน 30 ครั้ง ด้วยวิธี BA กับวิธี HCA ตัวอย่างที่ 2

อัลกอริทึม	BA	HCA
จำนวนรอบเฉลี่ย (รอบ)	276.70	484.97
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	±106.69	±192.14
ร้อยละความต่างรอบเฉลี่ย	42.94	

3.3 ตัวอย่างการทดสอบที่ 3

จากตารางที่ 4 ตัวอย่างที่ 3 กำหนดให้น้ำหนักบรรทุกจร 500 กก./ม.² ระยะยื่น 3.50 ม. ได้ผลลัพธ์ในการออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นด้วยวิธี BA และวิธี HCA ดังแสดงในตารางที่ 9

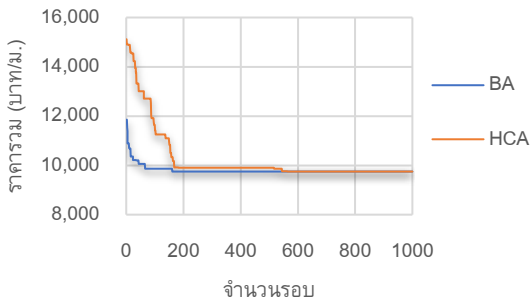
ตารางที่ 9 แสดงการเปรียบเทียบผลการออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นสำหรับตัวอย่างที่ 3 โดยใช้วิธี BA และวิธี HCA ผลการศึกษาเผยให้เห็นว่าวิธี BA สามารถเข้าสู่ค่าตอบที่เหมาะสมได้เร็วกว่าวิธี HCA อย่างชัดเจน โดยใช้รอบการค้นหาเพียง 160 รอบ ในขณะที่วิธี HCA ต้องใช้รอบการค้นหาถึง 564 รอบ ความแตกต่างในการเข้าสู่ค่าตอบคิดเป็นร้อยละ 71.63

ตารางที่ 9 การเปรียบเทียบผลการออกแบบด้วยวิธี BA กับวิธี HCA

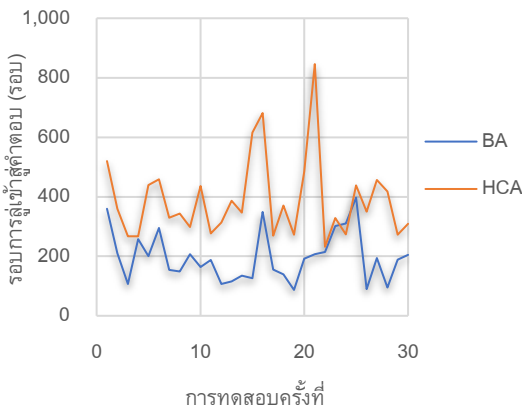
รายการ	ตัวอย่างที่ 3	
	BA	HCA
พื้นที่หา (ชม.)	21	21
ขนาดลูกตั้ง (ชม.)	16.67	16.67
ขนาดลูกนอน (ชม.)	25.00	25.00
เหล็กเสริมหลัก (ต่อ 1 ชั้น)	4-DB12	4-DB12
เหล็กเสริมยึดชั้นบันได	RB12 @0.25ม.	RB12 @0.25ม.
เหล็กเสริมล่างยึดมุมชั้นบันได	1-RB12	1-RB12
ราคารวม (บาท/ม.)	9,798.61	9,798.61
รอบคำตอบ (รอบ)	160	564
ร้อยละความแตกต่างราคา	71.63	

ซึ่งแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่เหนือกว่าของวิธี BA ในการหาค่าตอบที่เหมาะสมได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพสูงกว่าวิธี HCA

รูปที่ 11 แสดงให้เห็นการเข้าสู่ค่าตอบที่เหมาะสมสำหรับตัวอย่างที่ 3 โดยการวิเคราะห์เส้นกราฟระหว่างราคารวมและจำนวนรอบ พบว่าวิธี BA ทำให้เส้นกราฟลดลงอย่างรวดเร็ว ด้วยการสุ่มขนาดหน้าตัดแบบแบ่งครึ่งช่วง ทำให้ค้นหาค่าตอบได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ ส่วนวิธี HCA แม้จะมีแนวโน้มลดลงในทุกๆ รอบของการทำงาน แต่การสุ่มขนาดหน้าตัดเพียงเล็กน้อยทำให้การหาค่าตอบช้าลง เมื่อเปรียบเทียบกราฟของทั้งสองวิธี จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าวิธี BA สามารถค้นหาค่าตอบที่เหมาะสมได้เร็วกว่า HCA อย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบที่ใช้ในการทำงานกับการทดสอบแต่ละครั้ง ตัวอย่างที่ 3



รูปที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบที่ใช้ในการทำงานกับการทดสอบแต่ละครั้ง ตัวอย่างที่ 3

รูปที่ 12 แสดงผลการทดสอบจำนวน 30 ครั้งของทั้งสองวิธีสำหรับตัวอย่างที่ 3 พบว่าวิธี BA มีความโดดเด่นในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสม โดยสามารถทำได้เร็วกว่าวิธี HCA ถึง 29 ครั้ง โดยมีจำนวนรอบเฉลี่ยในการลู่เข้าสู่คำตอบที่เหมาะสมเท่ากับ 196.70 รอบ และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ ± 83.80 ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างสองวิธีคิดเป็น 49.41% ซึ่งแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่เหนือกว่าของวิธี BA อย่างชัดเจน ดังแสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ผลการทดสอบจำนวน 30 ครั้ง ด้วยวิธี BA กับวิธี HCA ตัวอย่างที่ 3

อัลกอริทึม	BA	HCA
จำนวนรอบเฉลี่ย (รอบ)	196.70	388.80
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	± 83.80	± 137.10
ร้อยละความต่างรอบเฉลี่ย	49.41	

ตารางที่ 11 ผลการทดสอบทางสถิติรอบการทำงานเฉลี่ย วิธี BA และ วิธี HCA เมื่อสุ่มตัวอย่างทดสอบจำนวน 10 ครั้ง จากทั้งหมด 30 ครั้ง

ผลการทดสอบทางสถิติ	ตัวอย่าง 1		ตัวอย่าง 2		ตัวอย่าง 3	
	BA	HCA	BA	HCA	BA	HCA
ค่าเฉลี่ย	362	601	282	473	225	378
ค่าต่ำสุด	140	407	112	263	107	267
ค่าสูงสุด	622	913	512	963	397	616
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	± 174	± 181	± 140	± 235	± 96	± 109
ค่าวิกฤติ	2.26	2.26	2.26	2.26	2.26	2.26
t-test	3.96	2.38	3.07	3.07	3.07	3.07
ผลทางสถิติ	ปฏิเสธ H_0	ปฏิเสธ H_0	ปฏิเสธ H_0	ปฏิเสธ H_0	ปฏิเสธ H_0	ปฏิเสธ H_0

ผลการทดสอบทางสถิติ t-test ของรอบการทำงานเฉลี่ยจากกลุ่มตัวอย่างของทั้งสองอัลกอริทึม เมื่อสุ่มตัวอย่างทดสอบจำนวน 10 ครั้ง จากทั้งหมด 30 ครั้ง ดังแสดงในตารางที่ 11 พบว่า ผลการทดสอบปฏิเสธสมมุติฐาน H_0 และยอมรับสมมุติฐานของ H_1 ในทั้ง 3 ตัวอย่างที่ แสดงว่ารอบการลู่เข้าสู่ค่าที่เหมาะสมกลุ่มตัวอย่างวิธี BA มีค่าน้อยกว่าวิธี HCA อย่างมีนัยสำคัญ



ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 นอกจากนี้จากการวิเคราะห์ข้อมูลยังพบว่า การกำหนดความหนาเริ่มต้นที่สูงในวิธี BA ช่วยลดจำนวนรอบการคำนวณในกรณีของตัวอย่างที่มีแรงกระทำเพิ่มขึ้น เนื่องจากความหนาเริ่มต้นใกล้เคียงกับค่าที่เหมาะสมเมื่อเพิ่มน้ำหนักบรรทุกและระยะยื่น ซึ่งส่งผลให้ช่วงค้นหาแคบลงและฟังก์ชันสามารถเข้าสู่ค่าตอบได้เร็วขึ้น

3.4 อภิปรายผลการทดสอบ

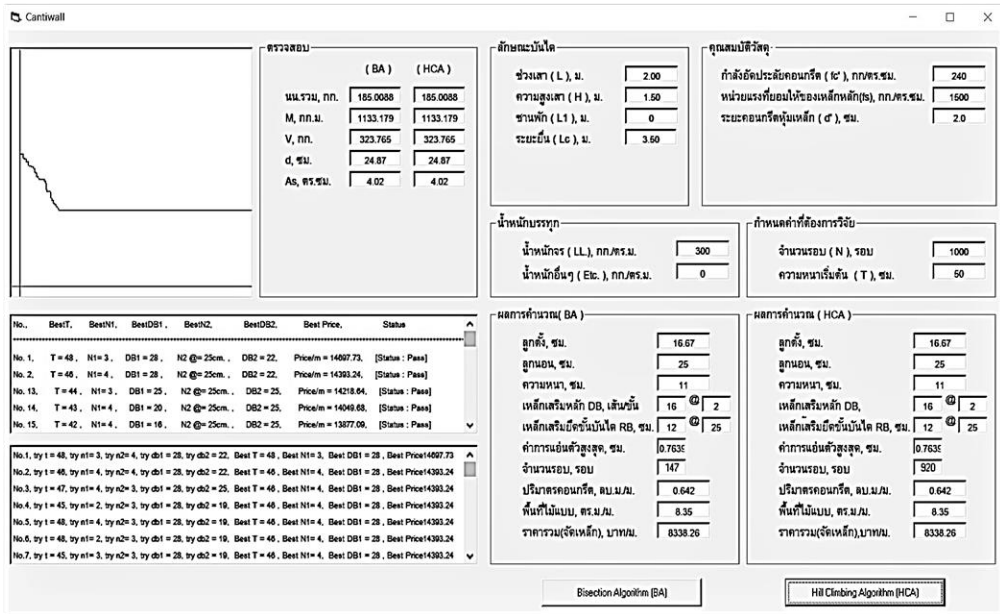
จากผลการทดสอบออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นด้วยวิธี BA และวิธี HCA โดยกำหนดเงื่อนไขการออกแบบตามมาตรฐาน วสท. 011007-19 [14] เพื่อให้บันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นมีราคา รวมต่ำสุดแต่ยังคงมีความมั่นคงแข็งแรงและปลอดภัยต่อการใช้งาน เมื่อเปรียบเทียบการคำนวณในทั้ง 3 ตัวอย่าง พบว่า ทั้งสองอัลกอริทึมสามารถค้นหาค่าตอบที่เหมาะสมได้เหมือนกัน แตกต่างกันเพียงจำนวนรอบของการทำงาน โดยบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นที่ถูกออกแบบด้วยวิธี BA มีแนวโน้มการเข้าสู่ค่าตอบที่เหมาะสมได้รวดเร็วกว่าวิธี HCA ในทั้ง 3 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 57.30 64.23 และ 71.63 ตามลำดับ ซึ่งเมื่อทดสอบซ้ำจำนวน 30 ครั้ง พบว่ารอบการทำงานเฉลี่ยของประชากรวิธี BA มีรอบการทำงานที่เร็วกว่าวิธี HCA ร้อยละ 28.56 42.94 และ 49.41 ตามลำดับ นอกจากนี้ ผลการทดสอบทางสถิติ t-test ยังแสดงให้เห็นว่า วิธี BA มีรอบการทำงานเฉลี่ยที่น้อยกว่าวิธี HCA อย่างมีนัยสำคัญ ทั้ง 3 ตัวอย่าง ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

อย่างไรก็ตาม ทั้ง BA และ HCA มีข้อจำกัดในการใช้งานกับปัญหาที่มีจุดเหมาะสมเฉพาะที่ (Local Optimum) หลายจุด เนื่องจากอัลกอริทึมทั้งสองมีแนวโน้มที่จะหยุดการค้นหาเมื่อพบจุดดังกล่าว แทนที่จะหาค่าตอบที่เหมาะสมที่สุด (Global Optimum) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้น วิธีการเหล่านี้จึงเหมาะสมสำหรับปัญหาที่มีจำนวนจุดเหมาะสมเฉพาะที่น้อย หรือในกรณีที่สามารถยอมรับค่าตอบที่ใกล้เคียงกับค่าตอบที่เหมาะสมที่สุดได้ ตัวอย่างเช่น งานออกแบบโครงสร้างบางประเภท หรืองานที่มีลักษณะคล้ายกันกับงานวิจัยนี้

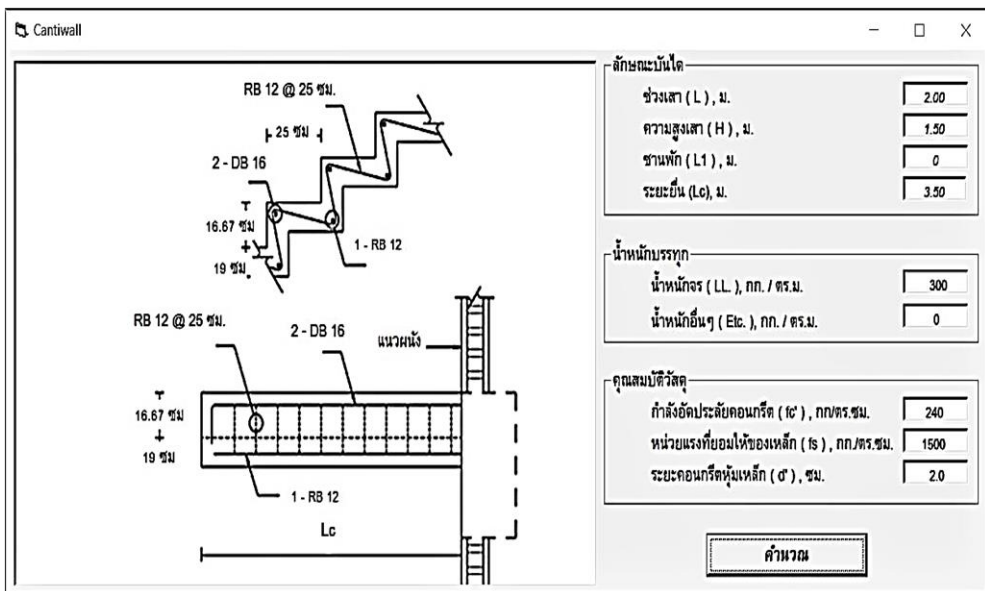
3.5 การพัฒนาโปรแกรมออกแบบอัตโนมัติ

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาโปรแกรมสำหรับการออกแบบบันไดยื่นคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยแบ่งออกเป็นสองส่วนหลัก ได้แก่ ส่วนแรกเป็นการสร้างโปรแกรมต้นแบบเพื่อทดสอบและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของระหว่างอัลกอริทึมและอัลกอริทึมแบ่งครึ่งช่วง การทดสอบแสดงให้เห็นว่าอัลกอริทึมแบ่งครึ่งช่วงสามารถเข้าสู่ค่าตอบที่เหมาะสมได้เร็วกว่าอัลกอริทึม หน้าจอแสดงผลดังแสดงในรูปที่ 13

ส่วนที่สองของการพัฒนาเน้นการสร้างโปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้อัลกอริทึมแบ่งครึ่งช่วงเพียงอย่างเดียว เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานของโปรแกรม โดยให้การคำนวณเป็นไปโดยอัตโนมัติ สะดวก รวดเร็ว และแม่นยำมากขึ้น หน้าจอแสดงผลของโปรแกรมสำเร็จรูปได้รับการปรับปรุงให้ใช้งานง่าย รองรับการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์การออกแบบได้อย่างยืดหยุ่น ช่วยให้การออกแบบบันไดยื่นคอนกรีตเสริมเหล็กเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ดังแสดงในรูปที่ 14



รูปที่ 13 หน้าจอแสดงผลโปรแกรมต้นแบบ



รูปที่ 14 หน้าจอแสดงผลโปรแกรมสำเร็จรูป



4. บทสรุป

ผลการวิจัยแสดงถึงความแตกต่างที่สำคัญระหว่างวิธี HCA และวิธี BA จากการกำหนดค่าเริ่มต้นที่เหมือนกัน โดยวิธี HCA ใช้การสุ่มค่าและสร้างคำตอบใหม่ที่ใกล้เคียงคำตอบเดิม จึงมีคำตอบที่ถูกสร้างมากทำให้ผลลัพธ์แปรปรวนสูง สะท้อนจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่สูงในการทดสอบ 30 ครั้ง ตรงกันข้ามวิธี BA ใช้การสุ่มค่าแล้วแบ่งครึ่งขอบเขตการค้นหา เพื่อลดพื้นที่การค้นหาและระบุช่วงที่มีคำตอบได้รวดเร็วกว่า มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ต่ำกว่า สรุปว่าวิธี BA มีประสิทธิภาพและความสม่ำเสมอในการหาคำตอบที่เหมาะสมกว่าวิธี HCA ในแง่ของการค้นหาคำตอบที่มีความรวดเร็ว

การทดลองใช้วิธี BA ในการออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยื่นเพื่อเปรียบเทียบกับวิธี HCA พบว่าวิธี BA มีประสิทธิภาพดีกว่า จึงแนะนำให้หันมาใช้วิธี BA ไปใช้ออกแบบโครงสร้างอื่น เช่น คานเสา หรือฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก เพื่อประเมินประสิทธิภาพเพิ่มเติมและเพิ่มความมั่นใจในความปลอดภัยและประหยัดค่าใช้จ่าย

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ AI ที่ช่วยในการสืบค้นข้อมูล แปลภาษา ประมวลผล ตรวจสอบและจัดทำเอกสารเบื้องต้น รวมถึงห้องวิจัยคอนกรีตและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ให้การสนับสนุนในการวิจัยครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] A. Kaveh and S. Talatahari, Optimum design of skeletal structures using imperialist competitive algorithm, *Computer and Structures*, 2010, 88(21–22), 1220–1229.
- [2] M.P. Saka, O. Hasancebi, and Z.W. Geem, Metaheuristics in structural optimization and discussions on harmony search algorithm, *Swarm and Evolutionary Computation*, 2016, 28, 88–97.
- [3] V. Yepes, J.V. Martí, and T. García-Segura, Cost and CO₂ emission optimization of precast–prestressed concrete U-beam road bridges by a hybrid glowworm swarm algorithm, *Automation in Construction*, 2015, 49(Part A), 123–134.
- [4] V. Govindaraj and J.V. Ramasamy, Optimum detailed design of reinforced concrete continuous beams using Genetic Algorithms, *Computer and Structures*, 2005, 84(1–2), 34–48.
- [5] J. Cheng, Optimum design of steel truss arch bridges using a hybrid genetic algorithm, *Journal of Constructional Steel Research*, 2010, 66(8–9), 1011–1017.
- [6] S. Patchotichai, N. Jitrapinat, and A. Lamom, Optimum design of axial loaded reinforced concrete column using bisection algorithm, *Ladkrabang Engineering Journal*, 2011, 28(3). (in Thai)



- [7] A. Tapown, A. Lamom, and R. Cheerarot, Optimal design of biaxial reinforced concrete rectangular column by heuristic algorithm, Thesis, Mahasarakham University, Thailand. 2012.
- [8] M.M. Francisca, S. Tatiana, J.V. Jose, and Y. Victor, Optimization of buttressed earth-retaining walls using hybrid harmony search algorithms, *Engineering Structures*, 2017, 134, 205–216.
- [9] A. Akin and M. P. Saka, Harmony search algorithm bases optimum detailed design of reinforced concrete plan frames subject to ACI 318–05 provisions, *Computer and Structures*, 2015, 147, 79–95.
- [10] S. Chomchuen and A. Lamom, Optimum design of prestressed concrete plank girder using hill climbing algorithm, *UBU Engineering Journal*, 2021, 14(14), 129–140. (in Thai)
- [11] A. Tapown and R. Cheerarot, Optimum design of reinforced concrete foundations by fruit fly optimization algorithm, *The Journal of King Mongkut's University of Technology North Bangkok*, 2021, 31(1), 16–24. (in Thai)
- [12] M. Azizi, S. Talatahari, M. Basiri, and M.B. Shishehgharkhaneh, Optimal design of low- and high-rise building structures by Tribes-Harmony Search algorithm, *Engineering Structures*, 2022, 3, 100067.
- [13] G.-C. Cui, T. Liang, G.-F. Han, and J. Ji, An optimization and adjustment method of pile orientation for a pile-supported wharf based on a genetic algorithm, *Journal of Marine Engineering*, 2022, 2022, 1–13.
- [14] EIT Standard 011007–19, Building Code Requirements for Reinforced Concrete Working Stress Design Method, The Engineering Institute of Thailand Under H.M. The King's Patronage, Bangkok, Thailand. 2019
- [15] C. Jarujinda, Reinforced concrete design, Bunloet Printing House, Bangkok, Thailand. 1999.
- [16] V. Chorwichian, Reinforced concrete design (working stress design: WSD), P.S. Commercial Ltd, Bangkok, Thailand. 1999.
- [17] Standard Building Construction Price Calculation Criteria, Announcement of the Committee on Standard Prices and Contractor Registration on Criteria and Methods for Determining Standard Construction Prices, 19 October 2017, Thailand, 2017.
- [18] http://www.indexpr.moc.go.th/PRICEPRESENT/table_month_regionCsi.asp (Accessed on 10 August 2022).



- [19] Guidelines, Practices, and Details for Quantity Takeoff and Calculation of Standard Construction Prices, Announcement on Criteria and Methods for Standard Construction Prices, 19 October 2017, Thailand. 2017.
- [20] J. Pearl, Heuristic: Intelligent search strategies for computer problem solving, Reding, Addison-Wesley Publishing Co., MA, USA, 1984.
- [21] P. Dachaompai and N. Vannasopark, Numerical methods in engineering, Chulalongkorn University Printing House, Bangkok, Thailand. 2017.