OPTIMAL HEIGHT FOR STEEL ROOF TRUSS DESIGN

ความสูงที่เหมาะสมในการออกแบบโครงหลังคาเหล็ก

มงคล จิรวัชรเดช[1]

Jiravacharadej, M. (2000). **Optimal Height for Steel Roof Truss Design.** *Suranaree J. Sci Technol. 7:149-153.*

Abstract

This research studied an optimal height for designing of a Pratt type steel roof trusses. The objective was the minimum truss weight with sufficient strength and limited deflection. The steel pipes used in designing are available in the market. For each span length, the truss's height is used as the variable parameter. The truss was analyzed for the member force. The members are designed based on the allowable stress design method. The truss's deflection was checked. The weight of the resulted truss was calculated and compared to find out the optimal height which gives the minimum weight. Finally, the results from each span length were considered together to study the effect of increasing span length on the approaching optimal point behavior.

Keyword : structural optimization, structural design, roof truss design, steel structure.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาความสูงที่เหมาะสมในการออกแบบโครงหลังคาแบบแพรทเพื่อให้ได้โครงหลังคาที่มีน้ำหนักเบาที่สุดโดยที่ยังมีความแข็งแรงเพียงพอและมีการแอ่นตัวไม่เกินข้อกำหนด ท่อเหล็กกลมที่ใช้ออกแบบเป็นหน้าตัดที่ใช้กันอยู่ทั่วไปในท้องตลาด สำหรับแต่ละช่วงความยาวความสูงของโครงจะถูกใช้เป็นพารามิเตอร์แปรเปลี่ยน วิเคราะห์โครงหลังคาเพื่อหาแรงในองค์อาคาร จากนั้นจึงออกแบบองค์อาคารโดยวิธีหน่วยแรงที่ยอมให้ตรวจสอบการแอ่นตัวของโครงหลังคา คำนวณน้ำหนักของโครงที่ได้จากการออกแบบเพื่อเปรียบเทียบหาความสูงที่ให้น้ำหนักน้อยที่สุด หลังจากนั้นนำผลที่ได้จากแต่ละช่วงความยาวมาพิจารณาร่วมกันเพื่อศึกษาผลที่เกิดจากช่วงความยาวที่เพิ่มขึ้นกับพฤติกรรมของการเข้าสู่จุดเหมาะสม

Ph.D., ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อ. เมือง จ. นครราชสีมา 30000.

บทนำ

โครงหลังคาเหล็กเป็นโครงสร้างที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในอาคารที่ต้องการระยะห่างระหว่างเสามาก เช่นในโรงงานอุตสาหกรรม หอประชุม หรือโกดังเก็บสินค้า ในการออกแบบโครงหลังคาเหล็กนั้นผู้ออกแบบจะต้องกำหนดรูปร่างของโครงขึ้นมาก่อนแล้วจึงทำการวิเคราะห์หาแรงที่เกิดขึ้นในองค์อาคาร แล้วจึงออกแบบองค์อาคารแต่ละส่วนให้มีความแข็งแรงเพียงพอและการแอ่นตัวของโครงไม่มากเกินไป ถ้าการกำหนดรูปร่างโครงในเบื้องต้นทำได้อย่างเหมาะสม ปริมาณวัสดุที่ใช้หรือน้ำหนักของโครงจะมีค่าน้อยทำให้ได้โครงหลังคาในราคาที่ต่ำลง

สำหรับแต่ละช่วงความยาวนั้นตัวแปรที่มีผลในการกำหนดรูปร่างโครงหลังคาได้แก่ ความสูงและความชัน แต่เนื่องจากโครงหลังคาแบบแพรทที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นโครงหลังคาท้องแบนที่นิยมใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมนั้นส่วนใหญ่จะมีความชันไม่มากนัก ดังนั้นตัวแปรที่ใช้ในการศึกษานี้จึงมีเพียงความสูงของโครงหลังคาเท่านั้น

จากหลักการเบื้องต้นเกี่ยวกับการดัดของคานจะพบว่าเมื่อโครงหลังคามีความสูงน้อย แรงที่เกิดขึ้นในองค์อาคารจะมีค่ามากทำให้ต้องใช้หน้าตัดที่มีขนาดใหญ่มีน้ำหนักมาก ในทางกลับกันถ้าความสูงเพิ่มขึ้นแรงในองค์อาคารจะน้อยลงทำให้สามารถใช้หน้าตัดที่มีขนาดเล็กและเบาได้ แต่ความยาวโดยรวมขององค์อาคารจะเพิ่มขึ้น ดังนั้นในการศึกษานี้จึงใช้น้ำหนักทั้งหมดของโครงหลังคามาเป็นดัชนีบ่งชี้ถึงความสูงที่เหมาะสมที่สุดของโครงหลังคาที่แต่ละช่วงความยาว

การวิเคราะห์แรงในโครงหลังคา ทำโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ GRASP ซึ่งพัฒนาขึ้นโดยสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย ส่วนการออกแบบองค์อาคารนั้นทำโดยวิธี Allowable Stress Design (ASD) ตามมาตรฐานของ American Institute of Steel Construction (AISC) 9th Edition หน้าตัดเหล็กกลมที่ใช้นั้นเลือกจากที่มีขายในท้องตลาดเมืองไทย

ขอบเขตการวิจัย

1. โครงหลังคาเป็นแบบแพรทช่วงความยาว 10 ถึง 30 เมตร
2. วัสดุมุงหลังคาเป็นกระเบื้องลอนคู่มีน้ำหนัก 14 กิโลกรัม/ตารางเมตร
3. ความลาดเอียงของโครงหลังคา 18 องศา
4. ระยะห่างระหว่างโครงหลังคา 5 เมตร
5. น้ำหนักจร 30 กิโลกรัม/ตารางเมตร
6. หน้าตัดเป็นเหล็กท่อกลมต่อโดยการเชื่อม
7. แป้ใช้เหล็กรีดเย็นรูปตัว C ระยะห่างในแนวระดับ 1.0 เมตร
8. การแอ่นตัวของโครงหลังคาที่ยอมให้เท่ากับ 1/180 ของช่วงความยาวโครง

การวิเคราะห์และออกแบบโครงหลังคา

ช่วงความยาวโครงหลังคาที่ใช้ในการศึกษาจะมีตั้งแต่ 10 ถึง 30 เมตร เพิ่มขึ้นครั้งละ 2 เมตร สำหรับแต่ละช่วงความยาวจะแปรเปลี่ยนความสูงตั้งแต่ 0 ถึง 120 ซม. เพิ่มขึ้นครั้งละ 20 ซม. เนื่องจากโครงหลังคามีความลาดเอียง 18 องศา จึงไม่ต้องคำนึงถึงผลจากแรงลม น้ำหนักบรรทุกจรที่ใช้คือ 30 กก./ตรม. ส่วนน้ำหนักบรรทุกคงที่นั้นได้แก่ วัสดุมุงซึ่งใช้เป็นกระเบื้องลอนคู่หนัก 14 กก./ตรม. และน้ำหนักโครงหลังคาซึ่งต้องสมมุติไปก่อนเนื่องจากยังไม่ได้ออกแบบหน้าตัด คำนวณน้ำหนักบรรทุกที่กระทำลงจุดต่อของโครงถักและทำการวิเคราะห์แรงในองค์อาคารโดยใช้โปรแกรม Grasp เพื่อความสะดวกในการออกแบบและก่อสร้างจึงแบ่งองค์อาคารออกเป็นสองกลุ่มคือ 1) ท่อนจันทันและขื่อ และ 2) ท่อนยึดดิ่งและทแยง ในการออก

แบบจะเลือกองค์อาคารที่รับแรงมากที่สุดในแต่ละกลุ่มมาเป็นตัวแทนในการออกแบบ หลังจากเลือกหน้าตัดสำหรับแต่ละกลุ่มแล้วจึงคำนวณน้ำหนักที่แท้จริงของโครงหลังคาใหม่เพื่อทำการวิเคราะห์ตรวจสอบอีกครั้ง

สมการเป้าหมาย

เพื่อที่จะหาความสูงที่เหมาะสมเพื่อให้โครงหลังคามีน้ำหนักน้อยที่สุด ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงและน้ำหนักของโครงหลังคาสามารถถูกเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$Find\ h = \{A\}\ which$$

$$Minimize\ w(h) = \sum_{i=1}^{n} \rho A_i L_i \qquad (1)$$

เมื่อ w คือน้ำหนักของโครงหลังคา (กก.)

ρ คือหน่วยน้ำหนักของเหล็ก A36 มีค่าเท่ากับ 7850 กก./ ม.^{3}

A_i คือพื้นที่หน้าตัดของแต่ละองค์อาคาร(ซม.2)

L_i คือความยาวขององค์อาคารแต่ละอัน (เมตร)

n คือจำนวนองค์อาคารทั้งหมดของโครงหลังคา

h คือความสูงโครงหลังคา (ซม.) (ดูรูปที่ 1 ประกอบ)

อสมการขอบเขต

หน้าตัดเหล็กท่อกลม สำหรับหน้าตัดองค์อาคารจะใช้หน้าตัดที่มีขายในท้องตลาดมีดังนี้

$$A(d,t) = \{(21.7,2.0), (27.2,2.0), (27.2,2.3), (34.0,2.3), (42.7,2.3), (42.7,2.8), (48.6,2.8), (48.6,3.2), (60.5,3.2), (76.3,3.2), (89.1,2.8), (89.1,3.2), (114.3,4.5)\} \qquad (2)$$

เมื่อ A คือพื้นที่หน้าตัดขององค์อาคาร (ซม.^{2})

d คือรัศมีวงนอกของหน้าตัดท่อกลม (มม.)

t คือความหนาของหน้าตัดท่อกลม (มม.)

ขนาดสัมพัทธ์ขององค์อาคาร

สำหรับการออกแบบในทางปฏิบัติแล้วขนาดของขื่อและจันทันควรมีขนาดเท่ากันและควรมีขนาดใหญ่กว่าท่อนยึดดิ่งและทแยงเพื่อทำการเชื่อมประกอบองค์ อาคารเป็นโครงหลังคาได้อย่างง่ายดาย และมีความสวยงามเขียนเป็นสมการได้คือ

$$A_{top}(d, t) \text{ และ } A_{bot}(d, t) = \text{Maximum Cross Section Area } \{A_{top}, A_{bot}\} \qquad (3)$$

และ

$$A_{top}(d, t) \text{ และ } A_{bot}(d, t) \geq (A_{branch}(d, t) \qquad (4)$$

เมื่อ A_{top} คือพื้นที่หน้าตัดของจันทัน (ซม^2)

A_{bot} คือพื้นที่หน้าตัดของขื่อ (ซม^2)

A_{branch} คือพื้นที่หน้าตัดของท่อนยึดดิ่งยึดทแยง(ซม^2)

ความสูงของโครงหลังคา

สำหรับความสูงของโครงหลังคา ในการศึกษานี้จะศึกษาอยู่ในช่วง 0 ถึง 120 ซม. เนื่องจากเป็นขนาดที่นิยมใช้กันทั่วไป และทำให้ขนาดของโครงหลังคา มีความเหมาะสมกะทัดรัด

$$0 \text{ ซม.} \leq h \leq 120 \text{ ซม.} \qquad (5)$$

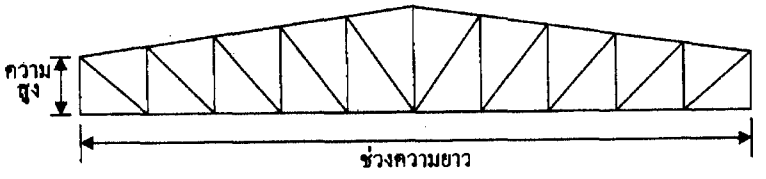
เมื่อ h คือ ความสูงของโครงหลังคา (ซม.)

ช่วงความยาวของโครงหลังคา

สำหรับความยาวของโครงหลังคา ในการศึกษานี้จะศึกษาอยู่ในช่วง 0 ถึง 30 ม. เนื่องจากเป็นขนาดที่ใช้ในการก่อสร้างทั่วไป

$$10 \text{ เมตร} \leq L \leq 30 \text{ เมตร} \qquad (6)$$

เมื่อ L คือความยาวของโครงหลังคา (เมตร)



รูปที่ 1 โครงหลังคาแบบแพรท

การแอ่นตัวของโครงหลังคา

สำหรับการแอ่นตัวในแนวดิ่งที่ยอมให้ของโครงหลังคาถูกจำกัดอยู่ที่ความยาวโครงหลังคาหารด้วย 180 ตามที่วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยกำหนดไว้

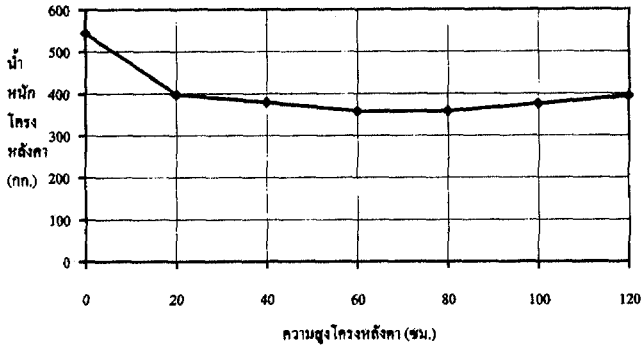
$$\delta_{y\,max} < L/180 \qquad (7)$$

เมื่อ $\delta_{y\,max}$ คือระยะการแอ่นตัวในแนวดิ่ง (มม.)

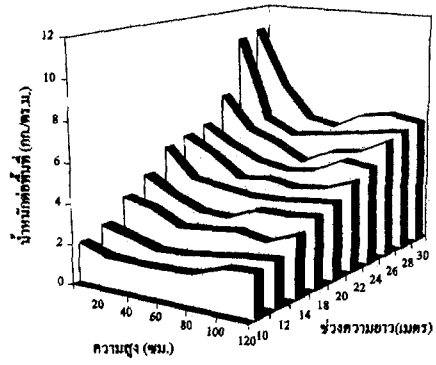
ผลการวิจัย

ในรูปที่ 2 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงและน้ำหนักโครงหลังคาสำหรับช่วงความยาว 20 เมตร ซึ่งจะเห็นได้ว่าถ้าความสูงมีค่าน้อยจะทำให้แรงในองค์อาคารมีค่ามากทำให้ต้องเลือกหน้าตัดที่มีขนาดใหญ่จึงส่งผลให้โครงหลังคาที่ได้มีน้ำหนักมากเกินไป ในทางตรงกันข้ามถ้าเพิ่มความสูงมากไปแม้ว่าแรงในองค์อาคารน้อยลงทำให้หน้าตัดที่เลือกมีขนาดเล็กลง แต่ก็จะไปเพิ่มความยาวขององค์อาคารทำให้น้ำหนักมากขึ้นได้สำหรับโครงหลังคาที่ช่วงความยาว 20 เมตรนี้ ความสูงที่เหมาะสมที่ทำให้โครงหลังคามีน้ำหนักน้อยที่สุดจะอยู่ที่ 60 ซม.

เมื่อนำกราฟที่ได้จากแต่ละช่วงความยาวมาเปรียบเทียบกันดังในรูปที่ 3 โดยแสดงในรูปน้ำหนักต่อพื้นที่เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบช่วงความยาวที่ต่างกันได้ จากการศึกษาโครงหลังคาที่มีความยาว 10 ถึง 30 เมตร พบว่ามีความสูงที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 40 ถึง 80 เซนติเมตร ผลจากการศึกษาหาความสูงที่เหมาะสมของโครงหลังคาที่ความยาวต่าง ๆ กัน สามารถสรุปได้ในตารางที่ 1 นอกจากนั้นยังพบว่าเมื่อช่วงความยาวมากขึ้นน้ำหนักโครงหลังจะมีค่ามากขึ้นและความแปรผันของน้ำหนักเมื่อความสูงเปลี่ยนไปจะมีค่ามากขึ้นเช่นกัน



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงและน้ำหนักโครงหลังคาช่วงยาว 20 เมตร



รูปที่ 3 กราฟแสดงน้ำหนักต่อพื้นที่ของโครงหลังคาที่ช่วงความยาวต่าง ๆ

ตารางที่ 1 แสดงน้ำหนักโครงหลังคาที่มีความสูงที่เหมาะสมของแต่ละช่วงความยาวโครงหลังคา

ความยาวโครงหลังคา (2)	ความสูงที่เหมาะสม (ซม.)	หน้าตัดที่ออกแบบได้ อันทันและขื่อ d (มม.)	t(มม.)	ยึดดิ่งและทแยง d (มม.)	t(มม.)	น้ำหนักโครงหลังคาเหล็ก (กก.)
10	40	42.7	2.3	21.7	2.0	1.47
12	40	42.7	2.3	27.2	2.0	1.69
14	40	48.6	2.8	34	2.3	2.49
16	60	42.7	2.8	34	2.3	2.56
18	60	48.6	2.8	34	2.3	2.84
20	60	48.6	2.8	42.7	2.3	3.58
22	80	48.6	3.2	42.7	2.3	3.89
24	60	60.5	3.2	42.7	2.3	4.24
26	60	60.5	3.2	42.7	2.3	4.39
28	40	76.3	3.2	42.7	2.8	5.37
30	60	76.3	3.2	42.7	2.8	5.76

สรุป

ความสูงที่เหมาะสมของโครงหลังคาที่มีช่วงความยาวตั้งแต่ 10 ถึง 30 เมตร จะอยู่ในช่วง 40-80 เซนติเมตร ซึ่งส่วนใหญ่ความสูงที่เหมาะสมของโครงหลังคาจะมีค่าเท่ากับ 60 เซนติเมตร เมื่อช่วงความยาวมากขึ้นน้ำหนักของโครงต่อพื้นที่จะมีค่ามากขึ้นและมีความแปรปรวนต่อการเปลี่ยนความสูงมากขึ้น ทำให้การเลือกใช้ความสูงที่เหมาะสมสามารถช่วยประหยัดได้มากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คุณอาทิตย์ กระจ่าง คุณเดชา ศิริประยูรศักดิ์ และคุณประเวศน์ อมรชีวศิลปกุล ผู้ช่วยวิจัย

เอกสารอ้างอิง

วินิต ช่อวิเชียร (2539). การออกแบบโครงสร้างเหล็ก. กรุงเทพมหานคร.

ต่อกุล กาญจนาลัย. (2542). การประยุกต์ใช้โครงสร้างเหล็กและแนวทางการออกแบบ. วิศวกรรมสาร. ปีที่ 52. เล่มที่ 6. หน้า 52.

J.C. Smith (1996). Structural Steel Design. John Wiley & Sons., New York.

Singiresu S. Rao. Engineering Optimization: Theory and Practice. 3rd Edition. John Wiley & Sons., New York.