

# การออกแบบที่เหมาะสมที่สุดสำหรับอาคารที่อยู่อาศัยขนาดเล็กด้วยการก่อสร้างแบบพับได้

## The Structural Optimization for Small Residential Buildings Constructed by Foldable Method

พร อมรสิทธิพัฒน์<sup>1</sup> พรณัฐชยา ไผ่อรุณรัตน์<sup>2</sup> สมพงษ์ รุ่งสว่าง<sup>3</sup> และ รศ.ดร.เสวกชัย ตั้งอร่ามวงศ์<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จ.กรุงเทพฯ

### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบอาคารที่อยู่อาศัยขนาดเล็กแบบพับได้ในเขตร้อนชื้น ด้วยหลักการออกแบบชิ้นส่วนทางกล ร่วมกับหลักการออกแบบชิ้นส่วนโครงถักที่ปลอดภัยและเหมาะสมที่สุดโดยระเบียบวิธีการเรียนรู้กลุ่มอนุภาคอย่างครอบคลุม (CLPSO) ผลลัพธ์ของการศึกษานี้ให้แบบบ้านแฝดหลังคาจั่ว ที่สามารถพับเก็บใส่รถบรรทุกขนาดมาตรฐานได้ และมีน้ำหนักในส่วนโครงถักที่เบาที่สุด

คำสำคัญ: อาคารที่อยู่อาศัยขนาดเล็กแบบพับได้ในเขตร้อนชื้น, โครงสร้างอาคารพับได้, การออกแบบชิ้นส่วนโครงถักที่ปลอดภัยและเหมาะสมที่สุด, ระเบียบวิธีการเรียนรู้กลุ่มอนุภาคอย่างครอบคลุม

### Abstract

This article presents the design of small foldable residential buildings in tropical climate by utilizing the machinery principles along with the Comprehensive Learning Particle Swarm Optimization (CLPSO) Algorithm to determine the optimal selection of truss member section. The research resulted in the design of a semi-detached gable house which can be folded and transported by the standard truck with the lightest truss weight.

Keywords: Foldable houses in tropical climate, Foldable Building Structures, Optimal Truss Member Design, Comprehensive Learning Particle Swarm Optimization

## 1. บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

บทความนี้ได้รับแรงบันดาลใจมาจาก โครงการวิจัยนวัตกรรมการสร้างบ้านที่รวดเร็วและมีประสิทธิภาพของการเคหะแห่งชาติ เพื่อแก้ไขปัญหาความเดือดร้อนด้านที่อยู่อาศัยของประชาชน โดยการเคหะแห่งชาติได้ดำเนินการตามหลักแนวคิด 6 GREEN NHA ซึ่งครอบคลุมความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อมและสังคม

คณะผู้วิจัยตระหนักถึงความสำคัญของข้อเสนอดังกล่าว และมีความเชื่อว่าระบบที่กักแผนผังโมดูลแบบพับได้ ร่วมกับหลักการออกแบบชิ้นส่วนโครงถักที่ปลอดภัยและเหมาะสมที่สุดโดยระเบียบวิธีการเรียนรู้กลุ่มอนุภาคอย่างครอบคลุม (CLPSO) จะช่วยตอบโจทย์แนวความคิดของการเคหะได้มากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะในประเด็นของการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในระยะเวลาการก่อสร้าง การลดระยะเวลา และจำนวนแรงงานในการก่อสร้างอาคาร

### 1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการก่อสร้างที่อยู่อาศัยขนาดเล็กแบบพับได้ที่เหมาะสมกับผู้มีรายได้น้อย
2. เพื่อออกแบบที่อยู่อาศัยขนาดเล็กที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและผู้อยู่อาศัย และเหมาะสมกับสภาพอากาศร้อนชื้น
3. เพื่อพัฒนาเทคโนโลยีการก่อสร้างอาคารที่อยู่อาศัยพร้อมอยู่แบบสำเร็จรูป ที่ประหยัดเวลาและแรงงานในการติดตั้ง ทั้งยังสามารถพับเก็บเพื่อขนส่งไปใช้งานในสถานที่ต่างๆ ตามความต้องการของการเคหะแห่งชาติ

### 1.3 ขอบเขตการวิจัย

ขอบเขตในการดำเนินงานของโครงการวิจัยมีดังนี้

1. ออกแบบโครงสร้างพับได้ ที่สามารถขนส่งได้ด้วยรถบรรทุกทั่วไปอย่างถูกต้องตามกฎหมาย โดยอ้างอิงการจัดสรรพื้นที่ใช้สอยตามแบบ

สถาปัตยกรรม โครงการบ้านเช่าสำหรับผู้มีรายได้น้อย แบบ C ของการเคหะแห่งชาติ โดยปรับเปลี่ยนบางส่วนเพื่อสร้างสภาวะน่าสบาย ด้วยการออกแบบแบบ Passive Design ภายใต้สมมติฐานที่ว่า งานเตรียมพื้นที่หน้างาน และก่อสร้างฐานรากเสร็จสิ้นเรียบร้อยแล้วก่อนการติดตั้งที่พักอาศัย

2. น้ำหนักบรรทุกทุกและข้อกำหนดการออกแบบที่พักอาศัยในโครงการวิจัยอ้างอิงมาตรฐานวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย และ/หรือมาตรฐานสากลที่เกี่ยวข้อง

3. ออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้างด้วยระเบียบวิธีการเรียนรู้กลุ่มอนุภาคอย่างครอบคลุม (CLPSO) เพื่อให้ได้รูปแบบหน้าตัดของโครงสร้างที่เบาและปลอดภัยที่สุด โดยพิจารณาผลที่ได้ร่วมกับโปรแกรม SAP2000

4. ออกแบบระบบโครงสร้างพื้น และหลังคาด้วยโปรแกรม SAP2000

5. เสนอวัสดุก่อสร้างเหมาะสมกับโครงสร้างระบบพิกัดแผนผังโมดูลแบบพับได้ ทั้งในเชิงความปลอดภัย และน้ำหนักวัสดุ

6. จัดทำแบบ

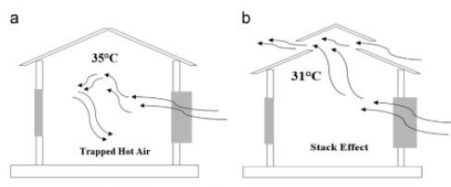
## 2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 สถาปัตยกรรมเขตร้อน

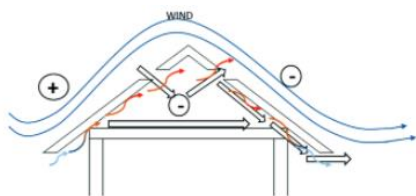
การออกแบบสถาปัตยกรรมเขตร้อน เพื่อสร้างสภาวะน่าสบายแก่ผู้อยู่อาศัย และไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม จะคำนึงถึงพื้นฐานสภาพอากาศร้อนชื้นและลมประจำถิ่นของประเทศไทย

ในด้านการออกแบบโครงสร้าง จะนำไปสู่การพัฒนาหลังคาเพื่อลดอุณหภูมิภายในอาคารซึ่งสามารถทำได้ด้วยการทำหลังคาเอียงด้วยองศาที่ดีที่สุด และการทำหลังคาระบายอากาศ (Q. Roslan et al., 2015) อย่างเช่นการทำหลังคาจั่วจะทำให้อีกหนึ่งฝั่งของหลังคาเกิดร่มเงาเมื่อแดดเปลี่ยนทิศ และหลังคาที่ทำมุมเอียง 30 องศาขึ้นไปควบคู่กับการทำช่องระบายอากาศ จะพัฒนาการไหลเวียนของอากาศใต้หลังคา และลดความแตกต่างของอุณหภูมิภายในและภายนอกอาคารได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การหมุนเวียนของอากาศโดยธรรมชาติสองประเภท อันได้แก่ Stack Ventilation คือการหมุนเวียนอากาศอันเนื่องมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิ ดังรูปที่ 2 และ Driven Ventilation คือการหมุนเวียนของอากาศอันเนื่องมาจากแรงลม



รูปที่ 1 Stack Ventilation



รูปที่ 2 Driven Ventilation

### 2.2 การออกแบบชิ้นส่วนทางกล

#### 2.2.1 กลไกสี่ข้อต่อแบบมีจุดเปลี่ยน

กลไกสี่ข้อต่อ ประกอบด้วยข้อต่อ 4 ชิ้น มาต่อกันโดยข้อต่อเป็นคู่ สัมผัสแบบหมุน โดยกลไกสี่ข้อต่อที่จะนำมาใช้ประโยชน์ต่อไปในงานวิจัยฉบับนี้เป็นกลไกชนิดมีจุดเปลี่ยนตามวิธีการจำแนกของกราชอฟ ดังรูปที่ 3 ซึ่งมีเงื่อนไขดังสมการ (1)

$$s + l = p + q \quad (1)$$

กำหนดให้  $s$  คือ ความยาวของข้อต่อที่สั้นที่สุด,  $l$  คือ ความยาวของข้อต่อที่ยาวที่สุด,  $p$  และ  $q$  คือ ความยาวของข้อต่อที่เหลือ

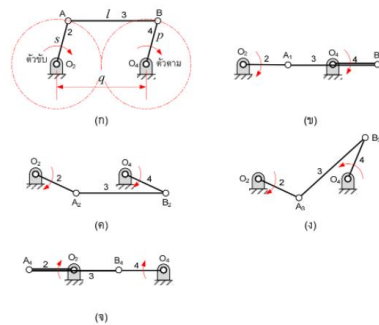
สามารถพิสูจน์ได้ว่า ข้อต่อกลไกที่มีจุดเปลี่ยนทุกชิ้นจะเรียงตัวกันเป็นเส้นตรงเสมอ โดยเมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4 (ขวา) พบว่า กลไกใดๆ จะพับและแนบเป็นเส้นตรงเดียวกันได้ ก็ต่อเมื่อ

$$l - p + s - q = 0$$

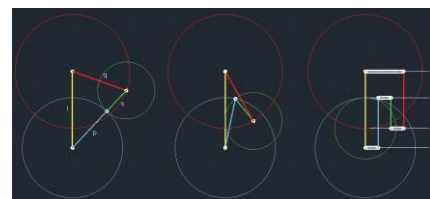
เมื่อจัดรูปสมการใหม่ จะได้สมการ (1) ตรงตามเงื่อนไขของกลไกมีจุดเปลี่ยน

#### 2.2.2 การออกแบบจุดต่อ

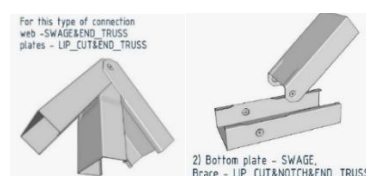
ในโครงสร้างที่ต้องการออกแบบ จุดต่อของโครงสร้างบางจุดจะมีพฤติกรรมเป็นจุดต่อที่เป็นข้อหมุนหมุนได้ (ไม่รับโมเมนต์) ขณะพับหรือกำลังกางออก แต่เมื่อกางออกจนสุดพร้อมใช้งานแล้ว ต้องมีพฤติกรรมจุดต่อข้อแข็ง(ทนต่อโมเมนต์) จึงเลือกการทำจุดต่อด้วยการบากเนื้อเหล็กให้เข้ารูปกันได้และยึดรั้งกันไว้ด้วยสลักเกลียว ซึ่งระหว่างที่พับหรือกางออก สลักเกลียวจะทำหน้าที่เป็นข้อต่อแบบหมุน และเมื่อกางสุด เนื้อเหล็กที่ถูกบาก จะขัดกันพอดี เป็นข้อแข็งได้ เรียกว่า cut end truss



รูปที่ 3 กลไกมีจุดเปลี่ยน



รูปที่ 4 กลไกมีจุดเปลี่ยน



รูปที่ 5 Cut End Truss

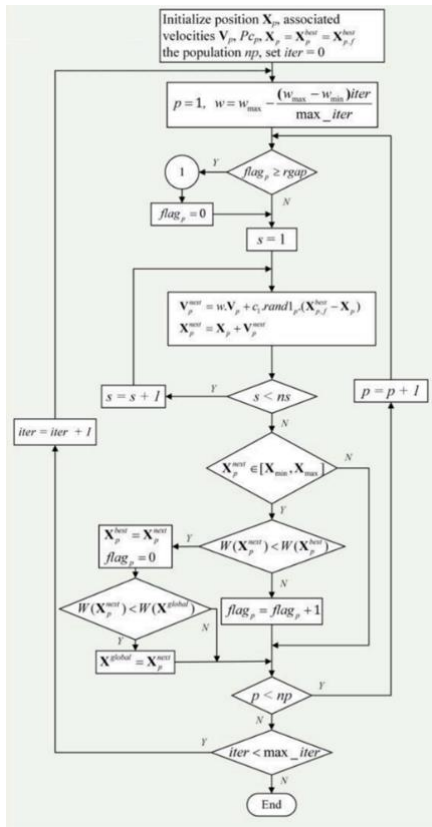
2.3 ทฤษฎีการเรียนรู้กลุ่มอนุภาคอย่างครอบคลุม

2.3.1 ที่มาของการเรียนรู้กลุ่มอนุภาคอย่างครอบคลุม

ในการหาโครงสร้างที่เหมาะสมที่สุดเริ่มต้นจาก วิธีกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization, PSO แต่พบว่ามีข้อเสีย คือ มีการลู่เข้าคำตอบที่เร็วเกินไป (Premature Convergence) ซึ่งเป็นการตกหลุมคำตอบที่ยังไม่ได้ดีที่สุด (Local Optimum) วิธีการเรียนรู้กลุ่มอนุภาคอย่างครอบคลุม (Comprehensive Learning Particle Swarm Optimization, CLPSO) จึงถูกพัฒนาขึ้น เพื่อแก้ไขข้อบกพร่องดังกล่าว

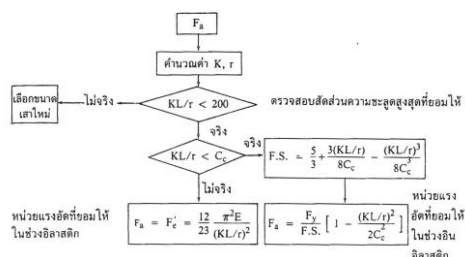
2.3.2 การแก้ไขปัญหาด้วยวิธีการเรียนรู้กลุ่มอนุภาคอย่างครอบคลุม

ในวิธีการเรียนรู้กลุ่มอนุภาคอย่างครอบคลุม อนุภาคจะสามารถเรียนรู้ตำแหน่งของอนุภาคอื่นในมิติปัญหาเดียวกัน ทำให้การค่าตำแหน่งของแต่ละอนุภาคมีความหลากหลายมากขึ้น ซึ่งตำแหน่งที่ดีที่สุดของแต่ละอนุภาคจะถูกจัดเก็บแทนที่ค่าเดิม และนำไปหาค่าความเร็วต่อได้ ซึ่งคำนึงถึงความเฉื่อยของอนุภาค



รูปที่ 6 แผนภาพอัลกอริทึมวิธีการเรียนรู้กลุ่มอนุภาคอย่างครอบคลุม

2.4 การตรวจสอบอัตราส่วนความเค้น (Stress Ratio)



รูปที่ 7 แผนภาพแสดงขั้นตอนการหาค่าหน่วยแรงอัดที่ยอมรับ

3. ระเบียบวิธีการออกแบบ

3.1 การออกแบบขนาด สัดส่วน และรูปแบบการพับ

3.1.1 วัตถุประสงค์ เงื่อนไข และสมมติฐาน

วัตถุประสงค์ของการออกแบบ คือ ข้อต่อทุกข้อต่อในแผนภาพคินแมติกต้องสามารถพับเข้าหากันและเรียงตัวอยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกันได้ในจังหวะสุดท้ายเพื่อให้ได้โครงสร้างหลังการพับเก็บที่บางที่สุด โดยไม่ละเมิดเงื่อนไขดังที่จะกล่าวต่อไปนี้

เงื่อนไขแบบสถาปัตยกรรม กำหนดให้โครงลักษณะทางออกสุดมีหน้ากว้างเท่ากับที่กำหนดในแบบสถาปัตยกรรม และจะต้องรักษาความกว้างดังกล่าวตลอดความสูง 3.000 เมตรนับจากระดับคานพื้นในแผนภาพคินแมติก เพื่อการใช้สอยอย่างสะดวก

เงื่อนไขช่องเปิดเพื่อการสัญจร กำหนดให้โครงหลักที่จะออกแบบนั้นต้องมีช่องเปิดที่อยู่ ณ บริเวณกึ่งกลาง โดยมีความกว้างไม่น้อยกว่า 1 เมตร และความสูงไม่น้อยกว่า 2 เมตร ขนาดดังกล่าวอ้างอิงมาจากขนาดประตูทั่วไป

เงื่อนไขความหนาหลังการพับเก็บ กำหนดให้ความหนาของโครงสร้างหลังคา ฉนวนกันความร้อน ผนัง วัสดุปิดผิวผนัง และโครงสร้างพื้นเมือรวมแล้วต้องไม่เกิน 1.150 เมตรหลังการพับเก็บ ซึ่งจะทำให้สามารถขนส่งบ้านสองหลังได้โดยการขนส่งเพียงเที่ยวเดียว

เงื่อนไขช่องเปิดเพื่อระบายอากาศในแนวราบ กำหนดให้โครงหลักที่ต้องมีช่องว่างสำหรับบานหน้าต่างโดยสอดคล้องกับแบบสถาปัตยกรรม จะยอมให้มีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่ง รูปแบบ และขนาดช่องเปิดได้เล็กน้อย แต่จำนวนช่องเปิดจะต้องเท่าเดิม เพื่อการระบายอากาศที่มีประสิทธิภาพ

เงื่อนไขข้อจำกัดด้านการขนบรรทุก กำหนดให้ไม่มีส่วนหนึ่งส่วนใดของข้อต่อในแผนภาพคินแมติกในจังหวะพับสุดท้าย (จังหวะที่ทุกข้อต่อเรียงตัวกันในแนวเส้นตรงเดียว) อยู่ต่ำกว่าระดับคานพื้น หรืออยู่สูงกว่าระดับสามเมตรนับจากระดับคานพื้น

เงื่อนไขของการออกแบบหลังคาจั่ว กำหนดให้ยอดหลังคาเป็นไปตามเงื่อนไขดังสมการ (2) ซึ่งจะทำให้หลังคามีความลาดเอียงเฉลี่ย 30 องศาเทียบกับแนวระดับ ด้วยเหตุผลจากงานวิจัยในหัวข้อ 2.1.3

$$h \geq \frac{b}{2} \tan(30^\circ) \quad (2)$$

กำหนดให้  $h$  เท่ากับ ระดับของจุดสูงสุดของหลังคาเทียบกับระดับฐานของจั่วหลังคา และ  $b$  เท่ากับ ความกว้างของจั่วหลังคา

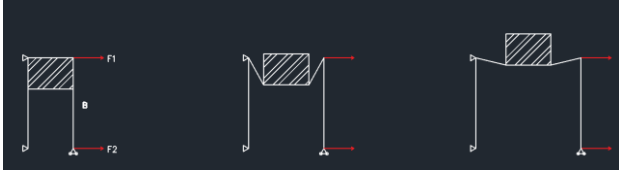
เงื่อนไขของการให้แรงเพื่อกางโครงหลัก กำหนดให้การให้แรงสามารถกระทำได้เฉพาะในแนวระดับ และกระทำได้ที่จุดต่อของโครงสร้างเท่านั้น ทั้งนี้ ออกแบบภายใต้สมมติฐานว่าทุกจุดต่อหมุนได้คล่อง และการให้แรงเพื่อกางโครงสร้าง มีลักษณะตามที่จะได้อธิบายต่อไปในหัวข้อ 3.1.3

3.1.2 การจัดทำแบบร่างขอบเขตของโครงหลัก

เราสามารถนำเงื่อนไขการออกแบบมาจัดทำแบบร่างเบื้องต้นเพื่อกำหนดขอบเขตของโครงหลักได้ โดยพิจารณาตามเงื่อนไขแบบสถาปัตยกรรม แล้วสร้างจุดต่อที่โครงหลักจำเป็นต้องมี และพิจารณาตามเงื่อนไขช่องเปิดเพื่อการสัญจร เพื่อร่างบริเวณที่ห้ามมิให้มีข้อต่อใดผ่าน

### 3.1.3 การออกแบบโครงสร้างตามแนวคิดการยกระดับวัตถุ

จากข้อจำกัดด้านการขนบรรทุก และเงื่อนไขของการออกแบบหลังคาจั่ว ทำให้ต้องมีการยกระดับโครงสร้างขึ้น แต่เนื่องจากเงื่อนไขของการให้แรงเพื่อกางโครงถัก ผู้วิจัยจึงใช้กลไกการยกระดับวัตถุ โดยการให้แรงด้านข้างเพียงอย่างเดียว ดังแสดงในรูปที่ 10



รูปที่ 8 กลไกการยกระดับของวัตถุโดยการให้แรงด้านข้างเพียงอย่างเดียว

พิจารณาจากซ้ายไปขวา วัตถุสี่เหลี่ยมที่ถูกแรงถูกยกระดับขึ้นโดยกลไกต้องเป็นไปตามสมมติฐานว่ามีการให้แรงปฏิกิริยาแนวตั้งที่เหมาะสมที่ปลายล่างของชิ้นส่วน A เพื่อรักษาสมดุลกลในแนวแกนตั้ง และการให้แรง  $F_1$  และ  $F_2$  จะถูกปรับเปลี่ยนให้มีอัตราส่วนที่เหมาะสมตลอดการเคลื่อนที่ของกลไกเพื่อให้ชิ้นส่วน B เกิดการหมุน

อย่างไรก็ดี กระบวนการทางตามแนวความคิดดังกล่าวมีข้อจำกัดในจังหวะที่ก้านส่งกำลังจะกางสุดและวางตัวเป็นแนวราบ เพราะก้านส่งจะส่งผ่านแรงตามแนวแกนเท่านั้น ซึ่งอาจทำให้ไม่มีแรงในแนวตั้งเพียงพอในการยกวัตถุดังกล่าวจนก้านส่งวางตัวอยู่ในแนวราบได้ จึงต้องกำหนดให้มีมุมขั้นต่ำ 20 องศาวัดลงจากแนวราบ ซึ่งเรียกว่า เงื่อนไขจุดตายกลไก

### 3.1.4 การพิจารณาเสถียรภาพของโครงถัก

พิจารณาเสถียรภาพของโครงถักโดยกำหนดตำแหน่งของฐานรองรับที่ปลายทั้งสองข้าง เป็นฐานรองรับชนิดหมุนแล้วใช้ค่า Degree of Static Indeterminacy ซึ่งสามารถคำนวณได้ด้วยสมการ (3)

$$DI = R_A + n_m + n_j + n_c \quad (3)$$

โดย  $DI$  คือ Degree of Static Indeterminacy  $R_A$  คือ จำนวนแรงปฏิกิริยาไม่ทราบค่าที่ฐานรองรับ  $n_m$  คือ จำนวนแรงภายในที่ไม่ทราบค่า  $n_j$  คือ จำนวนสมการสมดุล ณ จุดต่อ และ  $n_c$  คือ จำนวนเงื่อนไขเชิงสถิตที่จุดหักในข้อต่อ

ในขั้นตอนนี้ จะไม่พิจารณาจุดหักในข้อต่อ เพราะถือว่าทุกจุดหักจะถูกยึดให้อยู่ในสภาพที่ต้านทานการหมุนได้อย่างสมบูรณ์ในขั้นตอนการกางสุด

### 3.1.5 การออกแบบโครงสร้างรูปสามเหลี่ยม และจุดหักกันข้อต่อ

โครงสร้างสามเหลี่ยมจะทำให้เกิดปัญหาในการพับเก็บ ผู้วิจัยจึงอาศัยวิธีการเพิ่มตำแหน่งจุดหักกันข้อต่อหนึ่งของโครงสร้างรูปสามเหลี่ยมเพื่อเปลี่ยนพฤติกรรมจากโครงสร้างเป็นกลไกข้อต่อ ทั้งนี้ เพื่อให้ทุกข้อต่อสามารถพับเก็บเป็นแนวเส้นตรงเดียวได้ดังที่ได้พิสูจน์ในหัวข้อ 2.2.2

การวิเคราะห์หาตำแหน่งจุดหักของข้อต่อนี้ จะมีตัวไม่ทราบค่าอยู่ 2 ตัว ได้แก่  $s$  และ  $p$  แต่เนื่องจากเราทราบความยาวของ  $s + p$  ได้จากการวัดระยะด้านที่ยาวที่สุดของโครงสร้างสามเหลี่ยม แสดงได้ดังสมการ (4)

$$s + p = k \quad (4)$$

โดย  $k$  คือ ระยะด้านที่ยาวที่สุดของโครงสร้างสามเหลี่ยม เป็นตัวแปรที่ทราบค่า ดังนั้นเราจึงสามารถทราบค่า  $s$  และ  $p$  ได้จากการแก้สมการ (1) และ (4) ร่วมกัน และสามารถหาจุดหักกันข้อต่อได้

### 3.1.6 การออกแบบกระบวนการพับเก็บของก้ำแพง

ผู้วิจัยจะพับก้ำแพงด้านในให้สำเร็จก่อนที่จะพับก้ำแพงด้านนอก แล้วจึงทำการพับหลังคา ฉนวน พื้น และโครงถักพร้อมกันเป็นขั้นตอนสุดท้าย โดยกระบวนการการพับเก็บ

### 3.1.7 สรุปกระบวนการออกแบบโครงสร้างพับได้

สามารถสรุปได้ดังรูปที่ 11 และผู้วิจัยออกแบบโครงถักได้ดังรูปที่ 12

## 3.2 การออกแบบโครงสร้าง

### 3.2.1 มาตรฐานการออกแบบ

ออกแบบโดยอ้างอิงตามกฎกระทรวง ฉบับที่ 6 และ AISI 360-16

### 3.2.2 วัสดุเหล็ก

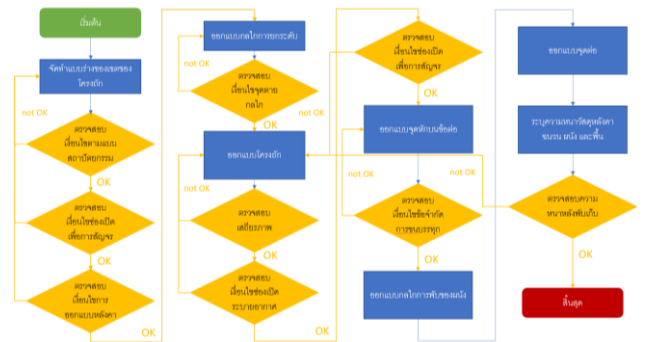
ผู้วิจัยออกแบบโดยใช้เหล็ก SS400 แบบกล่อง (Hollow Square Section, HSS) เท่านั้น

### 3.2.3 ชนิดวัสดุ

ผู้วิจัยเลือกใช้วัสดุดังแสดงในตารางที่ 1

### 3.2.4 น้ำหนักบรรทุก

ดังแสดงในตารางที่ 2 และ ตารางที่ 3



รูปที่ 9 ผังการดำเนินงาน

### ตารางที่ 1 วัสดุ

วัสดุประสงค์	ชนิดวัสดุ
วัสดุผนังหลังคา	เมทัลชีทแผ่นเรียบ ลอนหนา 2.0 ซม.
ฉนวนหลังคา	ฉนวนกันความร้อนพียูโฟม หนา 2.5 ซม. และ 5.0 ซม.
ผนังสำเร็จรูป	ผนังแกนตัวซีพาลอน หนา 5.0 ซม.
วัสดุปิดผิวผนังด้านนอก	เมทัลชีทแผ่นเรียบ ลอนหนา 2.0 ซม.
แผ่นพื้น	แผ่นพื้นเฌอราบอร์ด หนา 2.0 ซม.
ดิ่งพื้น	เหล็ก
วัสดุโครงสร้าง	เหล็ก

ตารางที่ 2 น้ำหนักบรรทุกคงที่

แรงกระทำ	น้ำหนักต่อหน่วย	หน่วย
หลังคาเมทัลชีทและฉนวนพีอีโฟม	25	kg/m <sup>2</sup>
แผ่นพื้นเขอร่าและดงพื้น	40	kg/m <sup>2</sup>
ผนังแขวนคิ้วพาแนล	25	kg/m <sup>2</sup>
น้ำหนักบรรทุกเพิ่มเติม	120	kg/m <sup>2</sup>

ตารางที่ 3 น้ำหนักบรรทุกจร

แรงกระทำ	น้ำหนักต่อหน่วย	หน่วย
หลังคา	50	kg/m <sup>2</sup>
พื้นที่ใช้สอย	200	kg/m <sup>2</sup>

3.3 การออกแบบหน้าตัดของโครงสร้างที่เหมาะสมที่สุด ด้วยระเบียบวิธีการเรียนรู้กลุ่มอนุภาคอย่างครอบคลุม (CLPSO) ร่วมกับการตรวจสอบอัตราส่วนความเค้น

### 3.3.1 การกำหนดฟังก์ชันเป้าหมาย (Objective function)

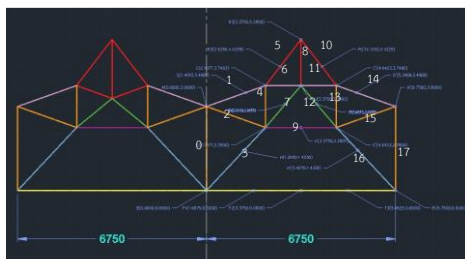
การพิจารณาโครงสร้างที่อยู่อาศัยขนาดเล็กด้วยการก่อสร้างแบบพับได้ มีวัตถุประสงค์ต้องการเลือกวัสดุที่มีขนาดเหมาะสมที่สุด จากการนำวิธีการเรียนรู้กลุ่มอนุภาคอย่างครอบคลุม (CLPSO) มาพิจารณาในส่วนโครงถัก โดยต้องการให้น้ำหนักของทั้งโครงถักมีค่าน้อยที่สุด และยังสามารถรับแรงได้อย่างปลอดภัย ซึ่งสร้างฟังก์ชันเป้าหมายได้ดังสมการ (5)

$$W(x) = \rho \sum_{i=1}^D (\sum_{j=1}^n l_{i,j}) A_i \quad (5)$$

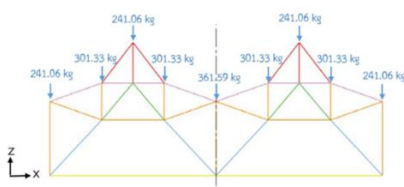
โดย  $W(x)$  คือน้ำหนักทั้งหมดของโครงถัก,  $\rho$  คือความหนาแน่นของเหล็ก,  $D$  คือจำนวนกลุ่มที่ต้องการหาขนาดหน้าตัด,  $n$  คือจำนวนชิ้นส่วนในกลุ่ม  $i$ ,  $A_i$  คือพื้นที่หน้าตัดของกลุ่มที่  $i$ ,  $l_{i,j}$  คือความยาวของชิ้นส่วน  $j$  ในกลุ่ม  $i$

### 3.3.2 การกำหนดเงื่อนไขและข้อมูลป้อนเข้า

ทำการระบุตำแหน่งของข้อต่อและชิ้นส่วน รวมถึงแรงที่กระทำที่ข้อต่อต่างๆ โดยกำหนดให้พื้นที่หน้าตัดที่ทำการสุ่มอยู่ในช่วง 1 ถึง 15 ตารางเซนติเมตร, ขนาดประชากร (Population Size) เป็น 30, จำนวนรอบการวนซ้ำสูงสุด (Max Iteration) เท่ากับ 2,000, สัมประสิทธิ์ความเร่ง เป็น 1.49445, จำนวนครั้งที่จะไปเรียนรู้ตำแหน่งใหม่ (Refreshing Gap) เป็น 7



รูปที่ 10 พิกัดของแต่ละชิ้นส่วนในโครงถัก



รูปที่ 11 น้ำหนักบรรทุกที่ลงและข้อต่อในโครงถัก

## 3.4 การวิเคราะห์ห่อแบบโครงสร้างด้วย SAP2000

ผู้วิจัยสร้างแบบจำลองใน SAP2000 ให้มีความใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด ในรูปแบบของโครงถักและโครงเฟรมสามมิติ เพื่อเปรียบเทียบกับวิธีการเรียนรู้กลุ่มอนุภาคอย่างครอบคลุม (CLPSO)

## 4. ผลการออกแบบ

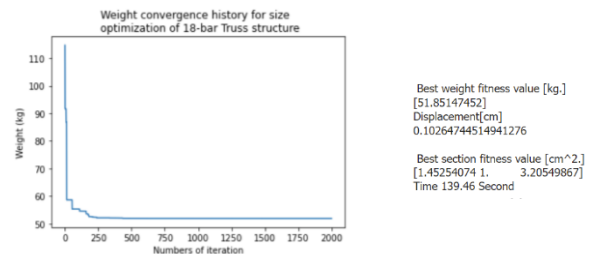
### 4.1 ผลลัพธ์การคำนวณหน้าตัดของชิ้นส่วนโครงสร้าง

#### 4.1.1 การคำนวณหน้าตัดของชิ้นส่วนโครงสร้าง ด้วยวิธีการเรียนรู้กลุ่มอนุภาคอย่างครอบคลุม ร่วมกับการตรวจสอบอัตราส่วนความเค้น

จากผลลัพธ์ในการคำนวณในการสุ่มขนาดหน้าตัดทุกชิ้นส่วน จะเห็นว่า มีหลายชิ้นส่วนที่ได้ผลลัพธ์ใกล้เคียงกัน จึงนำมาจัดกลุ่มเป็นรูปแบบต่างๆ โดยรูปแบบที่ผู้วิจัยเห็นว่าเหมาะสมคือ ทำการจัดเหลือ 2 กลุ่ม ได้แก่

กลุ่มที่ 1 ประกอบด้วย ชิ้นส่วนที่ 0, 3, 16 และชิ้นส่วนที่ 17 ต้องใช้เหล็กหน้าตัดที่สี่เหลี่ยมจัตุรัส พื้นที่หน้าตัด 1.45 ตารางเซนติเมตร  
 กลุ่มที่ 2 ประกอบด้วย ชิ้นส่วนที่ 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 และชิ้นส่วนที่ 15

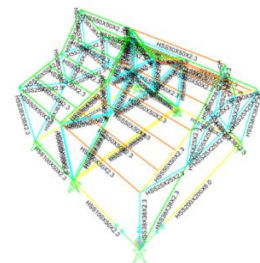
ต้องใช้เหล็กหน้าตัดที่สี่เหลี่ยมจัตุรัส พื้นที่หน้าตัด 1.00 ตารางเซนติเมตร



รูปที่ 12 ผลลัพธ์ขนาดหน้าตัดจากการจัดกลุ่มรูปแบบที่ 4

#### 4.1.1 ผลลัพธ์การคำนวณหน้าตัดของชิ้นส่วนโครงสร้าง ด้วยการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SAP2000

กลุ่มหน้าตัดเหล็กที่ได้จากการออกแบบด้วย SAP2000 โดยมีวิธีการเรียนรู้กลุ่มอนุภาคอย่างครอบคลุม (CLPSO) เป็นแนวทางในการออกแบบ ซึ่งจะใช้เป็นผลลัพธ์สุดท้ายในการออกแบบ ดังจะกล่าวต่อไปในหัวข้อ 4.1.3



รูปที่ 13 ผลลัพธ์การหาขนาดชิ้นส่วนโครงสร้างด้วยโปรแกรม SAP2000

#### 4.1.2 สรุปผลลัพธ์การคำนวณหน้าตัดของชิ้นส่วนโครงสร้าง

เมื่อใช้รูปแบบการจัดกลุ่มชิ้นส่วนที่ใช้ในวิธีการเรียนรู้กลุ่มอนุภาคอย่างครอบคลุม มาเป็นแนวทางในการจัดกลุ่มชิ้นส่วน ในโปรแกรม SAP2000 จะทำให้เกิดประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของหน้าตัดสูงสุด (Utilization Ratio) ซึ่งพื้นที่หน้าตัดของชิ้นส่วนต่างๆ ค่อนข้างสอดคล้องกับวิธีการเรียนรู้กลุ่มอนุภาคอย่างครอบคลุม มีเพียงชิ้นส่วนตลอดแนวด้านบนสุดของ

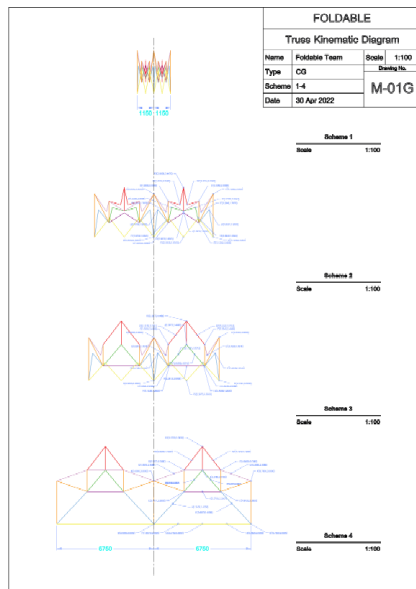
โครงถัก ที่รับน้ำหนักโดยตรงจากแป ซึ่งในโปรแกรม SAP2000 จะพิจารณา ทั้งโครงสร้างอาคาร ทำให้มีการค้ำึงถึง ทั้งแรงในแนวตั้งและโมเมนต์ดัดที่ ถ่ายมาสู่ชิ้นส่วน จึงจำเป็นต้องใช้เหล็กที่มีขนาดใหญ่กว่าที่ได้จากการ คำนวณในวิธีการเรียนรู้กลุ่มอนุภาคอย่างครอบคลุม จึงเลือกใช้เหล็กใน โครงสร้างต่างๆ ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4 ผลลัพธ์การคำนวณหน้าตัดของชิ้นส่วนโครงสร้าง

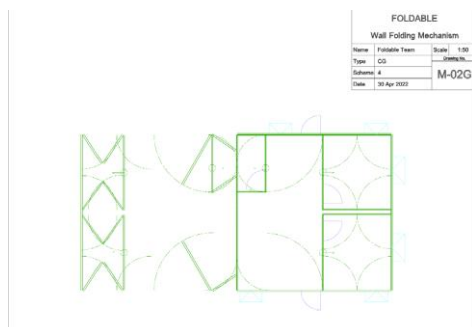
ตำแหน่ง	หน้าตัด	
เหล็กโครงถัก	ชิ้นส่วนรับแปช่วงบน	HSS 38x38x2.3
	ชิ้นส่วนรับแปช่วงล่าง	HSS 50x50x2.3
	ชิ้นส่วนโครงถักส่วนบน	HSS 25x25x2.3
	ชิ้นส่วนโครงถักส่วนล่าง	HSS 38x38x2.3
เหล็กหลังคา	ชิ้นส่วนแปหลังคา	HSS 50x50x2.3
เหล็กคานพื้น	ชิ้นส่วนคานรับผนังและดงพื้น	HSS 200x200x6.0
	ชิ้นส่วนคานที่รับเฉพาะผนัง	HSS 100x50x2.3

## 4.2 แบบ

### 4.2.1 การคำนวณหน้าตัดของชิ้นส่วนโครงสร้าง



### 4.2.2 การคำนวณหน้าตัดของชิ้นส่วนโครงสร้าง



## 5. สรุปผลการวิจัย

### 5.1 สรุปผลวิจัย

จากผลงานวิจัยพบว่า เราสามารถออกแบบโครงสร้างที่อยู่อาศัยแบบ พับได้ ที่มีรูปแบบเหมาะสมกับสภาพอากาศเมืองร้อนได้ด้วยวิธีการออกแบบ ให้มีหลังคาจั่ว โดยอาศัยหลักการออกแบบชิ้นส่วนทางกล และได้เลือกใช้ วัสดุที่มีความเหมาะสม และประหยัด โดยสามารถนำผลการคำนวณด้วย ระเบียบวิธีการเรียนรู้กลุ่มอนุภาคอย่างครอบคลุม (CLPSO) มาใช้พิจารณา ออกแบบหน้าตัดโครงถักร่วมกับโปรแกรม SAP2000 ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

### 5.2 ข้อเสนอแนะ

ผู้วิจัยเห็นความเป็นไปได้การนำกระบวนการออกแบบข้อต่อและจุดต่อ ไปพัฒนาเป็นระเบียบวิธีการคิด เพื่อที่จะนำไปหาคำตอบที่ดีที่สุดในการ ออกแบบโครงถักพับได้ต่อไป

### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.เสวกชัย ตั้งอร่ามวงศ์ อาจารย์ภาควิชา วิศวกรรมโยธาที่กรุณาให้ความรู้คำปรึกษา คำแนะนำ และกำลังใจในการ ทำงานตั้งแต่แรกเริ่มตลอดจนถึงการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องด้วยความ เอาใจใส่เสมอมา และขอขอบพระคุณบุคลากรอื่นที่เกี่ยวข้องที่อำนวยความสะดวก นาย อาณัติ สุธา และ นางสาวธมลวรรณ สุวรรณศรี ที่คอย ช่วยเหลือในการให้คำปรึกษาการใช้โปรแกรมวิเคราะห์ผลต่าง ๆ และให้ คำแนะนำในการปรับแก้งานวิจัย ทั้งในและนอกเวลาราชการตลอด ระยะเวลาที่ผ่านมาจนงานวิจัยนี้เสร็จสมบูรณ์

### เอกสารอ้างอิง

- [1] อรรถนัย เศรษฐบุตร. *อาคารเขียว. สำนักพิมพ์คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, พ.ศ.2561*
- [2] Q. Roslan, S. Ibrahim, R. Affandi, M. Nawi and A. Baharun. "A literature review on the improvement strategies of passive design for the roofing system of the modern house in a hot and humid climate region". *Frontiers of Architectural Research*, 5, pp. 126-133, 2016.
- [3] R.L. Norton. *Design of Machinery*. The McGraw-Hill Companies, Inc., 2019
- [4] J. Rungamornrat. *Fundamental Structural Analysis*. 2020, pp. 31-39
- [5] ทักษิณ เทพชาติศรี, อัครวิชร์ เล่นวาริ. พฤติกรรมและการออกแบบโครงสร้างเหล็ก. พิมพ์ครั้งที่ 1, สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2562.
- [6] T.H. Van, S. Tangaramvong, S. Limkatanyu and H. Nguyen-Xuan. "Two-phase ESO and comprehensive Learning PSO method for structural optimization with discrete steel sections". *Advance in Engineering Software*, pp. 4-6, 2022.
- [7] V. Ho-Huu, T. Nguyen-Thoi, T. Vo-Duy and T. Nguyen-Trang. "An adaptive elitist differential evolution for optimization of truss structures with discrete design variables". *Computers and Structures*, pp. 59-60, 2016.