



## การออกแบบที่เหมาะสมของฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีค้นหาแบบแมลงหิว

อัศนัย ทาเถา\*

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตขอนแก่น

เรืองรุชต์ ชีระโรจน์

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

\* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 08 8795 7260 อีเมล: assanai.tapao@gmail.com DOI: 10.14416/j.kmutnb.2020.06.002

รับเมื่อ 30 ตุลาคม 2562 แก้ไขเมื่อ 13 มีนาคม 2563 ตอบรับเมื่อ 23 มีนาคม 2563 เผยแพร่ออนไลน์ 2 มิถุนายน 2563

© 2021 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้วิธีค้นหาแบบแมลงหิวสำหรับการออกแบบที่เหมาะสมของฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยมีวัตถุประสงค์ของงานวิจัยคือ การออกแบบฐานรากที่ประหยัดที่สุดตามมาตรฐานการออกแบบของ ว.ส.ท.1008-38 วิธีกำลัง ขั้นตอนการออกแบบที่เหมาะสมถูกสร้างขึ้นโดยใช้ภาษาวิซวลเบสิก ส่วนประสิทธิภาพการทำงานของวิธีค้นหาแบบแมลงหิวจะถูกทดสอบจากตัวอย่างของฐานรากจำนวน 3 ตัวอย่าง ซึ่งรับน้ำหนักกระทำแตกต่างกัน จากผลการศึกษาพบว่า วิธีค้นหาแบบแมลงหิวสามารถใช้สำหรับออกแบบที่เหมาะสมของฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็กได้ นอกจากนี้การใช้จำนวนรอบเท่ากับ 300 รอบ และจำนวนแมลงหิวเท่ากับ 200 ตัว ได้รับผลการทดสอบทางสถิติที่ดีที่สุด ยิ่งกว่านั้นผลการออกแบบที่เหมาะสมมีความประหยัดมากกว่าวิธีทั่วไปเฉลี่ยร้อยละ 23

**คำสำคัญ:** การออกแบบที่เหมาะสม ฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก วิธีค้นหาแบบแมลงหิว



## Optimum Design of Reinforced Concrete Foundations by Fruit Fly Optimization 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](mailto:assanai.tapao@gmail.com) DOI: 10.14416/j.kmutnb.2020.06.002

Received 30 October 2019; Revised 13 March 2020; Accepted 23 March 2020; Published online: 2 June 2020

© 2021 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

### Abstract

This research presents the application of fruit fly optimization algorithm for optimum design of reinforced concrete foundations. The objective of this research is the most economical reinforced concrete foundations design according to engineering institute of Thailand standard strength design method (EIT1008-38). The optimum design procedure is created by Visual basic language. The performance of fruit fly optimization algorithm is examined by three reinforced concrete foundation design examples different load carrying conditions. From the results, it showed that the fruit fly optimization algorithm can be used for optimum design of reinforced concrete foundations. In addition, the number of iteration is 300 and the fruit fly number is 200 individuals, which gave the best statistical results. Moreover, the optimum solutions are more economical than the traditional method by the average of 23%.

**Keywords:** Optimum Design, Reinforced Concrete Foundations, Fruit Fly Optimization Algorithm

## 1. บทนำ

วิธีค้นหาแบบแมลงหวี่ (Fruit Fly Optimization Algorithm; FOA) ซึ่งถูกนำเสนอครั้งแรกโดย Pan ใน ค.ศ. 2012 [1] เป็นวิธีแก้ปัญหาที่เหมาะสมที่มีแนวคิดจากพฤติกรรมการออกหาอาหารของแมลงหวี่ ต่อมาใน ค.ศ. 2013 Wang และคณะ [2] ได้ประยุกต์ใช้ FOA ในการแก้ปัญหาการกระสอบแบบหลายมิติ (Multidimensional Knapsack Problem; MKP) ซึ่งผลการทดลองพบว่า FOA สามารถแก้ปัญหา MKP ที่เป็นปัญหาขนาดใหญ่ (Large Scale Problem) ได้ดีกว่าวิธีการที่เปรียบเทียบ และใน ค.ศ. 2014 Pan และคณะ [3] ได้ปรับปรุง FOA ให้ดีขึ้นเพื่อใช้แก้ปัญหาการปรับฟังก์ชันอย่างต่อเนื่อง ซึ่งผลการทดลองพบว่า FOA สามารถปรับฟังก์ชันแบบต่อเนื่องได้ดีกว่าวิธีค้นหาแบบความไพเราะของเสียง (Harmony Search Algorithm; HS) ใน ค.ศ. 2015 Mitic และคณะ [4] ได้นำเสนอระบบโกลาหล (Chaotic) สำหรับเพิ่มประสิทธิภาพการค้นหาให้ FOA ซึ่งผลการทดลองพบว่า การใช้แบบแผน Chebyshev ทำให้ FOA มีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบแผนอื่นของระบบความวุ่นวาย ต่อมาใน ค.ศ. 2016 Zhang และคณะ [5] เพิ่มประสิทธิภาพ FOA ด้วย Multi-Scale Cooperative Mutation จนกลายเป็น MSFOA ซึ่งผลการทดลองพบว่า MSFOA มีประสิทธิภาพที่ดีกว่า FOA แบบปรับปรุงอื่น และใน ค.ศ. 2017 Kanarachos และคณะ [6] นำเสนอประสิทธิภาพของ Contrast-based FOA (CFOA) สำหรับออกแบบโครงข้อหมุนที่เหมาะสม ซึ่งผลการใช้งานพบว่า CFOA ใช้พารามิเตอร์ที่น้อยกว่าและได้ผลการออกแบบที่เหมาะสมกว่างานวิจัยที่ผ่านมา ต่อมาใน ค.ศ. 2018 Wu และคณะ [7] ได้ปรับปรุง FOA ให้ดีขึ้นโดยเพิ่มเทคนิคการไขว้สายพันธุ์และการกลายพันธุ์ (IAFOA) ซึ่งผลการทดลองพบว่า IAFOA สร้างคำตอบที่เหมาะสมกว่าวิธีการอื่นที่เปรียบเทียบอีก 10 วิธีการ และล่าสุดใน ค.ศ. 2019 Tian และ Li [8] ประยุกต์ใช้และปรับปรุง FOA สำหรับออกแบบระบบแอโรไดนามิกที่เหมาะสม (Aerodynamic Shape Design) ซึ่งผลการทดลองพบว่า FOA ที่ถูกปรับปรุงสามารถได้รับคำตอบที่เหมาะสมกว่า FOA ทั่วไป

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า FOA เป็นวิธีการแก้ปัญหาที่เหมาะสมได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงนำเสนอการประยุกต์ใช้ FOA สำหรับออกแบบฐานรากที่เหมาะสมเพื่อแก้ไขปัญหาการลองผิดลองถูกของผู้ออกแบบและช่วยลดเวลาการออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยที่ผลการออกแบบเป็นไปตามมาตรฐาน สามารถรับน้ำหนักได้อย่างปลอดภัยและมีความประหยัดที่สุด

## 2. มาตรฐานการออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก

มาตรฐานการออกแบบของ ว.ส.ท.1008-38 วิธีกำลัง [9] ได้กำหนดมาตรฐานสำหรับการออกแบบฐานรากเพื่อรับแรงตามแนวแกนและโมเมนต์ดัดที่เกิดจากการถ่ายน้ำหนักของตัวอาคารไว้ดังนี้

1) กำลังรับแรงตามแนวแกนและโมเมนต์ดัดของฐานรากที่คูณค่าลดกำลัง ( $\phi P_n$  และ  $\phi M_n$ ) ต้องมีค่ามากกว่าแรงตามแนวแกนและโมเมนต์ดัดประลัยที่กระทำ ( $P_u$  และ  $M_u$ ) ซึ่งคำนวณได้จาก 1.4 เท่าของน้ำหนักบรรทุกคงที่ และ 1.7 เท่าของน้ำหนักจร โดยที่ในงานวิจัยนี้ไม่มีการพิจารณาแรงลมและแรงแผ่นดินไหว

2) ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กชั้นต่ำกำหนดใช้เท่ากับ 7.5 ซม.

3) ค่าความลึกของฐานรากเหนือเหล็กเสริมต้องมีค่าอย่างน้อยที่สุด 15 ซม. สำหรับฐานรากตื้น และอย่างน้อย 30 ซม. สำหรับฐานรากลึก

4) ปริมาณเหล็กเสริมในฐานราก ( $A_s$ ) จะต้องมีค่ามากกว่าปริมาณเหล็กเสริมขั้นต่ำดังสมการที่ (1) แต่ต้องไม่เกินปริมาณเหล็กเสริมสูงสุดที่ยอมให้ตามสมการที่ (2)

$$A_{s,min} = \frac{14}{f_y} bd \quad (1)$$

$$A_{s,max} = 0.75 \left( \frac{0.85 \beta_1 f'_c \times 6120}{f_y (6120 + f_y)} \right) bd \quad (2)$$

เมื่อ  $A_{s,min}$  คือ ปริมาณเหล็กเสริมขั้นต่ำ (ซม.<sup>2</sup>)  $f_y$  คือ กำลังรับแรงดึงที่จุดครากของเหล็กเสริม (กก./ซม.<sup>2</sup>)  $b$  คือ ด้านแคบของฐานราก (ซม.)  $d$  คือ ค่าความลึกประสิทธิภาพ (ซม.)  $A_{s,max}$  คือ ปริมาณเหล็กเสริมสูงสุดที่ยอมให้ (ซม.<sup>2</sup>)  $f'_c$  คือ

กำลังอัดของคอนกรีต ( $\text{กก./ซม.}^2$ )  $\beta_1$  คือ ค่าตัวคูณประกอบตามมาตรฐานการออกแบบซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3) โดยจะต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 0.65

$$\beta_1 = 0.85 - 0.05 \left( \frac{f'_c - 280}{70} \right) \geq 0.65 \quad (3)$$

5) ระยะเวลาเรียงของเหล็กเสริมต้องมีค่ามากกว่า 5 ซม. แต่ต้องมีระยะเรียงไม่เกิน 30 ซม.

6) ค่าแรงเฉือนทะลุที่เกิดขึ้นในฐานราก ( $v_p$ ) จะต้องมีย่าน้อยกว่าแรงเฉือนทะลุที่ยอมให้ ( $\phi v_{p,allow}$ ) ตามสมการที่ (4)

$$v_p \leq \phi v_{p,allow} = \phi 1.06 \sqrt{f'_c} \quad (4)$$

7) กำลังรับแรงเฉือนแบบคาน ( $v_b$ ) จะต้องมีย่าน้อยกว่าแรงเฉือนแบบคานที่ยอมให้ ( $\phi v_{b,allow}$ ) ตามสมการที่ (5)

$$v_b \leq \phi v_{b,allow} = \phi 0.53 \sqrt{f'_c} \quad (5)$$

8) ระยะห่างของเสาเข็มในฐานรากสำหรับฐานรากลึกจะต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 3 เท่าของขนาดเสาเข็มที่ถูกล็อกใช้

9) ตัวคูณลดกำลัง  $\phi$  สำหรับโมเมนต์ดัดกำหนดใช้เท่ากับ 0.9 ส่วนกำลังรับแรงเฉือนและแรงเฉือนแบบคาน เท่ากับ 0.85

### 3. วิธีค้นหาแบบแมลงหิว

แมลงหิวมีความสามารถในการตรวจจับ และการรับรู้ถึงการมีอยู่ของแหล่งอาหารด้วยการตรวจจับจากปริมาณฟอสฟอรัสในอากาศ โดยอวัยวะการรับรู้ของแมลงหิวสามารถตรวจจับกลิ่นที่ลอยอยู่ในอากาศที่อยู่ในรัศมีได้ถึง 40 กิโลเมตร [1] เมื่อแมลงหิวเข้าใกล้แหล่งอาหารแล้ว มันจะใช้รูปแบบการตรวจจับตำแหน่งอาหารอย่างละเอียดและบินไปที่ตำแหน่งของอาหารทันที หากมองปัญหาที่เหมาะสมในรูปแบบ 2 มิติ [10], [11] FOA เริ่มต้นจากการกำหนดจุดเริ่มต้นให้กับแมลงหิวแต่ละตัวด้วยการสุ่ม จากนั้นแมลงหิวจะเริ่มบินไปหาอาหารตามความแรงของกลิ่นอาหาร จนกระทั่งไปถึงจุดที่อาหารอยู่ ซึ่งลักษณะการบินของแมลงหิวจะบิน

อย่างพร้อมเพรียงกันและไปในทิศทางเดียวกันทั้งฝูง

สำหรับขั้นตอนการทำงานพื้นฐานของ FOA มีลำดับดังนี้

1) เริ่มต้นด้วยการสุ่มตำแหน่งของฝูงแมลงหิวลงในปริภูมิค้นหาแบบวงกว้าง ซึ่งหากพิจารณามุมมองในรูปแบบ 2 มิติ ตำแหน่งของแมลงหิวแต่ละตัวจะถูกกำหนดเป็นตำแหน่งเริ่มต้นตามแกน  $X$  และ  $Y$  ( $InitX\_axis$ ;  $InitY\_axis$ )

2) แมลงหิวแต่ละตัวสุ่มทิศทางการบินจากตำแหน่งเดิมโดยใช้สมการที่ (6) และคำนวณระยะทาง ( $Dist_i$ ) ตามสมการที่ (7) จากนั้นระยะทางจะถูกนำมาประเมินค่าความเข้มข้นของกลิ่นอาหาร ( $S_i$ ) โดยใช้สมการที่ (8)

$$\begin{aligned} x_i &= InitX\_axis + RandomValue, \\ y_i &= InitY\_axis + RandomValue \end{aligned} \quad (6)$$

$$Dist_i = \sqrt{x_i^2 + y_i^2} \quad (7)$$

$$S_i = \frac{1}{Dist_i} \quad (8)$$

เมื่อ  $x_i$  คือ ตำแหน่งใหม่ตามแนวแกน  $X$  ( $X$ -Axis)  $y_i$  คือ ตำแหน่งใหม่ตามแนวแกน  $Y$  ( $Y$ -Axis) และ  $RandomValue$  คือ ค่าสุ่มที่อยู่ระหว่าง  $-1$  ถึง  $1$

3) นำค่า  $S_i$  คำนวณเป็นฟังก์ชันสำหรับตัดสินใจความเข้มข้นหรือที่เรียกว่าฟิตเนสฟังก์ชัน (Fitness Function) เพื่อประเมินความเข้มข้นของกลิ่น ( $Smell_i$ ) ของแมลงหิวแต่ละตัวตามสมการที่ (9)

$$Smell_i = Function(S_i) \quad (9)$$

4) ค้นหาและเก็บค่าความเข้มข้นของกลิ่นและพิกัด  $x, y$  ของแมลงหิวที่ดีที่สุด จากนั้นบันทึกข้อมูลแมลงหิวที่มีกลิ่นดีที่สุดโดยใช้สมการที่ (10) และ (11) เพื่อให้ฝูงแมลงหิวใช้การบินไปยังตำแหน่งนั้นต่อไป

$$BestSmell = Max(Smell_i) \quad (10)$$

$$\begin{aligned} InitX\_axis &= x_i(BestSmell), \\ InitY\_axis &= y_i(BestSmell) \end{aligned} \quad (11)$$

5) ทำซ้ำกระบวนการที่ 2) ถึง 4) จนกว่าจะไม่สามารถหา *Smell*<sub>i</sub> ที่ดีกว่าได้หรือทำงานครบตามเงื่อนไขการทำงานที่กำหนด

#### 4. ขั้นตอนการเขียนโปรแกรม

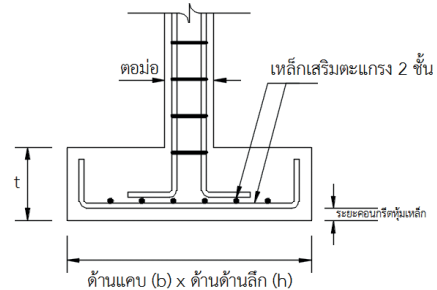
โปรแกรมออกแบบฐานรากที่เหมาะสมโดยใช้ FOA ในงานวิจัยนี้ถูกเขียนขึ้นโดยใช้ภาษาวิชวลเบสิก (Visual Basic) ภายใต้เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ Intel core i7-4500U ความเร็ว 1.80 กิกะเฮิรตซ์ หน่วยความจำแรม 8 กิกะไบต์ ระบบปฏิบัติการวินโดวส์ 7 แบบ 64 บิต โดยมีรายละเอียดการเขียนดังนี้

##### 4.1 ขอบเขตการทำงานของโปรแกรม

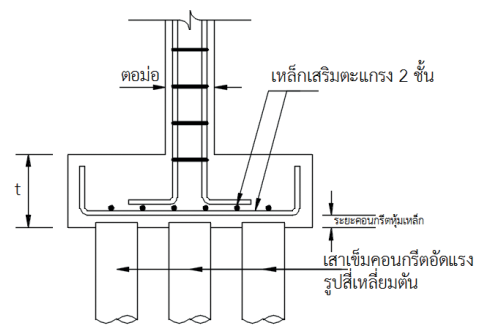
ขอบเขตการทำงานของโปรแกรมประกอบด้วยคุณสมบัติวัสดุ  $f'_c$  ที่เลือกได้เท่ากับ 140, 180, 210, 240, 280, 300, 320 และ 350 กก./ซม.<sup>2</sup>  $f_y$  ที่เลือกได้เท่ากับ 3,000, 4,000 และ 5,000 กก./ซม.<sup>2</sup> โดยที่ขนาดและรายละเอียดการเสริมเหล็กในฐานรากตื้นและฐานรากลึกแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งฐานรากมีขนาด (b×h) ตั้งแต่ขนาด 50×50 ซม. ถึง 400×400 ซม. โดยปรับเพิ่มครั้งละ 10 ซม. ความหนา (t) ตั้งแต่ 20 ซม. ถึง 200 ซม. โดยปรับเพิ่มครั้งละ 5 ซม. เหล็กเสริมคอนกรีตมีตั้งแต่ DB12, DB16, DB20, DB25, DB28, DB32, DB36 และ DB40 การเสริมเหล็กมี 2 ชั้น คือ การเสริมตามยาวและตามขวางโดยแต่ละชั้นมีจำนวนการเสริมเหล็กชั้นละ 5 ถึง 20 เส้น โดยปรับเพิ่มครั้งละ 1 เส้น เสาค้ำเสริมเหล็กมีขนาด 0.22×0.22 ม., 0.26×0.26 ม., 0.30×0.30 ม. และ 0.35×0.35 ม. และเพื่อให้มีความง่ายต่อการคำนวณราคางานวิจัยนี้เลือกเสาค้ำที่มีความยาว 21 ม. รับน้ำหนักปลอดภัยได้เท่ากับ 30, 35, 45 และ 50 ตัน โดยจำนวนเสาค้ำที่ออกแบบได้คือ 1 ถึง 9 ตัน

##### 4.2 สมการเป้าหมายและราคา

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยคือการออกแบบฐานรากที่มีความประหยัด ดังนั้น สมการเป้าหมายจึงเป็นสมการผลรวมของราคาค่าก่อสร้างของฐานราก ( $F_{cost}$ ) ซึ่งสมการที่ (12) ถูก



(ก) ฐานรากตื้น



(ข) ฐานรากลึก

#### รูปที่ 1 รายละเอียดการเสริมเหล็กในฐานราก

กำหนดใช้สำหรับฐานรากตื้นและสมการที่ (13) ถูกกำหนดใช้สำหรับฐานรากลึก

$$F_{cost} = \text{Min} \sum M_C C_C + M_S C_S + M_F C_F \quad (12)$$

$$F_{cost} = \text{Min} \sum M_C C_C + M_S C_S + M_F C_F + M_P C_P \quad (13)$$

เมื่อ  $M_C$ ,  $M_S$ ,  $M_F$  และ  $M_P$  คือ ปริมาณของคอนกรีต (ม.<sup>3</sup>) เหล็กเสริม (กก.) แบบหล่อ (ม.<sup>2</sup>) และจำนวนเสาค้ำ (ตัน) ตามลำดับ สำหรับ  $C_C$ ,  $C_S$ ,  $C_F$  และ  $C_P$  คือ ราคาของคอนกรีต (บาท/ม.<sup>3</sup>) เหล็กเสริม (บาท/กก.) แบบหล่อ (บาท/ม.<sup>2</sup>) และเสาค้ำ (บาท/ตัน) ตามลำดับ

ราคาวัสดุและค่าแรงสำหรับใช้คำนวณราคาฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็กแสดงในตารางที่ 1 ประกอบด้วยราคาคอนกรีตผสมเสร็จ ราคาแบบหล่อ เหล็กเสริม และเสาค้ำที่นำมาจากบัญชีค่าแรง/ดำเนินการ สำหรับถอดแบบคำนวณ

ราคากลางงานก่อสร้างฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2561 [12] ซึ่งราคานี้สามารถปรับเปลี่ยนได้ตามความเหมาะสมเพื่อให้สอดคล้องกับท้องถิ่นๆ

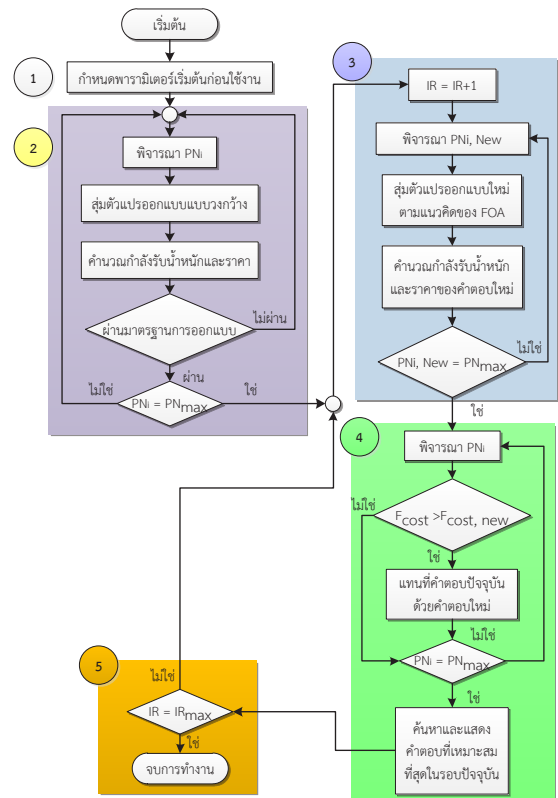
ตารางที่ 1 ราคาวัดและค่าแรงที่ใช้ในงานวิจัย

รายการ	หน่วย	ค่าวัสดุ	ค่าแรง	ราคารวม
กำลังอัดคอนกรีตผสมเสร็จและแบบหล่อ				
140 กก./ชม. <sup>2</sup>	บาท/ม. <sup>3</sup>	2,089.0	485	2,574.0
180 กก./ชม. <sup>2</sup>	บาท/ม. <sup>3</sup>	2,124.2	485	2,609.2
210 กก./ชม. <sup>2</sup>	บาท/ม. <sup>3</sup>	2,158.6	485	2,643.6
240 กก./ชม. <sup>2</sup>	บาท/ม. <sup>3</sup>	2,193.0	485	2,678.0
280 กก./ชม. <sup>2</sup>	บาท/ม. <sup>3</sup>	2,261.8	485	2,746.8
300 กก./ชม. <sup>2</sup>	บาท/ม. <sup>3</sup>	2,304.8	485	2,789.8
320 กก./ชม. <sup>2</sup>	บาท/ม. <sup>3</sup>	2,356.4	485	2,841.4
350 กก./ชม. <sup>2</sup>	บาท/ม. <sup>3</sup>	2,416.6	485	2,901.6
แบบหล่อคอนกรีต	บาท/ม. <sup>2</sup>	493	133	626
เหล็กเสริมคอนกรีต				
ระดับชั้น SD30	บาท/กก.	19	3.3	22.3
ระดับชั้น SD40	บาท/กก.	19.5	3.3	22.8
ระดับชั้น SD50	บาท/กก.	19.9	3.3	23.2
ขนาดเสาเข็มคอนกรีตอัดแรงรูปสี่เหลี่ยมตัน				
0.22x0.22x21 ม.	บาท/ตัน	4,620	1,021	5,641.0
0.26x0.26x21 ม.	บาท/ตัน	6,090	1,450	7,540.0
0.30x0.30x21 ม.	บาท/ตัน	8,190	1,925	10,115.0
0.35x0.35x21 ม.	บาท/ตัน	11,025	2,550	13,575.0

### 4.3 ขั้นตอนการออกแบบที่เหมาะสม

ลำดับขั้นตอนการออกแบบที่เหมาะสมโดย FOA แสดงในรูปที่ 2 มีขั้นตอนที่สำคัญ 5 ขั้นตอน โดยที่แต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังนี้

1) เริ่มต้นที่การกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่จำเป็นซึ่งประกอบด้วย น้ำหนักที่กระทำ ( $P$  และ  $P_u$ ) ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็ก ขนาดตอม่อ ถ้าหากออกแบบเป็นฐานรากตื้นจะต้องกำหนดกำลังรับน้ำหนักของดิน ( $Q_u$ ) ส่วนฐานรากลึกไม่จำเป็นต้องกำหนด และพารามิเตอร์ของ FOA ซึ่งประกอบด้วยจำนวนแมลงหวี่สูงสุด ( $PN_{max}$ ) และจำนวนรอบการทำงานสูงสุด ( $IR_{max}$ )



รูปที่ 2 ลำดับการออกแบบที่เหมาะสมของ FOA

2) การสร้างคำตอบเริ่มต้นในรอบที่ 1 ( $IR = 1$ ) เป็นขั้นตอนการกำหนดกลุ่มคำตอบเริ่มต้นด้วยการสูมตัวแปรออกแบบอย่างวงกว้างตามสมการที่ (6) ให้กับแต่ละคำตอบ ( $PN_i$ ) (คำตอบ 1 คำตอบ คือ แมลงหวี่ 1 ตัว) โดยทุกคำตอบจะถูกคำนวณกำลังรับน้ำหนัก และราคาจากสมการเป้าหมาย

3) เริ่มพิจารณาสร้างคำตอบใหม่ ทุกคำตอบในรอบที่ผ่านมามีการเปลี่ยนแปลงตัวแปรออกแบบด้วยการสูมโดยใช้สมการที่ (7) จากนั้นคำตอบใหม่จะถูกคำนวณกำลังรับน้ำหนัก และราคาจากสมการเป้าหมาย

4) การแทนที่ เป็นขั้นตอนการเปรียบเทียบราคาของคำตอบใหม่ ( $F_{cost,new}$ ) กับราคาของคำตอบในรอบปัจจุบัน ( $F_{cost}$ ) ที่ละคำตอบโดยการจับคู่ ซึ่งถ้าหากคำตอบใหม่มีความประหยัดมากกว่าคำตอบปัจจุบัน สามารถรับน้ำหนักได้อย่างปลอดภัย และผ่านมาตรฐานการออกแบบ คำตอบเดิมจะถูกแทนที่ด้วยคำตอบใหม่นั้นที่



5) ตรวจสอบจำนวนรอบการทำงาน หากจำนวนรอบ ณ รอบปัจจุบันเท่ากับจำนวนรอบสูงสุด ( $IR_{max}$ ) ที่กำหนดไว้ โปรแกรมจะหยุดการทำงานทันที แต่ถ้าไม่ใช่ให้กลับไปทำต่อขั้นตอนที่ 3

5. ตัวอย่างและวิธีการทดสอบ

5.1 ตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ

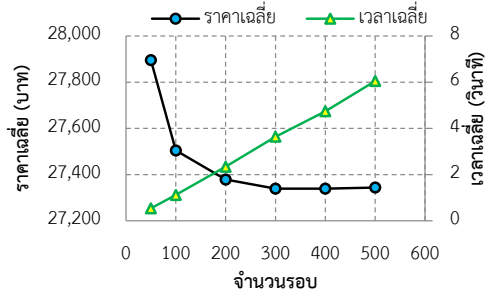
ตัวอย่างทดสอบที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้มีทั้งหมด 3 ตัวอย่าง มีทั้งฐานรากตื้นและฐานรากลึกดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งนำมาจากตัวอย่างการออกแบบที่ได้จากวิธีทั่วไป [13], [14] โดยค่า  $P$  คือ น้ำหนักกระทำที่ยังไม่คูณตัวเพิ่มกำลัง

ตารางที่ 2 ตัวอย่างทดสอบ

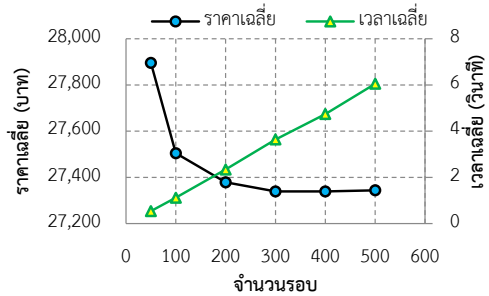
ตัวอย่างที่	1	2	3
ชนิดฐานราก	ฐานรากตื้น	ฐานรากลึก	ฐานรากลึก
ตอม่อ (ซม.)	35×35	40×40	50×50
ระยะหุ้ม (ซม.)	7.5	7.5	7.5
$P$ (กก.)	36,000	75,000	240,000
$P_u$ (กก.)	60,432	112,500	376,440
$qu$ (กก./ม. <sup>2</sup> )	10,000	-	-

5.2 วิธีการทดสอบ

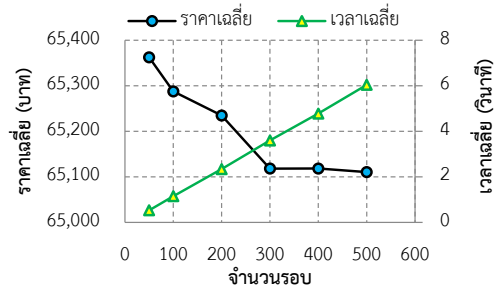
งานวิจัยนี้แบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วน ประกอบด้วย ส่วนที่ 1 คือ การทดสอบทางสถิติพื้นฐานของการเลือกใช้ค่า  $IR_{max}$  เมื่อกำหนด  $PN_{max}$  เท่ากับ 50 ตัว และการทดสอบกระจายตัวแบบ  $t$  (T-distribution) ของการเลือกใช้  $PN_{max}$  โดยทดสอบวัดความแตกต่างของราคาเฉลี่ยระหว่างกลุ่มตัวอย่างกับค่าตอบที่มีราคาต่ำสุดที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 (ค่า  $t$  วิฤตเท่ากับ 2.76) โดยมีสมมติฐานหลัก ( $H_0$ ) คือ ประชากรที่มีราคาต่ำสุดมีค่าเท่ากับราคาเฉลี่ยของกลุ่มประชากร และสมมติฐานรอง ( $H_1$ ) คือ ประชากรที่มีราคาต่ำสุดมีค่าแตกต่างจากราคาเฉลี่ยของกลุ่มประชากร ซึ่งในการทดสอบจะเลือกใช้ตัวอย่างที่ 1 และปรับค่า  $IR_{max}$  ตั้งแต่ 50 ถึง 500 รอบ และค่า  $PN_{max}$  ตั้งแต่ 50 ถึง 300 ตัว โดยแต่ละค่าจะถูกใช้ออกแบบฐานรากค่าละ 10 ครั้ง และส่วนที่ 2 คือ การ



(ก) ตัวอย่างที่ 1 ฐานรากตื้น



(ข) ตัวอย่างที่ 2 ฐานรากลึก



(ค) ตัวอย่างที่ 3 ฐานรากลึก

รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ของราคาเฉลี่ยและจำนวนรอบ

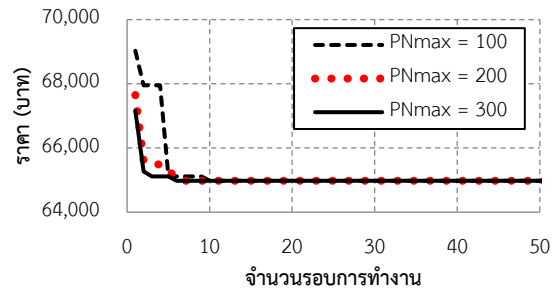
เลือกค่า  $IR_{max}$  และ  $PN_{max}$  ที่มีค่าทางสถิติเหมาะสมที่สุดไปใช้ออกแบบกับตัวอย่างฐานรากอื่นและเปรียบเทียบผลการออกแบบที่เหมาะสม

6. ผลการทดสอบ

6.1 การเลือกจำนวนรอบการทำงาน

จากรูปที่ 3 พบว่า ราคาเฉลี่ยมีอัตราการลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงการกำหนด  $IR_{max}$  เท่ากับ 300 และเมื่อ  $IR_{max}$  มากกว่า

300 พบว่า ราคาเฉลี่ยเริ่มคงที่ทุกตัวอย่างทดสอบที่ตั้งที่แสดงในรูปที่ 3 (ก) ถึง (ค) ดังนั้น การเลือกใช้จำนวนรอบสำหรับการออกแบบกับ 300 รอบ ใช้เวลาเฉลี่ยประมาณ 3.5 วินาที จึงมีความเพียงพอต่อการใช้งาน ซึ่งหากใช้มากกว่านี้อาจจะต้องใช้เวลาในการออกแบบนานขึ้น



## 6.2 การเลือกจำนวนแมลงหิว

ผลการทดสอบทางสถิติแสดงในตารางที่ 3 และการเข้าสู่ค่าตอบที่เหมาะสมของแต่ละ  $PN_{max}$  แสดงในรูปที่ 4 ซึ่งพบว่า ค่าทางสถิติมีแนวโน้มที่ดีขึ้นเมื่อเลือกใช้  $PN_{max}$  เพิ่มมากขึ้น ในขณะที่เวลาเฉลี่ยต่างกันเพียงเล็กน้อย ยิ่งกว่านั้น การเลือกใช้  $PN_{max}$  ตั้งแต่ 150 ขึ้นไป พบว่า ได้รับผลการวิเคราะห์ค่าทางสถิติ  $t$  ที่ยอมรับสมมติฐานหลักที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 อีกด้วย ดังนั้น ค่า  $PN_{max}$  ที่เหมาะสมต่อการนำมาใช้งานคือ 150 แต่เพื่อเป็นการเพิ่มโอกาสต่อการค้นพบคำตอบที่เหมาะสมให้มากขึ้น งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ค่า  $PN_{max}$  เท่ากับ 200 ในการทดสอบกับตัวอย่างอื่น

รูปที่ 4 ลักษณะการเข้าสู่ค่าตอบที่เหมาะสมของ FOA

## 6.3 ผลการออกแบบที่เหมาะสม

ผลการออกแบบที่เหมาะสมของโปรแกรม FOA ทั้ง 3 ตัวอย่าง เมื่อเลือกใช้  $IR_{max}$  เท่ากับ 300 และ  $PN_{max}$  เท่ากับ 200 แสดงในตารางที่ 4 พบว่า FOA เลือกใช้ค่า  $f'_c$  และ  $f_y$  ที่สูงกว่าวิธีทั่วไปทุกตัวอย่าง จึงทำให้ผลการออกแบบฐานรากมีขนาดเล็ก มีปริมาณเหล็กเสริมต่ำกว่าจึงได้ผลการออกแบบซึ่งประหยัดขึ้นมากกว่าวิธีทั่วไป [14], [15] ทุกตัวอย่างร้อยละ 30.7, 7.5 และ 30.9 ตามลำดับ

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบทางสถิติของ FOA

ค่าทางสถิติ	$PN_{max}$					
	50	100	150	200	250	300
เวลาเฉลี่ย (วินาที)	2.53	3.26	3.74	4.08	4.68	4.97
ค่าต่ำสุด	4,565	4,574	4,565	4,565	4,565	4,565
ค่าสูงสุด	5,288	5,288	5,288	5,288	5,288	5,288
ค่าเฉลี่ย	5,001	4,926	4,854	4,780	4,711	4,643
ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	370.87	370.36	373.16	337.64	296.97	226.67
ค่าสถิติ $t$	3.71	3.00	2.45	2.01	1.55	1.08
ผลการวิเคราะห์	ปฏิเสธ $H_0$	ปฏิเสธ $H_0$	ยอมรับ $H_0$	ยอมรับ $H_0$	ยอมรับ $H_0$	ยอมรับ $H_0$

ตารางที่ 4 ผลการออกแบบที่เหมาะสมของ FOA

ตัวแปรออกแบบ	ตัวอย่างที่ 1		ตัวอย่างที่ 2		ตัวอย่างที่ 3	
	วิธีทั่วไป [13]	FOA	วิธีทั่วไป [14]	FOA	วิธีทั่วไป [14]	FOA
$f'_c$ (กก./ซม. <sup>2</sup> )	240	300	250	320	240	300
$f_y$ (กก./ซม. <sup>2</sup> )	3,000	5,000	3,000	5,000	3,000	5,000
b <sub>x</sub> h <sub>x</sub> t (ซม.×ซม.×ซม.)	200×200×30	190×190×25	150×150×50	130×130×45	230×230×80	200×200×65
ชนิดของเหล็กเสริม	7-DB20#	5-DB16#	8-DB20#	7-DB16#	17-DB25#	17-DB16#
$A_s$ (ซม. <sup>2</sup> )	21.99	10.05	25.13	14.07	83.45	34.18
จำนวนและขนาดเสาเข็ม	-	-	4-0.22×21 ม.	4-0.22×21 ม.	5-0.35×21 ม.	9-0.22×21 ม.
ราคารวม (บาท)	6,591	4,565	29,385	27,182	94,066	64,978
ร้อยละความแตกต่าง		30.7		7.5		30.9





## 7. สรุป

ผลการทดสอบการประยุกต์ใช้ FOA สำหรับออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็กที่เหมาะสมพบว่า FOA สามารถใช้สำหรับการออกแบบที่เหมาะสมของฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็กได้ซึ่งผลการออกแบบที่ได้รับคือฐานรากที่มีขนาดเล็กกว่า ปริมาณเหล็กเสริมที่ต่ำกว่า และมีความประหยัดกว่าวิธีทั่วไปโดยเฉลี่ยร้อยละ 23 นอกจากนี้ผลการทดสอบทางสถิติแสดงให้เห็นว่า การเลือกใช้  $IR_{max}$  ตั้งแต่ 300 ขึ้นไป ได้รับราคาเฉลี่ยที่มีความคงที่ และการเลือกใช้  $PN_{max}$  ตั้งแต่ 150 ขึ้นไป ได้รับผลการวิเคราะห์ค่าทางสถิติ  $t$  ที่ยอมรับสมมติฐานหลักที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 อีกด้วย

## 8. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตขอนแก่น ที่ได้ให้การสนับสนุนทุนการวิจัยในครั้งนี้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] W. T. Pan, "A new fruit fly optimization algorithm: Taking the financial distress model as an example," *Knowledge-Based Systems*, vol. 26, no. 1, pp. 69–74, 2012.
- [2] L. Wang, X. L. Zheng, and S. Wang, "A novel binary fruit fly optimization algorithm for solving the multidimensional knapsack problem," *Knowledge-Based Systems*, vol. 48, no. 1, pp. 17–23, 2013.
- [3] Q. Pan, H. Y. Sang, J. H. Duan, and L. Gao, "An improved fruit fly optimization algorithm for continuous function optimization problems," *Knowledge-Based Systems*, vol. 62, no. 1, pp. 69–83, 2014.
- [4] M. Mitić, N. Vuković, M. Petrović, and Z. Miljković, "Chaotic fruit fly optimization algorithm," *Knowledge-Based Systems*, vol. 89, no. 1, pp. 446–458, 2015.
- [5] Y. Zhang, G. Cui, J. Wu, W. T. Pan, and Q. He, "A novel multi-scale cooperative mutation fruit fly optimization algorithm," *Knowledge-Based Systems*, vol. 114, no. 1, pp. 24–35, 2016.
- [6] S. Kanarachos, J. Griffin, and M. E. Fitzpatrick, "Efficient truss optimization using the contrast-based fruit fly optimization algorithm," *Computers and Structures*, vol. 182, no. 1, pp. 137–148, 2017.
- [7] L. Wu, Q. Liu, X. Tian, J. Zhang, and W. Xiao, "A new improved fruit fly optimization algorithm IAFOA and its application to solve engineering optimization problems," *Knowledge-Based Systems*, vol. 144, no. 1, pp. 153–173, 2018.
- [8] X. Tian and J. Li, "A novel improved fruit fly optimization algorithm for aerodynamic shape design optimization," *Knowledge-Based Systems*, vol. 179, no. 1, pp. 77–91, 2019.
- [9] *Standard of reinforced concrete building, strength design method*, E.I.T. Standard 1008-38, 2015 (in Thai).
- [10] X. Yuan, X. Dai, J. Zhao, and Q. He, "On a novel multi-swarm fruit fly optimization algorithm and its application," *Applied Mathematics and Computation*, vol. 233, no. 1, pp. 260–271, 2014.
- [11] X. Lei, Y. Ding, H. Fujita, and A. Zhang, "Identification of dynamic protein complexes based on fruit fly optimization algorithm," *Knowledge-Based Systems*, vol. 105, pp. 270–277, 2016.
- [12] Committee of construction price, "Labor account/operation for estimate and calculate price (revised edition) year 2018," The Comptroller General's Department, Bangkok, Thailand, 2018 (in Thai).
- [13] V. Chovichien, *Reinforced Concrete Design (Strength Design Method : SMD)*, 5th ed., Bangkok: Newthaimit, 2011 (in Thai).
- [14] S. Rukzon, *Reinforced Concrete Structure Design : Strength and Working Design Method*, 6th ed., Nonthaburi: Angle of sci, 2014 (in Thai).