

รูปแบบการออกแบบที่เหมาะสมที่สุดสำหรับโครงถักหลังคาเหล็ก OPTIMUM DESIGN PATTERNS FOR STEEL ROOF TRUSSES

พันธนะ จิวาลักษณ์¹ และ วินัย อวยพรประเสริฐ²

¹นักศึกษา, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต
52/347 หมู่บ้านเมืองเอก ถ.พหลโยธิน ต.หลักหก อ.เมือง จ.ปทุมธานี 12000,
pantana.j64@rsu.ac.th

²อาจารย์, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต
52/347 หมู่บ้านเมืองเอก ถ.พหลโยธิน ต.หลักหก อ.เมือง จ.ปทุมธานี 12000,
owinai@yahoo.com

Pantana Jivaluck¹ and Winai Ouypornprasert²

¹Student, Collage of Engineering, Rangsit University, 52/347 Phahonyothin Rd, Lak Hok,
Mueang Pathum Thani District, Pathum Thani 12000, Thailand, pantana.j64@rsu.ac.th

²Lecturer, Collage of Engineering, Rangsit University, 52/347 Phahonyothin Rd, Lak Hok,
Mueang Pathum Thani District, Pathum Thani 12000, Thailand, owinai@yahoo.com²

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการหารูปแบบที่เหมาะสมที่สุดของโครงถักหลังคาเหล็กที่นิยมใช้ 4 รูปแบบ และน้ำหนักเบาที่สุดของโครงถักรูปแบบมาตรฐาน โดยที่โครงสร้างยังคงมีความแข็งแรงและปลอดภัยภายใต้เงื่อนไขข้อจำกัดการออกแบบโครงสร้างเหล็กตามมาตรฐาน วสท. 1015-40 วิธีหน่วยแรงใช้งาน (ASD - Allowable Stress Design) การศึกษานี้ใช้ความสูงโครงถักเป็นพารามิเตอร์สำหรับทำหาค่าตอบลู่วิธีหาค่าที่เหมาะสมที่สุด และส่งผลให้โครงสร้างมีน้ำหนักเบาลง จากผลการศึกษาพบว่าโครงถักรูปแบบเบาที่สุดคือ รูปแบบพัด โดยมีน้ำหนักโครงสร้างลดลงจากรูปแบบโครงถักมาตรฐานร้อยละ 29.3 ดังนั้น การศึกษารูปแบบที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการออกแบบโครงถักหลังคาเหล็ก จึงอาจเป็นทางเลือกในการก่อสร้างที่มีต้นทุนต่ำกว่า

คำสำคัญ: โครงถักหลังคา, สถานะข้อจำกัด, การหาค่าที่เหมาะสมที่สุด

ABSTRACT

This paper presented an optimum pattern of four most popular roof trusses and the lightest weight of the standard truss. The designed structure maintained strength and safety under

the limit states of standard steel structural design in accordance with the Engineering Institute of Thailand standards 1015-40 by using the Allowable Stress Design (ASD) method. In this study the height of truss was used as the parameter for making results convergent to the optimum point, and resulting in reduction of the structure's weight. Results from the study showed that the lightest truss pattern was the fan truss, and the weight of the truss at the optimal point was reduced from standard pattern by 29.3%. Therefore the study of optimum pattern for steel roof truss design might offer an alternative outcome for lower the cost of construction.

KEYWORDS: Roof Truss, Limit State, Optimization

1. บทนำ

โครงถักหลังคาแบบโครงข้อหมุนเป็นที่นิยมใช้สำหรับอาคารที่มีช่วงยาว เช่น อาคารโกดัง อาคารโรงงานอุตสาหกรรม หอประชุม หรืออาคารโรงยิมอเนกประสงค์ เป็นต้น เนื่องจากเป็น โครงสร้างที่มีน้ำหนักเบา แต่สามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้มาก ขั้นตอนทั่วไปของการออกแบบนั้น ผู้ออกแบบจะเลือกรูปแบบและหน้าตัดของเหล็กขึ้นมาก่อนแล้วนำมาตรวจสอบว่า สามารถรับแรง ได้ตามที่มาตรฐานกำหนดหรือไม่ ซึ่งวิธีการนี้จะคำนึงถึงความปลอดภัยเป็นหลัก ดังนั้นเพื่อให้ผล ออกมาประหยัดและสามารถรับน้ำหนักได้อย่างปลอดภัย การหาค่าเหมาะสม (Optimization) จึงถูก นำมาใช้ในการออกแบบโครงสร้างเพื่อลดต้นทุนในการก่อสร้างและประหยัดทรัพยากร [1, 2]

ในอดีตที่ผ่านมาการออกแบบโครงถักหลังคาเพื่อให้ได้น้ำหนักเบาที่สุด อาจต้องอาศัยการลอง ถูกลองผิดขึ้นอยู่กับการพิจารณาของวิศวกรผู้ออกแบบหรืออาจใช้หลักปฏิบัติตามข้อแนะนำการ ออกแบบโครงสร้างเหล็กที่แนะนำไว้ว่าอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความลึกโครงถักควรอยู่ ในช่วง 15 ถึง 20 [3, 4] อย่างไรก็ตามสัดส่วนความสูงที่แนะนำอาจไม่เหมาะสมที่สุดกับที่ช่วง ความยาวที่ผู้ออกแบบต้องการ ในปี ค.ศ. 2000 Jiravacharadej et al [5] มีการศึกษาความสูงที่ เหมาะสมในการออกแบบโครงถักหลังคาแบบแปดเหลี่ยมของช่วงความยาว 10 ถึง 30 เมตร ซึ่งได้ ค่าความสูงโครงหลังคาที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 40 ถึง 80 เซนติเมตร และในปี ค.ศ. 2011 Chetchotisak et al [6, 7] ได้นำเสนอผลกระทบของเงื่อนไขต่าง ๆ ที่มีต่อคำตอบที่ดีที่สุด เรียกว่า การวิเคราะห์ความไว (Sensitive Analysis) โดยใช้หลักการวิเคราะห์ในรูปแบบของคาน Timoshenko พบว่า สัดส่วนความยาวต่อความสูงของโครงหลังคาที่ใช้ออกแบบเพื่อให้ได้น้ำหนัก เบาที่สุดมีค่าไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับความยาว จำนวนช่อง และความลาดเอียงของหลังคา โดยควรมี การกำหนดจำนวนช่องให้มีค่าน้อยที่สุด แต่จะต้องไม่ทำให้ระยะช่วงของแปมากเกินไปจนแป รับน้ำหนักวัสดุหลังคาไม่ได้ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการกำหนดความลาดเอียงและจำนวนช่องของ

โครงถักจะมีผลต่อจำนวนชิ้นส่วนค้ำยันแนวเอียง ซึ่งส่งผลสำคัญกับน้ำหนักโครงถัก จึงน่าสนใจที่จะทำการศึกษารูปแบบที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการออกแบบโครงถักหลังคาเหล็กที่มีการจัดเรียงชิ้นส่วนค้ำยันโดยมีองศา ระยะห่าง และจำนวนชิ้นส่วนแตกต่างกัน เพื่อให้ได้น้ำหนักโครงสร้างที่เบาที่สุด

2. วัตถุประสงค์

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหารูปแบบและความสูงต่อความยาวช่วงที่เหมาะสมที่สุดสำหรับโครงถักหลังคาเหล็กที่นิยม รวมถึงการออกแบบหาโครงถักเบาที่สุดของรูปแบบโครงถักที่ศึกษาเพื่อให้ได้โครงถักรูปแบบที่เหมาะสมสำหรับการใช้งาน

3. ขอบเขตการวิจัย

3.1 การวิเคราะห์โครงสร้างเป็นแบบดีเทอร์มิเนตทางสถิต (Statically Determinate Structure) โดยจุดรองรับโครงถักด้านหนึ่งเป็นแบบยึดหมุน (Pinned Support) และอีกด้านหนึ่งเป็นแบบล้อเลื่อน (Roller Support)

3.2 การออกแบบโครงถักเหล็กใช้วิธีการออกแบบยืดหยุ่น (Elastic Design Methods) มาตรฐาน วสท. 1015-40 ใช้หลักการออกแบบวิธีหน่วยแรงใช้งาน (ASD - Allowable Stress Design)

3.3 ความยาวชิ้นส่วนโครงถักคำนวณตามแนวศูนย์กลางแต่ละชิ้นส่วนที่ต่อกัน ณ จุดศูนย์กลางของรอยต่อชิ้นส่วนนั้น

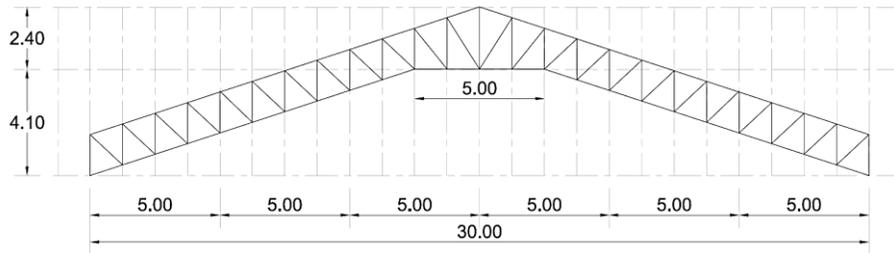
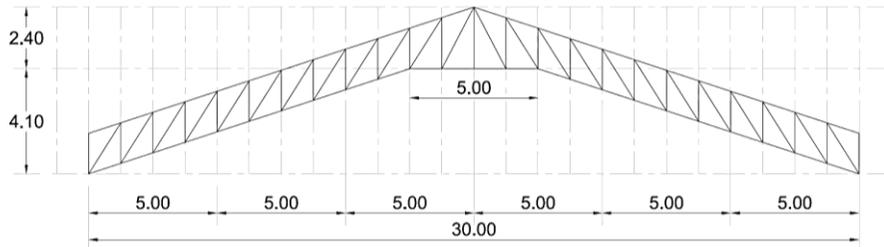
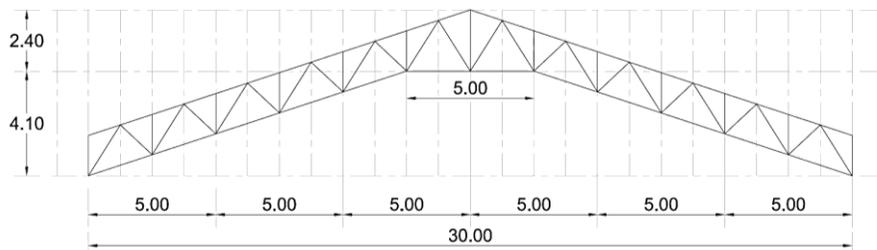
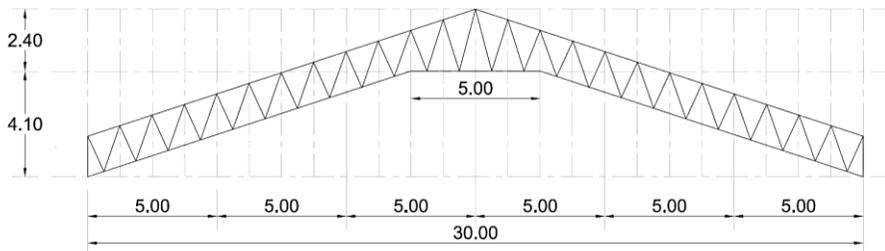
3.4 ใช้เหล็กท่อมาตรฐาน มอก. 107-2533 ชั้นคุณภาพ HS 41 ในการออกแบบชิ้นส่วนโครงถัก

3.5 น้ำหนักบรรทุกจะกระทำที่จุดต่อโครงถักรับแรงในแนวแกนเท่านั้น

4. ระเบียบการวิจัย

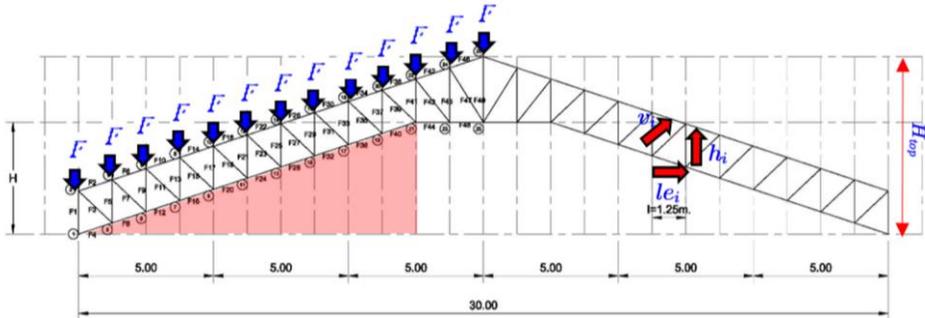
4.1 การกำหนดรูปแบบโครงถัก

งานศึกษานี้อ้างอิงแบบโครงถักทรงคอร์ดเอียงขนานตามแบบมาตรฐานโรงยิมอเนกประสงค์ กรมพลศึกษา กำหนดรูปแบบโครงถักหลังคาที่นิยมใช้จำนวน 4 ตัวอย่าง คือ รูปแบบพรอดด์ (Pratt) แบบโฮว์ (Howe) แบบพัด (Fan) และแบบฟิงก์ (Fink) ดังรูปที่ 1

**PRATT****HOWE****FAN****FINK****รูปที่ 1 รูปแบบโครงถักที่นิยม 4 รูปแบบ**

4.2 การหาแรงลัพธ์ภายในชิ้นส่วนโดยการวิเคราะห์ที่จุดต่อ

เมื่อกำหนดขนาดรูปร่างและลักษณะโครงถักที่ต้องการได้แล้ว เริ่มทำการวิเคราะห์หาแรงภายในชิ้นส่วนโครงสร้างโดยวิธีการตัดรอบจุดต่อ ออกแบบให้จุดรองรับด้านหนึ่งเป็นแบบยึดหมุน และอีกด้านเป็นแบบลื่น ระบุหมายเลขชิ้นส่วนรวมถึงจุดต่อที่ต้องการพิจารณา ทำการใส่แรงกระทำภายนอกลงตามจุดต่อดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 การกำหนดแรงกระทำภายนอกที่จุดต่อ

หาความสัมพันธ์ของความยาวชิ้นส่วนระหว่างความสูงในแนวตั้งและความยาวในแนวราบ เพื่อนำไปใช้หาค่าตัวแปรออกแบบเหมาะสมที่สุดของความสูงโครงถักได้ดังต่อไปนี้

$$v_i = \left[\begin{array}{c} l_i \\ h_i \end{array} \right] \quad (1)$$

โดยที่ v_i คือ เวกเตอร์ชิ้นส่วนที่ i

l_i คือ ความยาวชิ้นส่วนที่ i ในแนวแกน x

และ h_i คือ ความสูงชิ้นส่วนที่ i ในแนวแกน y

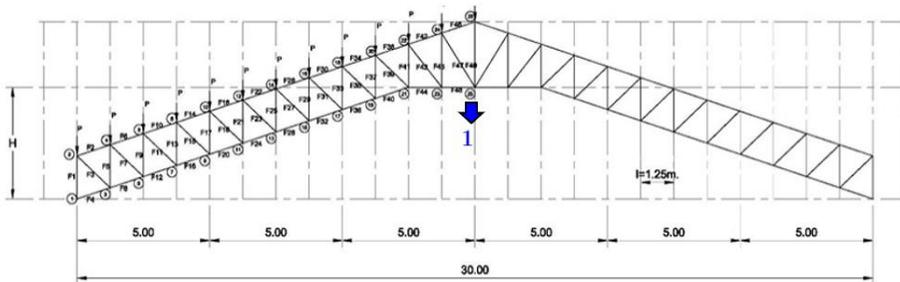
จากนั้นสร้างสมการสมดุลของแรงโดยกำหนดทิศทางเวกเตอร์ให้แรงแนวราบมีค่าบวกในทิศทางและเวกเตอร์แรงแนวตั้งมีค่าบวกในทิศขึ้น สร้างสมการให้ครบทุกจุดต่อของโครงถัก โดยพิจารณาตามลำดับการถ่ายแรงภายในของชิ้นส่วนตั้งสมการ

$$\sum P_i \cdot \frac{v_i}{|v_i|} = \sum F \quad (2)$$

โดยที่ P_i คือ แรงภายในชิ้นส่วนที่ i

และ F คือ แรงภายนอกกระทำบนจุดต่อที่พิจารณา

ในส่วนของการวิเคราะห์หาแรงภายในโดยวิธีงานเสมือนเพื่อนำไปใช้ประกอบการสร้างฟังก์ชันเงื่อนไขขีดจำกัดทางด้านการแอ่นตัวของโครงถัก สามารถใช้หลักการเช่นเดียวกันกับการวิเคราะห์หาแรงภายในชิ้นส่วน โดยทำการกำหนดแรง 1 หน่วยตรงจุดที่ต้องการทราบค่าการแอ่นตัวของโครงสร้างดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 การกำหนดแรงกระทำเสมือนที่จุดต่อ

ซึ่งสามารถวิเคราะห์หาการแอ่นตัวของโครงข้อหมุนโดยวิธีงานเสมือนได้ดังสมการนี้

$$\Delta = \sum_{i=1}^k \frac{n_i N_i L_i}{A_i E_i} \quad (3)$$

โดยที่ Δ คือ ค่าการแอ่นตัวที่จุดต่อโครงถัก

n คือ แรงในแนวแกนชิ้นส่วนโครงถักที่เกิดจากแรงเสมือน 1 หน่วย

N คือ แรงในแนวแกนชิ้นส่วนโครงถักเนื่องจากแรงกระทำจริง

L คือ ความยาวชิ้นส่วนโครงถัก

A คือ พื้นที่หน้าตัดชิ้นส่วนโครงถัก

และ E คือ โมดูลัสยืดหยุ่นของวัสดุที่ใช้ทำโครงถัก

โดยผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์หาแรงภายในและแรงเสมือนจะอยู่ในรูปตัวแปรออกแบบความสูงโครงถัก เพื่อนำไปประกอบการสร้างเงื่อนไขขีดจำกัดในการวิเคราะห์หาค่าความสูงที่เหมาะสมที่สุดต่อไป

4.3 การสร้างฟังก์ชันสถานะขีดจำกัด

การสร้างฟังก์ชันสถานะขีดจำกัดทางด้านน้ำหนัก ทำได้โดยกำหนดขนาดรัศมีและความหนาของเหล็กท่อตามเงื่อนไขขอบเขตขีดจำกัดทางด้านตัวแปรรอบแบบ [8] แบ่งกลุ่มขึ้นส่วนเป็น 3 กลุ่ม คือ คอร์ดบน (Top Chord) ค้ำยัน (Brace) และคอร์ดล่าง (Bottom Chord) เพื่อนำไปหาค่าเหมาะสมที่สุดของรัศมีและความหนาจะได้

$$f(R_i, t_i, H) = \rho \left(\sum_{T=1}^n A_T l_T + \sum_{D=1}^n A_D l_D + \sum_{B=1}^n A_B l_B \right) \quad (4)$$

กำหนดให้

$$A_i = \sum_{i=1}^n 2\pi R_i t_i l_i \quad (5)$$

โดยที่ A_T คือ พื้นที่หน้าตัดเหล็กท่อกอร์ดบน
 A_D คือ พื้นที่หน้าตัดเหล็กท่อก้ำยัน
 A_B คือ พื้นที่หน้าตัดเหล็กท่อกอร์ดล่าง
 l_T คือ ความยาวคอร์ดบน
 l_D คือ ความยาวค้ำยัน
 l_B คือ ความยาวคอร์ดล่าง
 และ n คือ จำนวนเหล็กท่อของแต่ละกลุ่ม

4.4 การสร้างเงื่อนไขขีดจำกัด

การสร้างเงื่อนไขขีดจำกัดทางพฤติกรรมโครงสร้างและเงื่อนไขตัวแปรรอบแบบ ในรูปแบบฟังก์ชันหลายตัวแปรแบบมีข้อจำกัดไม่เท่ากับระบบไม่เชิงเส้น อ้างอิงตามข้อกำหนดการออกแบบวิธีหน่วยแรงใช้งาน (ASD - Allowable Stress Design) วสท.1015-40 และเลือกใช้ขนาดเหล็กท่อกอร์ดตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย มอก. 107-2533 ชั้นคุณภาพ HS 41 โดยเลือกค่าแรงลัพท์ภายในและความยาวชิ้นส่วนสูงสุดที่วิเคราะห์ได้มาเป็นตัวแทนกลุ่มในการออกแบบดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สมการเงื่อนไขขีดจำกัด

เงื่อนไขขีดจำกัด	กลุ่มที่พิจารณา	สมการเงื่อนไขขีดจำกัด
ชั้นส่วนรับแรงอัด	คอร์ตบน	$\sigma_{tallow}A_1 - P_{1max} \geq 0$
ชั้นส่วนรับแรงอัด	ค้ำยัน	$\sigma_{tallow}A_2 - P_{2max} \geq 0$
ชั้นส่วนรับแรงดึง	คอร์ตล่าง	$\sigma_{callow}A_3 - P_{3max} \geq 0$
ชั้นส่วนรับแรงดึง	ค้ำยัน	$\sigma_{callow}A_4 - P_{4max} \geq 0$
อัตราส่วนความชะลูดรับแรงอัด	คอร์ตบน	$\frac{l_{1max}}{200} - r_1 \leq 0$
อัตราส่วนความชะลูดรับแรงอัด	ค้ำยัน	$\frac{l_{2max}}{200} - r_2 \leq 0$
อัตราส่วนความชะลูดรับแรงดึง	คอร์ตล่าง	$\frac{l_{3max}}{240} - r_3 \leq 0$
อัตราส่วนความชะลูดรับแรงดึง	ค้ำยัน	$\frac{l_{4max}}{240} - r_2 \leq 0$
การแอ่นตัวโครงสร้าง	โครงถัก	$\frac{L}{240} - \Delta_{max} \geq 0$
ตัวแปรรูปแบบ	รัศมีเหล็กท้อ	$10mm \leq R \leq 62.5mm$
ตัวแปรรูปแบบ	ความหนาท้อ	$2.3mm \leq t \leq 4.5mm$
ตัวแปรรูปแบบ	ความสูงโครงถัก	$1.3m \leq H \leq 4.5m$

4.5 การหาค่าเหมาะสมที่สุดโดยการใช้ฟังก์ชันสำเร็จรูป

ในการวิเคราะห์หาค่าเหมาะสมที่สุดของตัวแปรที่ต้องการทราบค่าภายใต้ฟังก์ชันสถานะขีดจำกัดและเงื่อนไขขีดจำกัดที่กำหนด โดยใช้ฟังก์ชันสำเร็จรูป Solve Block ของซอฟต์แวร์ Mathcad Prime [9, 10] มีวิธีการกำหนดค่าเพื่อใช้งานของฟังก์ชันดังต่อไปนี้

4.5.1 กำหนดสมการฟังก์ชันสถานะขีดจำกัดภายใต้ตัวแปรรูปแบบที่ต้องการทราบค่าเหมาะสมที่สุดและกำหนดค่าคำตอบเริ่มต้นสำหรับทุกค่าตัวแปรรูปแบบในช่อง Guess Value ซึ่งประกอบด้วยค่าความสูงโครงถัก (H) รัศมีเหล็กท้อคอร์ตบน (R_1) รัศมีเหล็กท้อค้ำยัน (R_2) รัศมีเหล็กท้อคอร์ตล่าง (R_3) ความหนาเหล็กท้อคอร์ตบน (t_1) ความหนาเหล็กท้อค้ำยัน (t_2) และความหนาเหล็กท้อคอร์ตล่าง (t_3)

4.5.2 ในช่อง Constraints ให้กำหนดค่าสมการเงื่อนไขขีดจำกัดในรูปตัวแปรรูปแบบที่ได้จากการวิเคราะห์จำนวน 12 เงื่อนไขดังตารางที่ 1 เพื่อกำหนดขอบเขตค่าผลลัพธ์ของตัวแปรรูปแบบให้เป็นที่ไปตามเงื่อนไขขีดจำกัด

4.5.3 ใช้คำสั่ง Minimize ในช่อง Solver ในการหาคำตอบต่ำสุดของฟังก์ชันสถานะขีดจำกัด โดยผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นค่าตัวแปรออกแบบที่ทำให้โครงถักหลังคามีน้ำหนักเบาที่สุดภายใต้เงื่อนไขขีดจำกัด

โดยหลังจากได้ผลลัพธ์ที่ทำให้น้ำหนักโครงถักเบาที่สุดแล้ว ผู้ออกแบบต้องทำการเลือกหน้าตัดชิ้นส่วนให้สอดคล้องกับขนาดเหล็กที่ตามมาตรฐาน มอก. 107-2533 อีกครั้ง และนำค่าความสูงที่เหมาะสมที่สุดของโครงถักคำนวณหาความยาวชิ้นส่วนจริงแต่ละชิ้นที่แปรผันตามความสูงที่เปลี่ยนไป จากนั้น นำความยาวและขนาดเหล็กท่อที่ใช้จริงมาวิเคราะห์หาการตัดเศษน้อยสุดโดยใช้ซอฟต์แวร์ Optimization Cutting ซึ่งจะคำนวณจากปริมาณโครงถักที่ใช้จริงสำหรับอาคารโรงยิม ขนาดมาตรฐานจำนวน 1 หลัง แล้วจึงนำผลลัพธ์ที่ได้มาเปรียบเทียบเพื่อสรุปผลวิเคราะห์รูปแบบที่เหมาะสมที่สุดของโครงถักหลังคาเหล็กต่อไป

5. ผลการศึกษาและการวิจารณ์ผล

จากการออกแบบหาค่าเหมาะสมที่สุด แสดงการวิเคราะห์และผลลัพธ์ตามวัตถุประสงค์ การศึกษาได้ดังต่อไปนี้

5.1 การวิเคราะห์หาค่าเหมาะสมที่สุดของโครงถัก 4 รูปแบบ

ในการวิเคราะห์หาค่าเหมาะสมที่สุดของโครงถักที่นิยมทั้ง 4 รูปแบบ อ้างอิงแบบมาตรฐานโครงถักของกรมพลศึกษาความยาวช่วง 30 เมตร ได้คำตอบที่เหมาะสมที่สุดของตัวแปรออกแบบ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คำตอบที่เหมาะสมที่สุดของตัวแปรออกแบบ

กลุ่มที่พิจารณา	ตัวแปรออกแบบ		ค่าเหมาะสมที่สุด				หน่วย
			แพรดัด	โธว์	พัด	ฟิงก์	
คอร์ดบน	รัศมีเหล็กท่อ	R_1	40.56	39.78	39.69	40.83	มม.
	ความหนาเหล็กท่อ	t_1	4.50	4.50	4.50	4.50	มม.
ค้ำยัน	รัศมีเหล็กท่อ	R_2	11.31	15.15	21.35	12.98	มม.
	ความหนาเหล็กท่อ	t_2	3.87	3.24	2.30	3.23	มม.
คอร์ดล่าง	รัศมีเหล็กท่อ	R_3	40.53	39.81	39.14	40.21	มม.
	ความหนาเหล็กท่อ	t_3	4.50	4.50	4.50	4.50	มม.
ความสูงโครงถัก	ความสูงท้องโครงถัก	H	1.65	1.30	1.35	2.53	ม.
	ความสูงยอดโครงถัก	H_{top}	3.58	3.16	3.22	4.63	ม.

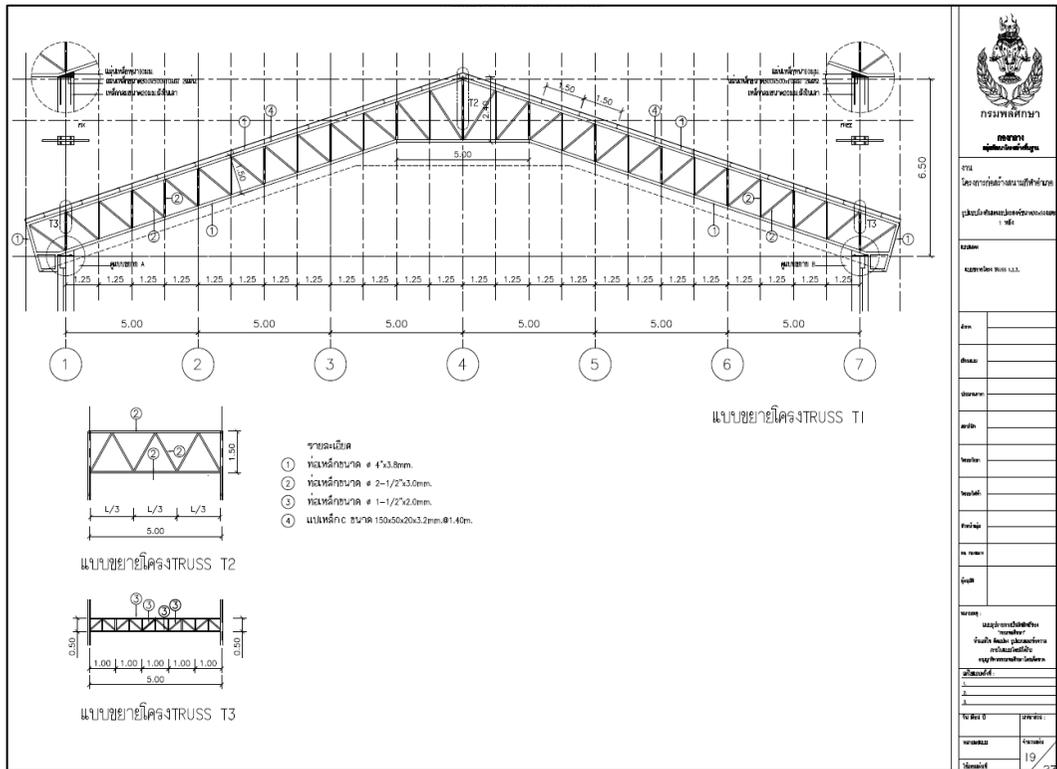
จากการตรวจสอบผลลัพธ์ที่ได้จะมีการลู่เข้า (Convergence) หาจุดต่ำสุดของฟังก์ชันภายใต้เงื่อนไขขีดจำกัดที่กำหนด ซึ่งพบว่าเงื่อนไขที่ควบคุมค่าตอบคือเงื่อนไขทางด้านหน่วยแรงของวัสดุและอัตราส่วนความชะลุด ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลลัพธ์การออกแบบค่าเหมาะสมที่สุด

กลุ่มที่พิจารณา	สมการเงื่อนไขขีดจำกัด	ผลลัพธ์ค่าเหมาะสมที่สุด				หน่วย
		แพรตต์	โฮว์	พัต	ฟิงก์	
คอร์ดบน	$\sigma_{tallow}A_1 - P_{1max} \geq 0$	0	0	0	0	กก.
ค้ายัน	$\sigma_{tallow}A_2 - P_{2max} \geq 0$	0	1207.30	0	0	กก.
คอร์ดล่าง	$\sigma_{callow}A_3 - P_{3max} \geq 0$	0	0	0	0	กก.
ค้ายัน	$\sigma_{callow}A_2 - P_{4max} \geq 0$	380.94	0	830.69	507.86	กก.
คอร์ดบน	$\frac{l_{1max}}{200} - r_1 \leq 0$	-2.23	-2.17	-2.17	-1.88	ชม.
ค้ายัน	$\frac{l_{2max}}{200} - r_2 \leq 0$	0	0	0	0	ชม.
คอร์ดล่าง	$\frac{l_{3max}}{240} - r_3 \leq 0$	-2.34	-2.28	-1.72	-2.30	ชม.
ค้ายัน	$\frac{l_{4max}}{240} - r_2 \leq 0$	0	0	0	0	ชม.
โครงถัก	$\frac{L}{240} - \Delta_{max} \geq 0$	6.49	3.43	3.87	3.24	ชม.
รัศมีท่อ	$10mm \leq R \leq 62.5mm$	40.56, 11.31, 40.53	39.78, 15.15, 39.81	39.69, 21.35, 39.14	40.83, 12.98, 40.21	มม.
ความหนาท่อ	$2.3mm \leq t \leq 4.5mm$	4.50, 3.87, 4.50	4.50, 3.24, 4.50	4.50, 2.30, 4.50	4.50, 3.23, 4.50	มม.
ความสูงโครงถัก	$1.3m \leq H \leq 4.5m$	3.58	3.16	3.22	4.63	ม.

5.2 ผลวิเคราะห์น้ำหนักกรรมชิ้นส่วนโครงถักเบาที่สุดของโครงถักรูปแบบมาตรฐาน

ผลการเปรียบเทียบน้ำหนักระหว่างโครงถักหลังการรูปแบบแพรตต์ที่กรมพลศึกษาใช้ออกแบบดังรูปที่ 4 และการวิเคราะห์ด้วยวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุด ได้ผลเปรียบเทียบดังตารางที่ 4



รูปที่ 4 แบบโครงถักมาตรฐานโรงยิมอเนกประสงค์กรมพลศึกษา

ตารางที่ 4 ผลเปรียบเทียบการออกแบบโครงถักหลังคาแบบมาตรฐาน

วิธีการออกแบบ	ขนาดหน้าตัด ศก.x ความหนา (มม.)			ความสูง (ม.)	น้ำหนักโครงถัก (กก.)
	คอร์ดบน	ค้ำยัน	คอร์ดล่าง		
มาตรฐานกรมพลศึกษา	114.3 x 3.8	76.3 x 3.0	114.3 x 3.8	6.5	1098.4
วิธีหาค่าเหมาะสมที่สุด	114.3 x 3.5	42.7 x 2.3	114.3 x 3.5	3.6	780.5

หมายเหตุ: ศก. หมายถึง เส้นผ่านศูนย์กลาง

5.3 ผลวิเคราะห์รูปแบบที่เหมาะสมที่สุดสำหรับโครงถักหลังคาเหล็กภายใต้ฟังก์ชันสถานะขีดจำกัดทางด้านน้ำหนัก

การหาน้ำหนักเบาที่สุดของโครงถักในงานศึกษานี้จะพิจารณาการตัดเหล็กให้เหลือเศษน้อยที่สุดของชิ้นส่วนร่วมด้วย เนื่องจากในการก่อสร้างจริงนั้นต้องทำการวางแผนการตัดเหล็กเพื่อบริหารจัดการวัสดุและบริหารต้นทุนอย่างมีประสิทธิภาพ โดยเลือกพิจารณาเหล็กรูปพรรณ

ความยาวท่อนละ 6 เมตรและคิดจำนวนการตัดเหล็กโครงถักต่ออาคาร 1 หลังขนาด 30x50 เมตร ความยาวช่วงเสาช่วงละ 5 เมตร ทั้งหมด 10 ช่วง คิดเป็นจำนวน 11 โครงถัก ได้ผลเปรียบเทียบการออกแบบดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลเปรียบเทียบการออกแบบโครงถักหลังคาน้ำหนักเบาที่สุดต่ออาคาร 1 หลัง

รูปแบบโครงถัก	ขนาดหน้าตัด ศก.x ความหนา (มม.)			ความสูง (ม.)	น้ำหนักเหล็กต่ออาคาร 1 หลัง (กก.)
	คอร์ดบน	ค้ำยัน	คอร์ดล่าง		
มาตรฐานกรมพลศึกษา					
แพรตต์	114.3 x 3.8	76.3 x 3.0	114.3 x 3.8	6.5	13670.4
วิธีหาค่าเหมาะสมที่สุด					
แพรตต์	114.3 x 3.5	42.7 x 2.3	114.3 x 3.5	3.6	10115.5
โฮว์	114.3 x 3.5	42.7 x 2.5	114.3 x 3.5	3.2	10325.3
พัต	114.3 x 3.5	42.7 x 2.5	114.3 x 3.5	3.3	9671.8
ฟิงก์	114.3 x 3.5	42.7 x 3.2	114.3 x 3.5	4.7	10163.6

หมายเหตุ: ศก. หมายถึง เส้นผ่านศูนย์กลาง

6. สรุป

จากการศึกษา สามารถสรุปผลได้ ดังนี้

6.1 ผลการเปรียบเทียบน้ำหนักโครงถักหลังคาแบบมาตรฐานที่ออกแบบโดยมาตรฐานกรมพลศึกษาและวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุด พบว่าการใช้วิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดมีน้ำหนักโครงสร้างลดลงร้อยละ 28.9

6.2 รูปแบบที่เหมาะสมที่สุดสำหรับโครงถักหลังคาเหล็กภายใต้ฟังก์ชันสถานะขีดจำกัดทางด้านน้ำหนักต่ออาคาร 1 หลัง คือ โครงถักรูปแบบพัต ตามมาด้วยรูปแบบแพรตต์ แบบฟิงก์ และแบบโฮว์ โดยมีน้ำหนักโครงสร้างลดลงจากรูปแบบโครงถักมาตรฐานร้อยละ 29.3, 26.0, 25.7 และ 24.5 ตามลำดับ

6.3 อัตราส่วนความยาวต่อความลึกที่เหมาะสมที่สุดของโครงถักแต่ละรูปแบบอยู่ในช่วง 6.4 ถึง 9.4

6.4 อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักเศษต่อน้ำหนักรวมของชิ้นส่วนของโครงถักทั้ง 4 รูปแบบอยู่ระหว่างร้อยละ 14.1-15.5 ซึ่งผลที่ต่างกันประมาณร้อยละ 1.4 ของอัตราส่วนดังกล่าว ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงรูปแบบโครงถักที่มีน้ำหนักเบาที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างสูงจากคณาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยรังสิต และกรมพลศึกษา คณะผู้ศึกษาขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

References

- [1] Cholsuk D. Optimum design of mechanical parts. Bangkok, Thailand: Thammasat University; 2009. (In Thai)
- [2] Pathak U, Garg V. Optimization and rationalization of truss design. International Research Journal of Engineering and Technology 2015;2(5):624-36.
- [3] Sangatid S. Theory of structures. Nakhon Ratchasima, Thailand: Suranaree University of Technology; 2020. (In Thai)
- [4] Fisher JM. Industrial buildings: roofs to column anchorage. 2nd ed. Chicago, USA: American Institute of Steel Construction; 1993.
- [5] Jiravacharadej M. Optimal height for steel roof truss design. Suranaree Journal of Science and Technology 2000;7(2):149-53. (In Thai)
- [6] Chetchotisak P. Optimal design and sensitivity analysis of roof truss. KKU Engineering Journal 2011;38(1):1-10. (In Thai)
- [7] Chetchotisak P. Analysis of roof truss using Timoshenko beam model. KKU Engineering Journal 2005;32(6):829-40.
- [8] Anum B, Abubakar J, Sadiku S. Size optimization of elastic steel trusses using Karush-Kuhn-Tucker conditions based on BS5950. Journal of Engineering, Science and Technology 2021;5(2):86-99.
- [9] Maxfield B. Essential PTC® Mathcad Prime® 3.0: a guide for new and current users. Massachusetts, USA: Elsevier; 2014.
- [10] Benker H. Practical use of Mathcad®: solving mathematical problems with a computer algebra system. London, UK: Springer; 1999.

ประวัติผู้เขียนบทความ

นายพันธะ จิวลักษณ์ นักศึกษาระดับปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต 52/347 หมู่บ้านเมืองเอก ถนน
พหลโยธิน ตำบลหลักหก อำเภอเมือง จังหวัดปทุมธานี 12000
E-mail: pantana.j64@rsu.ac.th

งานวิจัยที่สนใจ: Structural Safety Reliability and Engineering Optimization



ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วินัย อวยพรประเสริฐ อาจารย์ประจำภาควิชา
วิศวกรรมโยธา วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต
52/347 หมู่บ้านเมืองเอก ถนนพหลโยธิน ตำบลหลักหก อำเภอเมือง จังหวัด
ปทุมธานี 12000 E-mail: owinai@yahoo.com

งานวิจัยที่สนใจ: Structural Safety Reliability and Construction Materials

Article History:

Received: November 6, 2024

Revised: March 29, 2025

Accepted: April 8, 2025