



การออกแบบที่เหมาะสมของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กโดยใช้วิธีค้นหาแบบหึ่งห้อย

อศันย์ ทาเภา*

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

เรืองรุชต์ ชีระโรจน์

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 08 8795 7260 อีเมล: assanai.tapao@gmail.com DOI: 10.14416/j.kmutnb.2021.12.005

รับเมื่อ 15 มิถุนายน 2563 แก้ไขเมื่อ 1 ตุลาคม 2563 ตอบรับเมื่อ 5 พฤศจิกายน 2563 เผยแพร่ออนไลน์ 27 ธันวาคม 2564

© 2022 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้วิธีค้นหาแบบหึ่งห้อยสำหรับการออกแบบที่เหมาะสมของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยกำหนดราคาค่าก่อสร้างรวมเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์เพื่อค้นหาการออกแบบที่ประหยัดที่สุดของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก ขั้นตอนวิธีค้นหาแบบหึ่งห้อยสำหรับการออกแบบที่เหมาะสมถูกทำให้บรรลุผลขึ้นโดยใช้ภาษา Visual Basic และใช้มาตรฐาน ACI318-14 ในการตรวจสอบผลของการออกแบบ นอกจากนี้พารามิเตอร์ที่สำคัญของวิธีค้นหาแบบหึ่งห้อยจะถูกทดสอบเพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงสุด จากผลการศึกษาพบว่า วิธีค้นหาแบบหึ่งห้อยสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบที่เหมาะสมสำหรับโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กได้โดยจำนวนรอบสูงสุดเท่ากับ 200 รอบ และจำนวนหึ่งห้อยเท่ากับ 125 ตัว ได้รับผลการทดสอบที่มีค่าทางสถิติที่ดีที่สุดและมีความเหมาะสมต่อการใช้งาน อีกทั้งผลการออกแบบที่เหมาะสมของวิธีค้นหาแบบหึ่งห้อยมีความประหยัดมากกว่าวิธีการที่ใช้สำหรับเปรียบเทียบประสิทธิภาพทุกตัวอย่าง

คำสำคัญ: การออกแบบที่เหมาะสม โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก วิธีค้นหาแบบหึ่งห้อย



Optimum Design of Reinforced Concrete Structures by Firefly Algorithm

Assanai Tapao*

Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Isan, Khon Kaen Campus, Khon Kaen, Thailand

Raungrut Cheerarot

Civil Engineering Program, Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Maha Sarakham, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 08 8795 7260, E-mail: assanai.tapao@gmail.com

DOI: 10.14416/j.kmutnb.2021.12.005

Received 15 June 2020; Revised 1 October 2020; Accepted 5 November 2020; Published online: 27 December 2021

© 2022 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

This research presents the application of firefly algorithm for the optimum design of reinforced concrete frames. The total cost is defined as an objective to determine the most economical design of reinforced concrete frames. The firefly algorithm for the optimum design was implemented using Visual basic language whereas ACI318-14 standards were applied to check the design results. In addition, important parameters of the firefly algorithm were tested for the maximum efficiency. From the result, the firefly algorithm can be applied for the optimum design of reinforced concrete frames. Using the maximum iterations of 200 times and firefly population of 125, the ideal statistical values along with the greatest usage suitability were obtained. Moreover, the optimum solution of firefly algorithm proves to be more economical than other methods for comparing the efficiency of every sample.

Keywords: Optimum Design, Reinforced Concrete Structures, Firefly Algorithm

1. บทนำ

วิธีค้นหาแบบหิ่งห้อย (Firefly Algorithm; FA) เป็นวิธีแก้ปัญหาที่เลียนแบบพฤติกรรมการหาคู่ของฝูงหิ่งห้อย ในลักษณะการส่งสัญญาณแบบปล่อยแสงกระพริบอย่างเป็นจังหวะ [1] อัลกอริทึมนี้ถูกนำเสนอครั้งแรกโดย Yang [2] ใน ค.ศ. 2009 เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาฟังก์ชันแบบต่อเนื่องหลายชนิด (Multimodal Optimization) โดยให้ผลที่ดีกว่าวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) และวิธีฝูงอนุภาค (Particle Swarm Optimization) จึงทำให้ FA เป็นที่รู้จัก และถูกนำไปใช้แก้ปัญหาที่เหมาะสมกับงานวิจัยที่หลากหลายมากขึ้น เช่น การประยุกต์ใช้ FA สำหรับจัดกลุ่มข้อมูลจากการใช้งานกับฟังก์ชันมาตรฐาน [3] การบีบขนาดไฟล์รูปภาพให้มีขนาดเล็กลงแต่ยังมีความคมชัดเท่าเดิม [4] การออกแบบขนาดของชิ้นส่วนในโครงข้อหมุน [5] ระบบลดการสูญเสียพลังงานของเครือข่ายไฟฟ้าขนาดใหญ่ [6] การทำนายอัตราการใช้ของแก๊สจากถังบรรจุอัดแน่น [7] การวางแผนเส้นทางในสภาพแวดล้อมที่ไม่แน่นอน [8] และการค้นหาความคิดเห็นที่เป็นที่สนใจอันดับต้นๆ ในเครือข่ายสังคมออนไลน์ [9] ทำให้ FA เป็นวิธีการแก้ปัญหาที่เหมาะสมวิธีหนึ่งที่มีความเหมาะสมสำหรับการประยุกต์ใช้งานในหลายๆ ด้าน

ด้วยการใช้งานที่หลากหลายจากงานวิจัยที่ผ่านมา และยังไม่พบว่ามีการวิจัยใดใช้ FA สำหรับออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำเสนอการประยุกต์ใช้ FA สำหรับออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก เพื่อประเมินความเหมาะสมของ FA ต่อการประยุกต์ใช้ในงานออกแบบ รวมไปถึงการออกแบบโครงสร้างให้มีความประหยัดและสามารถรับน้ำหนักได้อย่างปลอดภัยตามข้อกำหนดของ ACI318-14 [10]

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

2.1 คานคอนกรีตเสริมเหล็ก

กำลังรับโมเมนต์ดัดที่คานคาลดกำลังแล้ว (ϕM_n) ต้องมีค่ามากกว่าโมเมนต์ดัดประลัยที่กระทำ (M_u) เมื่อ ϕ มีค่าเท่ากับ 0.90 และ ϕM_n คำนวณจากสมการที่ (1)

$$\phi M_n = \phi A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (1)$$

เมื่อ A_s คือ ปริมาณเหล็กเสริมรับโมเมนต์ดัด (ชม.²) f_y คือ กำลังรับแรงดึงที่จุดครากของเหล็กเสริม (กก./ชม.²) d คือ ค่าความลึกประสิทธิภาพ (ชม.) a คือ ค่าความลึกของหน่วยแรงอัดที่เหลื่อมเทียบเท่าในหน้าตัดคานคอนกรีตเสริมเหล็ก (ชม.)

ความลึก (h , ชม.) ของหน้าตัดคานต้องมีค่ามากกว่าด้านแคบ (b , ชม.) แต่ต้องมีค่าไม่เกิน 3 เท่าของด้านแคบ

จำนวนเหล็กเสริมในหน้าตัดคานต้องมีอย่างน้อย 4 เส้น ที่มุมของหน้าตัด

ระยะห่างระหว่างเหล็กเสริมในหน้าตัดคานต้องมีค่ามากกว่า 2.5 ชม.

อัตราส่วนของปริมาณเหล็กเสริมต่อหน้าตัดคานต้องมีค่ามากกว่าอัตราส่วนเหล็กเสริมขั้นต่ำ ($A_{s,min}$ ชม.) ที่คำนวณได้จากสมการที่ (2) แต่ต้องมีค่าไม่เกินอัตราส่วนของเหล็กเสริมสูงสุดที่ยอมให้ ($A_{s,max}$ ชม.) ตามสมการที่ (3)

$$A_{s,min} = \frac{0.25 \sqrt{f'_c}}{f_y} b d \quad (2)$$

$$A_{s,max} = 0.75 \left(\frac{0.85 \beta_1 f'_c (600)}{f_y (600 + f_y)} \right) b d \quad (3)$$

เมื่อ f'_c คือ กำลังอัดของคอนกรีต (กก./ชม.²) β_1 คือ ค่าตัวคูณตามมาตรฐานการออกแบบ

2.2 เสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

การคำนวณกำลังรับน้ำหนักของเสาพิจารณาในเรื่องของกำลังรับแรงตามแนวแกน (ϕP_n) และโมเมนต์ดัดแกนเดียว (ϕM_n) โดยคำนวณจากการสมดุลแรงภายในหน้าตัดเสาตามสมการที่ (4) สำหรับแรงตามแนวแกนและสมการที่ (5) สำหรับโมเมนต์ดัดในหน้าตัดเสา

$$\phi P_n = \phi (C_{nc} + C_{ns} - T_n) \quad (4)$$

เมื่อ ϕ คือ ตัวคูณลดกำลังรับน้ำหนักของเสาซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.65 ค่า C_{nc} คือ กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต (กก.) C_{ns} คือ กำลังรับแรงอัดของเหล็กเสริมด้านรับแรงอัด (กก.) และ T_n คือ กำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริมด้านรับแรงดึง (กก.)

$$\phi M_n = \phi \left[C_{nc} \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + C_{ns} \left(\frac{h}{2} - d' \right) - T_n \left(\frac{h}{2} - d' \right) \right] \quad (5)$$

อัตราส่วนของปริมาณเหล็กเสริมต่อหน้าตัดเสาที่คำนวณจากสมการที่ (6) ต้องมีค่ามากกว่าร้อยละ 1 และไม่เกินร้อยละ 8 ของขนาดหน้าตัดเสา

$$\rho = \frac{A_{st}}{A_g} \times 100 \quad (6)$$

เมื่อ d' คือ ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริม (ชม.) A_{st} คือ พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมทั้งหมดในหน้าตัดเสา (ชม.²) และ A_g คือ พื้นที่หน้าตัดของเสา (ชม.²)

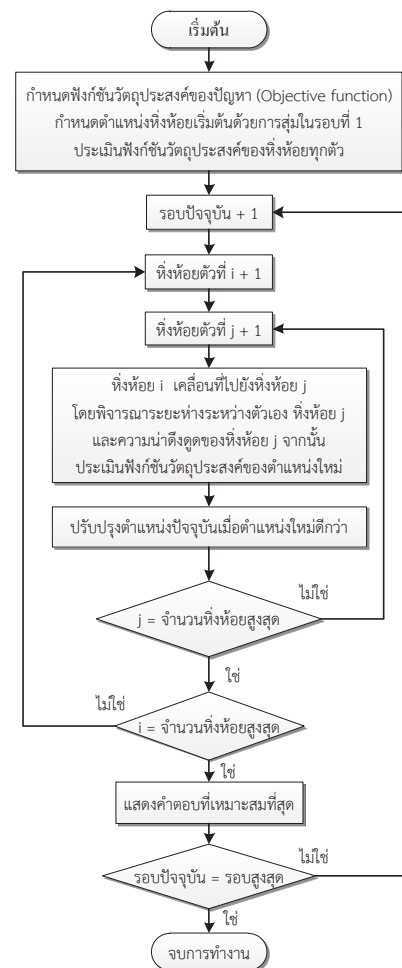
2.3 วิธีค้นหาแบบหึ่งห้อย

ขั้นตอนการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมของ FA แสดงในรูปที่ 1 เริ่มต้นด้วยการสร้างตำแหน่งเริ่มต้นจากการสุ่ม จากนั้นหึ่งห้อยจะเคลื่อนที่จากตำแหน่งเดิมไปยังตำแหน่งใหม่ และพิจารณาตำแหน่งใหม่จากค่าความเข้มแสงของหึ่งห้อยแต่ละตัว ซึ่งแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

เริ่มต้นการทำงานด้วยการกำหนดตำแหน่งเริ่มต้นให้หึ่งห้อยแต่ละตัวด้วยการสุ่มแบบวงกว้างในแต่ละตัวแปรออกแบบของหึ่งห้อยแต่ละตัวตามสมการที่ (7) จากนั้นหึ่งห้อยทุกตัวจะได้รับการประเมินตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของปัญหาที่ถูกกำหนดขึ้น

$$x_i = x_{i,\min} + rand(0,1)(x_{i,\max} - x_{i,\min}) \quad (7)$$

เมื่อ x_i คือ ตำแหน่งปัจจุบันของหึ่งห้อย $x_{i,\min}$ คือ ตัวแปรออกแบบที่มีค่าน้อยที่สุด $rand(0,1)$ คือ ค่าสุ่มที่อยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 และ $x_{i,\max}$ คือ ตัวแปรออกแบบที่มีค่ามากที่สุด



รูปที่ 1 ลำดับขั้นตอนการทำงานของ FA

การเคลื่อนที่จากตำแหน่งเดิมไปยังตำแหน่งใหม่ของหึ่งห้อยจะพิจารณาจากตำแหน่งเดิม อัตราค่าการดึงดูดหึ่งห้อยตัวอื่น (β_0) และระยะห่างระหว่างหึ่งห้อยตามสมการที่ (8)

$$x_i(t+1) = x_i + \beta_0 e^{-\gamma r_{ij}^2} (x_j - x_i) + \alpha \left(rand - \frac{1}{2} \right) \quad (8)$$

เมื่อ $x_i(t+1)$ คือ ตำแหน่งใหม่ของหึ่งห้อย x_i คือ ตำแหน่งเดิมของหึ่งห้อย t คือ ช่วงเวลาหรือจำนวนรอบ x_j คือ ตำแหน่งของหึ่งห้อยใกล้เคียง α คือ ค่าจำนวนใดๆ ที่อยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 $rand$ คือ ค่าสุ่มที่อยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ค่า γ

คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถูกดึงดูดด้วยแสงซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 และ r_{ij} คือ ระยะห่างระหว่างหิ้งห้อยสองตัว

การพิจารณาระยะห่างระหว่างหิ้งห้อย 2 ตัว จะถูกกำหนดให้อยู่ในระบบพิกัดคาร์ทีเซียน (Cartesian Distance) ตามสมการที่ (9)

$$r_{ij} = \|x_j - x_i\| = \sqrt{\sum_{k=1}^d (x_{i,k} - x_{j,k})^2} \quad (9)$$

ค่าความน่าดึงดูดนี้จะทำให้หิ้งห้อยที่มีความสว่างน้อยมีการเคลื่อนที่ไปยังหิ้งห้อยที่สว่างมากกว่า แต่ถ้าหากว่าไม่มีหิ้งห้อยใดที่มีความสว่างมากกว่า มันจะเคลื่อนที่แบบสุ่ม ค่าความน่าดึงดูดนี้เป็นค่าสัดส่วนโดยตรงกับค่าความสว่างของหิ้งห้อย ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (10)

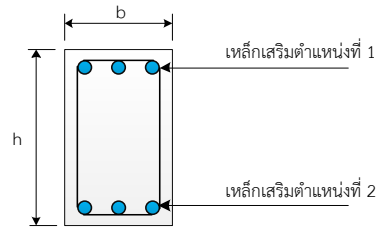
$$\beta_r = \beta_0 e^{-\gamma r_{ij}^2} \quad (10)$$

2.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

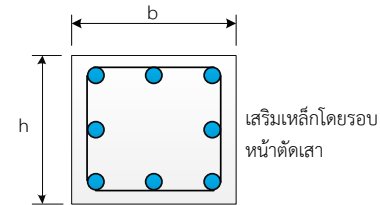
2.4.1 ขอบเขตของโปรแกรมออกแบบที่เหมาะสม

งานวิจัยนี้สร้างโปรแกรมสำหรับออกแบบที่เหมาะสมโดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ Notebook ระบบปฏิบัติการ Windows 10 ที่มีหน่วยประมวลผลกลาง Intel core i7-4500U CPU 1.80 กิกะเฮิร์ตซ์ หน่วยความจำ Ram 8 กิกะไบต์ หน่วยเก็บข้อมูล 500 กิกะไบต์ โดยมีขอบเขตการออกแบบดังนี้ ค่า f_c ที่สามารถเลือกได้ คือ 180, 210, 240, 280, 300, 320 และ 350 กก./ชม.² ค่า f_y ที่สามารถเลือกได้ คือ 3,000, 4,000 และ 5,000 กก./ชม.² ค่า b และค่า h ของหน้าตัดเสา และคานามีค่าตั้งแต่ 20 ซม. ถึง 100 ซม. ปรับเพิ่มครั้งละ 5 ซม. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กข้ออ้อยที่เลือกได้ คือ DB12, DB16, DB20, DB25, DB28, DB32, DB36 และ DB40 จำนวนของเหล็กเสริมในคานาทั้งบน และล่างมีจำนวน 2 ถึง 12 เส้น ปรับเพิ่มครั้งละ 1 เส้น และจำนวนเหล็กเสริมในเสามีจำนวนตั้งแต่ 4 ถึง 24 เส้น โดยปรับเพิ่มครั้งละ 2 เส้น โดยมีขนาดหน้าตัดและรูปแบบการเสริมเหล็กในหน้าตัดแสดงในรูปที่ 2

เนื่องจากตัวอย่างทดสอบที่นำมาจากงานวิจัยที่ผ่านมา



(ก) การเสริมเหล็กในหน้าตัดคานา



(ข) การเสริมเหล็กในหน้าตัดเสา

รูปที่ 2 รายละเอียดการเสริมเหล็กในโครงสร้าง

ไม่มีการออกแบบเหล็กปลอกรับแรงเฉือน ดังนั้นเพื่อให้การเปรียบเทียบมีความเท่าเทียมกันมากที่สุด งานวิจัยนี้จึงไม่พิจารณาออกแบบเหล็กปลอกรับแรงเฉือนเช่นเดียวกับงานวิจัยที่ผ่านมา

2.4.2 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์และราคาที่ใช้

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ ฟังก์ชันผลรวมของราคาค่าก่อสร้างโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่ทำให้ผลการออกแบบมีราคาที่เหมาะสมที่สุดดังสมการที่ (11) ซึ่งสมการนี้ประกอบด้วยราคา และปริมาณของวัสดุจำนวน 3 ชนิด ได้แก่ คอนกรีต เหล็กเสริมและแบบหล่อ

$$F_{cost} = \text{Min} \sum L(V_C C_C + V_S C_S + V_F C_F) \quad (11)$$

เมื่อ F_{cost} คือ ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ซึ่งเป็นผลรวมราคาของโครงสร้าง L คือ ความยาวของชิ้นส่วน V_C คือ ปริมาณคอนกรีต (ม.³) C_C คือ ราคาคอนกรีต (บาท/ม.³) V_S คือ ปริมาณเหล็กเสริม (กก.) C_S คือ ราคาเหล็กเสริมคอนกรีต (บาท/กก.) V_F คือ ปริมาณแบบหล่อ (ม.²) และ C_F คือ ราคาของแบบหล่อ (บาท/ม.²)

งานวิจัยนี้เลือกใช้ราคาวัสดุก่อสร้างจากบัญชีราคาวัสดุก่อสร้างและค่าแรงงานสำหรับปีงบประมาณ 2562 ของกลุ่มออกแบบและก่อสร้าง สำนักอำนวยการสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน [11] โดยคอนกรีตมีกำลังอัด 240 กก./ซม.² รูปทรงกระบอกราคา 2,244 บาท/ม.³ ค่าแรงเทคอนกรีต 485 บาท/ม.³ รวมเป็นเงิน 2,729 บาท/ม.³ ราคาเหล็กคุณภาพ SD40 เท่ากับ 20.5 บาท/กก. ค่าแรงติดตั้งเหล็ก 3.3 บาท/กก. รวม 23.8 บาท/กก. ราคาแบบหล่อคอนกรีต 400 บาท/ม.² ค่าแรงติดตั้งแบบ 133 บาท/ม.² รวม 533 บาท/ม.²

2.4.3 ขั้นตอนการออกแบบที่เหมาะสมโดยใช้ FA

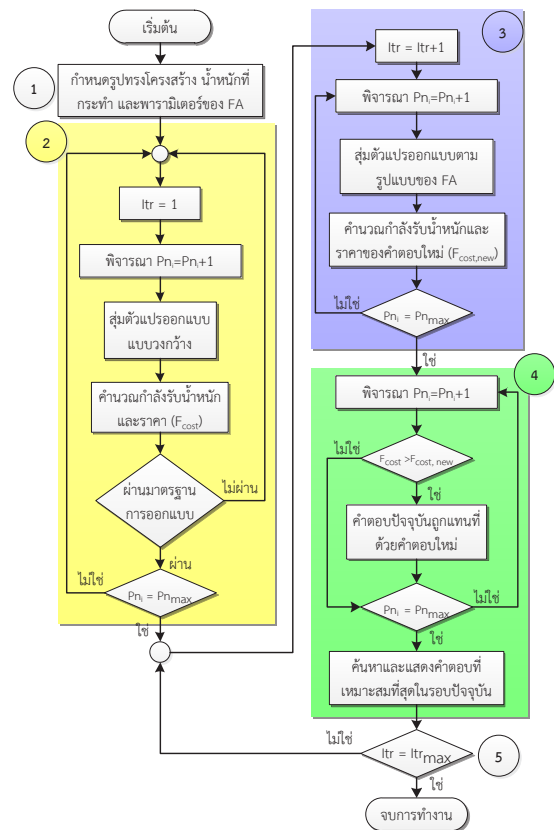
ลำดับขั้นตอนการออกแบบที่เหมาะสมโดย FA แสดงในรูปที่ 3 มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) เริ่มต้นที่การกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่จำเป็นซึ่งประกอบด้วย รูปทรงของโครงสร้าง น้ำหนักที่กระทำ กำลังของวัสดุที่ใช้ออกแบบ ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็ก ราคาวัสดุจำนวนหึงห้อยสูงสุด ($P_{n_{max}}$) จำนวนรอบการทำงานสูงสุด (Itr_{max}) และพารามิเตอร์อื่นๆ ของ FA

2) การสร้างคำตอบเริ่มต้นในรอบที่ 1 ($Itr = 1$) เป็นขั้นตอนการกำหนดกลุ่มคำตอบเริ่มต้นด้วยการสุ่มตัวแปรออกแบบอย่างวงกว้างให้กับแต่ละคำตอบ (คำตอบ 1 คำตอบคือ หึงห้อย 1 ตัว) โดยทุกคำตอบ (P_n) จะถูกคำนวณกำลังรับน้ำหนักและราคาจากฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (F_{cost}) จากนั้นจะเป็นการตรวจสอบการรับน้ำหนักและมาตรฐานการออกแบบซึ่งในขั้นตอนนี้จะทำให้จำนวนคำตอบรับน้ำหนักได้อย่างปลอดภัยและเป็นไปตามมาตรฐานการออกแบบ

3) เริ่มพิจารณาสร้างคำตอบใหม่ ทุกคำตอบในรอบที่ผ่านมามีการเปลี่ยนแปลงตัวแปรออกแบบด้วยการสุ่มโดยใช้สมการที่ (8) จากนั้นคำตอบใหม่จะถูกคำนวณกำลังรับน้ำหนัก และราคาจากฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ($F_{cost, new}$)

4) การแทนที่ เป็นขั้นตอนการเปรียบเทียบราคา F_{cost} กับ $F_{cost, new}$ ที่ละคำตอบโดยการจับคู่ ซึ่งถ้าหากคำตอบใหม่มีความประหยัดมากกว่าคำตอบปัจจุบัน สามารถรับน้ำหนักได้อย่างปลอดภัย และผ่านมาตรฐานการออกแบบ คำตอบปัจจุบันจะถูกแทนที่ด้วยคำตอบใหม่ทันที จากนั้นคำตอบที่ดี



รูปที่ 3 ขั้นตอนการออกแบบที่เหมาะสมของ FA

ที่สุดในรอบปัจจุบันจะแสดงออกมา

5) ตรวจสอบจำนวนรอบการทำงาน หากจำนวนรอบรอบปัจจุบันเท่ากับ Itr_{max} ที่กำหนดไว้ โปรแกรมจะหยุดการทำงานทันที แต่ถ้าไม่ใช่ให้กลับไปทำต่อขั้นตอนที่ 3

2.5 ตัวอย่างและวิธีการทดสอบ

2.5.1 ข้อกำหนดตัวคูณเพิ่มน้ำหนักกระทำ

มาตรฐาน ACI318-14 ได้กำหนดตัวคูณค่าแรงกระทำในแต่ละกรณีตามสมการที่ (12) ถึง (15) ซึ่งประกอบไปด้วย น้ำหนักคงที่ (Dead Load; DL) น้ำหนักจร (Live Load; LL) และแรงแผ่นดินไหว (Earthquake Load; EQ) ตามลำดับ

$$U = 1.4DL$$

(12)

$$U = 1.2DL + 1.6LL \quad (13)$$

$$U = 1.2DL + 1.0LL + 1.0EQ \quad (14)$$

$$U = 0.9DL + 1.0EQ \quad (15)$$

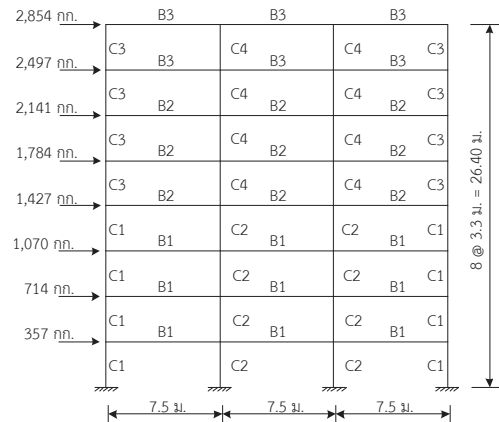
สำหรับคุณสมบัติวัสดุและน้ำหนักที่กระทำเลือกใช้ตามงานวิจัยของ Kaveh และคณะ [12] ดังนี้ f'_c เท่ากับ 240 กก./ซม.² f_y เท่ากับ 4,000 กก./ซม.² DL เท่ากับ 2,273 กก./ม. และ LL เท่ากับ 1,091 กก./ม. ส่วนขนาดของเหล็กเสริมในหน้าตัดคาน งานวิจัยนี้เลือกใช้เหล็กขนาด DB20 และ DB16 ที่มีขนาดใกล้เคียงแทน เนื่องจากในประเทศไทยไม่มีเหล็กเสริมขนาด DB22 และ DB19 ที่มีค่า f_y ตามที่กำหนด

2.5.2 ตัวอย่างทดสอบ

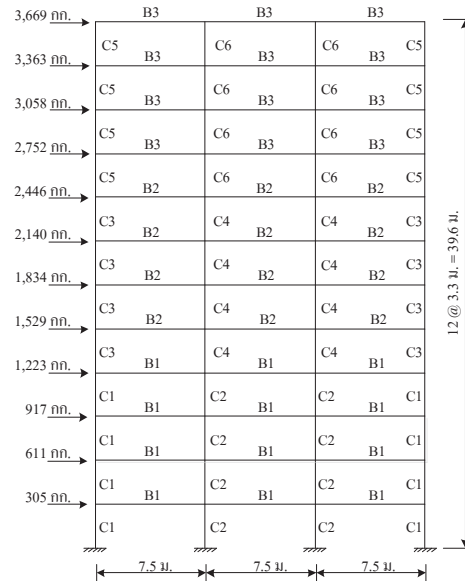
ตัวอย่างทดสอบเป็นโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีขนาดแตกต่างกันจำนวน 2 ตัวอย่าง ซึ่งนำมาจากงานวิจัยของ Kaveh และคณะ [12] ผู้ซึ่งเคยใช้ HPSACO (Heuristic Particle Swarm Optimization) และ HBB-BC (Heuristic Big Bang-big Crunch) ออกแบบมาแล้ว โดยมีรายละเอียดดังนี้

ตัวอย่างที่ 1 เป็นโครงข้อแข็งขนาด 3 ช่วง จำนวน 8 ชั้น ซึ่งประกอบด้วยจำนวนชิ้นส่วนเสาและคานจำนวน 56 ชิ้นส่วน มีความสูงเท่ากับ 26.40 ม. สูงชั้นละ 3.30 ม. ช่วงของเสาห่างกัน 7.50 ม. แบ่งออกเป็นเสา 32 ชิ้นส่วน คานจำนวน 24 ชิ้นส่วน และได้ถูกแบ่งออกเป็นกลุ่มเพื่อใช้ในการออกแบบ ดังนี้ กลุ่มของเสา 4 กลุ่ม คือ C1 ถึง C4 และกลุ่มของคาน 3 กลุ่ม คือ B1 ถึง B3 โดยมีแรงแผ่นดินไหวกระทำด้านข้างและมีแรงกระจายกระทำทุกชั้นดังรูปที่ 4

ตัวอย่างที่ 2 เป็นโครงข้อแข็งขนาด 3 ช่วง จำนวน 12 ชั้น ซึ่งประกอบด้วยจำนวนชิ้นส่วนเสาและคานจำนวน 84 ชิ้นส่วน มีความสูงเท่ากับ 39.6 ม. สูงชั้นละ 3.30 ม. ช่วงของเสาห่างกัน 7.50 ม. แบ่งออกเป็นเสา 48 ชิ้นส่วน คานจำนวน 36 ชิ้นส่วน และได้ถูกแบ่งออกเป็นกลุ่มเพื่อใช้ในการออกแบบ ดังนี้ กลุ่มของเสา 6 กลุ่ม คือ C1 ถึง C6 และกลุ่มของคาน



รูปที่ 4 ตัวอย่างที่ 1 โครงข้อแข็ง 3 ช่วง 8 ชั้น

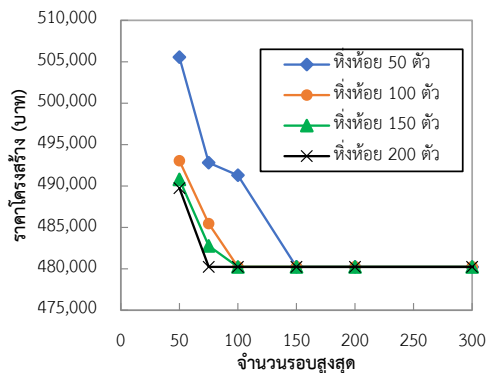


รูปที่ 5 ตัวอย่างที่ 2 โครงข้อแข็ง 3 ช่วง 12 ชั้น

3 กลุ่ม คือ B1 ถึง B3 โดยมีแรงแผ่นดินไหวกระทำด้านข้างและมีแรงกระจายกระทำทุกชั้นดังรูปที่ 5

2.5.3 วิธีการทดสอบ

ในทุกการออกแบบที่เหมาะสมของ FA กำหนดใช้ค่าพารามิเตอร์พื้นฐานซึ่งประกอบด้วย α , β_0 และ γ มีค่าเท่ากับ 0.2, 1 และ 0.4 ตามลำดับ เนื่องจากค่าเหล่านี้ให้ผลคำตอบที่ดีเมื่อทดลองใช้ในการตรวจสอบเบื้องต้น จากนั้นการทดสอบการใช้งาน FA ได้ถูกแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ของราคาโครงสร้างและจำนวนรอบ

1) การทดสอบเพื่อหาจำนวน Itr_{max} ที่เหมาะสมต่อการใช้งาน โดยในการทดสอบนี้จะใช้ตัวอย่างที่ 1 กำหนดค่า Pn_{max} เท่ากับ 50 ถึง 200 และ Itr_{max} ตั้งแต่ 50 ถึง 300 จากนั้นเลือกค่า Itr_{max} ที่เหมาะสมมาใช้งานต่อไป

2) การทดสอบทางสถิติเพื่อหา Pn_{max} ที่เหมาะสมต่อการใช้งานซึ่งใช้ตัวอย่างที่ 1 เช่นเดียวกัน เมื่อกำหนด Itr_{max} ตามข้อที่ 1) โดยศึกษาที่จำนวน 50 ถึง 150 และออกแบบซ้ำค่าพารามิเตอร์ละ 10 ครั้ง

3) การนำค่า Itr_{max} และ Pn_{max} ออกแบบกับตัวอย่างอื่นเพื่อหาคำตอบที่เหมาะสมและเปรียบเทียบผลการออกแบบกับงานวิจัยที่ผ่านมา

3. ผลการทดลอง

3.1 ผลการหาจำนวนรอบสูงสุดที่เหมาะสม

ผลการหาจำนวนรอบสูงสุด หรือ Itr_{max} ที่เหมาะสมแสดงในรูปที่ 6 พบว่า เมื่อค่า Pn_{max} เท่ากับ 50 พบคำตอบที่เหมาะสมเมื่อ Itr_{max} เท่ากับ 150 เมื่อค่า Pn_{max} เท่ากับ 100 ถึง 150 พบคำตอบที่เหมาะสมเมื่อ Itr_{max} เท่ากับ 100 และเมื่อค่า Pn_{max} เท่ากับ 200 พบคำตอบที่เหมาะสมเมื่อ Itr_{max} เท่ากับ 75 ตามลำดับ นั่นคือ หากเลือกใช้ Itr_{max} เท่ากับ 150 จะทำให้ค้นพบคำตอบที่เหมาะสมเท่ากันในทุกค่าของ Pn_{max} แต่การเลือกใช้จะต้องมีการเผื่อค่าเล็กน้อยเพื่อเพิ่มโอกาสการค้นพบคำตอบที่เหมาะสมให้สูงขึ้น ดังนั้นงานวิจัยจึงเลือกใช้ค่า Itr_{max} เท่ากับ 200 ในการทดสอบทางสถิติส่วนที่ 2

3.2 ผลการทดสอบการเลือกใช้ Pn_{max} ที่เหมาะสม

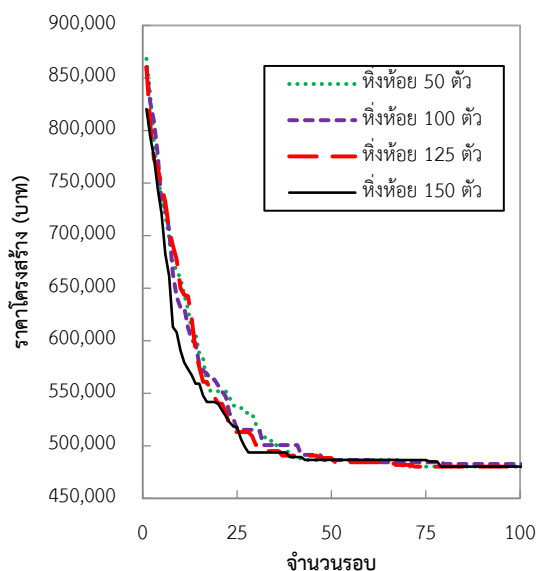
ผลการทดสอบทางสถิติของการเลือก Pn_{max} เมื่อกำหนดใช้ Itr_{max} เท่ากับ 200 แสดงในตารางที่ 1 พบว่า FA พบคำตอบที่เหมาะสมเมื่อกำหนด Pn_{max} ตั้งแต่ 75 โดยมีราคาเท่ากับ 480,233 บาท นอกจากนี้ ค่าสูงสุด ค่าเฉลี่ย ค่ามัธยฐาน ค่าฐานนิยมและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีแนวโน้มที่ดีขึ้นเมื่อ Pn_{max} มีค่าเพิ่มขึ้น มากกว่านั้น การเลือกใช้ Pn_{max} ตั้งแต่ 100 ขึ้นไปได้รับคำตอบที่เหมาะสมทุกครั้ง ที่ออกแบบจนทำให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 0 ดังนั้น ค่า Pn_{max} ที่เหมาะสมต่อการใช้งานคือ 100 แต่เพื่อเป็นการลดความผิดพลาดในการค้นพบคำตอบที่เหมาะสมงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ Pn_{max} เท่ากับ 125 สำหรับการออกแบบกับตัวอย่างอื่น

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบทางสถิติของตัวอย่างที่ 1

Pn_{max}	50	75	100	125	150
เวลาเฉลี่ย (วินาที)	2.9	23.6	30.9	37.3	43.8
ค่าต่ำสุด (บาท)	486,675	480,233	480,233	480,233	480,233
ค่าสูงสุด (บาท)	502,203	485,076	480,233	480,233	480,233
ค่าเฉลี่ย (บาท)	493,854	480,718	480,233	480,233	480,233
ค่ามัธยฐาน (บาท)	493,552	480,233	480,233	480,233	480,233
ค่าฐานนิยม (บาท)	-	480,233	480,233	480,233	480,233
Stdev* (บาท)	5,250.2	1,531.3	0	0	0

หมายเหตุ: Stdev* คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ลักษณะการเข้าสู่คำตอบที่เหมาะสมในรูปที่ 7 แสดงให้เห็นว่า ในทุกค่าของจำนวนหึ่งห้อย หรือ Pn_{max} มีความเร็วในการเข้าสู่เป็นอย่างมากเมื่อ Itr_{max} ไม่เกิน 50 และเข้าสู่จนบรรจบกันในรอบที่ 100 ซึ่งหากสังเกตแต่ละ Pn_{max}



รูปที่ 7 การลู่เข้าสู่ค่าตอบที่เหมาะสม

จะพบว่า ค่า Pn_{max} เท่ากับ 150 มีการลู่เข้าเร็วที่สุด ต่อมาคือ 125, 100 และ 50 ตามลำดับ ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า Pn_{max} แปรผันตรงกับความเร็วกการลู่เข้าสู่ค่าตอบที่เหมาะสมซึ่งมีความสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา [13]

3.3 ผลการออกแบบที่เหมาะสม

ผลการออกแบบที่เหมาะสมของตัวอย่างที่ 1 แสดงในตารางที่ 2 พบว่า FA ออกแบบหน้าตัดเสาที่เล็กกว่า และใช้เหล็กเสริมน้อยกว่าในทุกกลุ่มออกแบบโดยมีราคารวมเท่ากับ 480,233 บาท ซึ่งมีความประหยัดมากกว่า งานวิจัยที่ใช้เปรียบเทียบร้อยละ 4.7 และใช้เวลาออกแบบเฉลี่ย 37.3 วินาที ทำให้ FA ใช้เวลาในการออกแบบน้อยกว่างานวิจัยที่ผ่านมา

สำหรับผลการออกแบบที่เหมาะสมของตัวอย่างที่ 2 แสดงในตารางที่ 3 พบว่า FA ออกแบบโครงสร้างมีราคาเท่ากับ 782,660 บาท ซึ่งมีความประหยัดกว่างานวิจัยที่ผ่านมาร้อยละ 9.5 โดยที่ใช้ค่า Itr_{max} และ Pn_{max} เท่ากับตัวอย่างที่ 1 จึงกล่าวได้ว่า ค่า Itr_{max} และ Pn_{max} เท่ากับ 200 และ 125 ยังคงมีความเหมาะสมต่อการใช้งานถึงแม้ว่าอาคารจะมีขนาดใหญ่ขึ้นก็ตาม

ตารางที่ 2 ผลการออกแบบที่เหมาะสมของตัวอย่างที่ 1

วิธีการ	Firefly Algorithm			Kaveh และคณะ [12]		
กลุ่ม ออกแบบ	ขนาด	เหล็กเสริม		ขนาด	เหล็กเสริม	
	หน้าตัด	บน	ล่าง	หน้าตัด	บน	ล่าง
B1	30 × 55	5-DB20	4-DB16	30 × 50	6-D22	3-D19
B2	30 × 55	5-DB20	4-DB16	30 × 50	6-D22	3-D19
B3	30 × 55	5-DB20	4-DB16	30 × 50	5-D22	3-D19
C1	35 × 35	6-DB25		40 × 40	8-D25	
C2	50 × 50	6-DB25		50 × 50	8-D25	
C3	35 × 35	6-DB25		35 × 35	8-D25	
C4	35 × 35	4-DB25		35 × 35	8-D25	
เวลา	เฉลี่ย 37.3 วินาที			เฉลี่ย 11.23 นาที		
ราคา	480,233 บาท			503,915 บาท		
	ต่างกันร้อยละ 4.7					

ตารางที่ 3 ผลการออกแบบที่เหมาะสมของตัวอย่างที่ 2

วิธีการ	Firefly Algorithm			Kaveh และคณะ [12]		
กลุ่ม ออกแบบ	ขนาด	เหล็กเสริม		ขนาด	เหล็กเสริม	
	หน้าตัด	บน	ล่าง	หน้าตัด	บน	ล่าง
B1	30 × 65	5-DB20	3-DB16	35 × 55	7-D22	3-D19
B2	30 × 65	5-DB20	3-DB16	35 × 55	6-D22	3-D19
B3	30 × 55	5-DB20	4-DB16	35 × 55	5-D22	3-D19
C1	40 × 40	6-DB25		50 × 50	8-D25	
C2	60 × 60	8-DB25		65 × 65	10-D25	
C3	35 × 35	6-DB25		45 × 45	8-D25	
C4	50 × 50	6-DB25		50 × 50	10-D25	
C5	35 × 35	6-DB25		35 × 35	6-D25	
C6	35 × 35	4-DB25		40 × 40	4-D25	
เวลา	เฉลี่ย 47 วินาที			เฉลี่ย 55 นาที		
ราคา	782,660 บาท			864,677 บาท		
	ต่างกันร้อยละ 9.5					

เวลาในการออกแบบของตัวอย่างที่ 1 และ 2 มีค่าน้อยกว่างานวิจัยที่ผ่านมาเป็นอย่างมากเนื่องจาก โปรแกรมที่ใช้เขียน ภาษาที่ใช้งาน และประสิทธิภาพของเครื่องคำนวณมีความแตกต่างกัน ดังนั้นเวลาที่แตกต่างกันจึงไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้

4. สรุป

งานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบที่เหมาะสมของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กโดยใช้วิธีค้นหาแบบหึ่งห้อย โดยกำหนดใช้ราคาเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ และทำการปรับค่าพารามิเตอร์จำนวนรอบการทำงานสูงสุด และจำนวนหึ่งห้อยสูงสุดก่อนการใช้งาน จากนั้นเลือกใช้ค่าที่เหมาะสมทดลองออกแบบกับตัวอย่างโครงข้อแข็ง ซึ่งผลการทดลองพบว่า วิธีค้นหาแบบหึ่งห้อยสามารถประยุกต์ใช้สำหรับการออกแบบที่เหมาะสมของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กได้ โดยที่การกำหนดค่าจำนวนรอบการทำงานสูงสุด และจำนวนหึ่งห้อยสูงสุดเท่ากับ 200 และ 125 มีความเหมาะสมต่อการใช้งาน เนื่องจากมีค่าผลการวิเคราะห์ทางสถิติพื้นฐานอยู่ในระดับที่ดี นอกจากนี้ ผลการออกแบบยังมีขนาดหน้าตัด และปริมาณเหล็กเสริมที่น้อยกว่างานวิจัยที่ผ่านมา แต่อย่างไรก็ตามผลการออกแบบที่เหมาะสมอาจมีการเปลี่ยนแปลงได้ตามมาตรฐานการออกแบบที่ใช้

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตขอนแก่น ที่ได้ให้การสนับสนุนทุนการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] J. Senthilnath, S. N. Omkar, and V. Mani, "Clustering using firefly algorithm: Performance study," *Swarm and Evolutionary Computation*, vol. 1, no. 3, pp. 164–171, 2011.
- [2] X. S. Yang, "Firefly algorithms for multimodal optimization," *Lecture Notes in Computer Sciences*, vol. 5792, no. 1, pp. 169–178, 2010.
- [3] J. Senthilnath, S. N. Omkar, and V. Mani, "Clustering using firefly algorithm: Performance study," *Swarm and Evolutionary Computation*, vol. 1, no. 3, pp. 164–171, 2011.
- [4] M. H. Horng, "Vector quantization using the firefly algorithm for image compression," *Expert Systems with Applications*, vol. 39, no. 1, pp. 1078–1091, 2012.
- [5] L. F. Miguel, R. H. Lopez, and L. F. Miguel, "Multimodal size, shape, and topology optimisation of truss structures using the firefly algorithm," *Advances in Engineering Software*, vol. 56, no. 1, pp. 23–37, 2013.
- [6] P. Balachennaiah, M. Suryakalavathi, and P. Nagendra, "Optimizing real power loss and voltage stability limit of a large transmission network using firefly algorithm," *Engineering Science and Technology, an International Journal*, vol. 19, no. 2, pp. 800–810, 2016.
- [7] H. Ghorbani, J. Moghadasi, and D. A. Wood, "Prediction of gas flow rates from gas condensate reservoirs through wellhead chokes using a firefly optimization algorithm," *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, vol. 45, no. 1, pp. 256–271, 2017.
- [8] B. K. Patle, A. Pandey, A. Jagadeesh, and D. R. Parhi, "Path planning in uncertain environment by using firefly algorithm," *Defence Technology*, vol. 14, no. 6, pp. 691–701, 2018.
- [9] L. Jain and R. Katarya, "Discover opinion leader in online social network using firefly algorithm," *Expert Systems with Applications*, vol. 122, no. 15, pp. 1–15, 2019.
- [10] American Concrete Institute (ACI), "Building code requirements for structural concrete and commentary," in *Structural Building Code*, American Concrete Institute, 1st ed. Farmington Hills, MI, USA, 2014.
- [11] Basic education commission. *Accounting of construction and labor costs in fiscal year 2019*, 1st ed. Bangkok, 2019 (in Thai).



- [12] A. Kaveh and O. Sabzi, "A comparative study of two meta-heuristic algorithms for optimum design of reinforced concrete frames," *International Journal of Civil Engineering*, vol. 9, no. 3, pp. 193–206, 2011.
- [13] A. Tapao and R. Cheerarot, "Optimum design of reinforced concrete foundations by fruit fly optimization algorithm," *The Journal of KMUTNB*, vol. 31, no. 1, pp. 16–24, 2021 (in Thai).