

ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายนอก ต่อโครงถักเหล็กขึ้นรูปเย็นในบ้านพักอาศัย

Effects of External Temperature Changes on Cold-Formed Steel Trusses in Residential Buildings

กิริติญา เย็นวาริ^{1,*} วิโรจน์ บุญญภิญโญ² และ ณัฐพร นุตยะสกุล³

^{1,2}ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต จ.ปทุมธานี

³กองวิชาวิศวกรรมโยธา ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า จ.นครนายก

*Corresponding author; E-mail address: keeratiya628@gmail.com

บทคัดย่อ

การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายนอกมีผลโดยตรงต่อพฤติกรรมของโครงถักเหล็กขึ้นรูปเย็น (Cold-Formed Steel Truss) โดยทำให้เกิดการยืดขยายและหดตัวตามคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุ เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงระหว่างกลางวันและกลางคืน ความเค้น (Stress) และความเครียด (Strain) จากการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนที่สะสมในองค์อาคารอาจส่งผลกระทบต่อความสามารถในการใช้งานและความเสถียรภาพของโครงสร้าง งานวิจัยนี้ศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่มีต่อพฤติกรรมของโครงถักเหล็กขึ้นรูปเย็นสำหรับบ้านพักอาศัย โดยจำแนกการวิเคราะห์ตามลักษณะของจุดรองรับ ได้แก่ จุดรองรับแบบยึดหมุนเคลื่อนที่ไม่ได้ (Pin Support) และจุดรองรับแบบยึดหมุนเคลื่อนที่ได้ (Roller Support) การศึกษานี้ดำเนินการโดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) เพื่อเปรียบเทียบผลของการยืดขยายและหดตัวภายใต้เงื่อนไขจุดรองรับที่แตกต่างกัน รวมถึงศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้น ความเครียด และการเคลื่อนตัวของโครงถัก ผลการศึกษาให้ข้อมูลเชิงลึกในการเลือกใช้รูปแบบของจุดรองรับที่เหมาะสม เพื่อให้โครงถักเหล็กขึ้นรูปเย็นสามารถรองรับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีพฤติกรรมสอดคล้องกับข้อกำหนดของการออกแบบทางวิศวกรรม

คำสำคัญ: ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ, เหล็กขึ้นรูปเย็น, โครงถักเหล็ก

Abstract

External temperature variations significantly affect the behavior of cold-formed steel trusses by inducing thermal expansion and contraction according to the material's mechanical properties. As temperatures fluctuate between daytime and nighttime, the resulting thermal stresses and strains accumulated within the structure can impact the serviceability and stability of the truss system. This study

investigates the effects of temperature changes on the performance of cold-formed steel trusses used in residential buildings. The analysis categorizes the boundary conditions into two types of supports: pin supports and roller supports. Finite Element Method (FEM) is employed to compare the deformation behavior under different support conditions, focusing on the relationships between stress, strain, and displacement of the truss members. The findings provide practical insights into selecting appropriate support configurations to ensure that cold-formed steel trusses effectively accommodate thermal variations while maintaining their structural behavior in accordance with engineering design specifications.

Keywords: Effects of Temperature, Cold-Formed Steel, Steel Truss, Thermal Stress, Thermal expansion and contraction, Finite Element Method (FEM), serviceability and stability

1. บทนำ

ปัจจุบันผู้ประกอบการอสังหาริมทรัพย์ที่ก่อสร้างอาคารประเภทบ้านพักอาศัยนิยมเลือกใช้โครงหลังคาสำเร็จรูปที่ผลิตจากเหล็กขึ้นรูปเย็น (Cold-Formed Steel Framing) เป็นโครงสร้างหลักสำหรับรองรับวัสดุผนังหลังคา จากประสบการณ์ของผู้วิจัยในการทำงานที่เกี่ยวข้องกับโครงหลังคาสำเร็จรูปดังกล่าว พบว่ามีข้อร้องเรียนเกี่ยวกับเสียงที่เกิดขึ้นภายใต้โครงหลังคา ซึ่งก่อให้เกิดความวิตกกังวลเกี่ยวกับความแข็งแรงของโครงถักเหล็กขึ้นรูปเย็น รวมถึงสร้างความรบกวนต่อความเป็นอยู่ของผู้อยู่อาศัย

เสียงที่เกิดขึ้นอาจมีสาเหตุมาจากหลายปัจจัย หนึ่งในประเด็นสำคัญที่มักพบจากการตรวจสอบหน้างาน คือ ความขัดแย้งระหว่างรูปแบบจุดรองรับของโครงถักที่ติดตั้งจริงกับรูปแบบจุดรองรับที่กำหนดไว้ในโปรแกรมออกแบบโครงหลังคาสำเร็จรูป โดยทั่วไป อาคารบ้านพักอาศัยในประเทศ

ไทยมักตั้งอยู่ในพื้นที่กลางแจ้ง ซึ่งทำให้โครงสร้างเหล็กสัมผัสกับพลังงานความร้อนจากอุณหภูมิอากาศที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาของวัน

ผู้วิจัยจึงตั้งข้อสมมติฐานว่า นอกจากความไม่สอดคล้องของจุดรองรับที่ติดตั้งจริงกับแบบการออกแบบแล้ว พลังงานความร้อนจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิยังเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากพลังงานความร้อนทำให้เกิดการยืดขยายและหดตัวตามคุณสมบัติเชิงกลของเหล็ก ซึ่งส่งผลให้เกิดแรงภายใน ได้แก่ ความเค้นและความเครียด เพิ่มขึ้นจากสภาวะปกติ อันอาจกระทบต่อพฤติกรรมการใช้งานของโครงสร้างในระยะยาว

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากงานวิจัยที่เกี่ยวกับการศึกษาพฤติกรรมของโครงถักเหล็กขึ้นรูปเย็นที่ได้รับผลจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิตามสภาพอากาศ ยังไม่มีการศึกษาอย่างแพร่หลาย ผู้วิจัยจึงได้ทำการค้นคว้าทฤษฎีและงานวิจัยฉบับอื่นที่มีเนื้อหาใกล้เคียงกับหัวข้อวิจัยที่กำลังจะศึกษา ได้ดังนี้

2.1 เหล็กขึ้นรูปเย็น (Cold-Formed Steel)

เหล็กขึ้นรูปเย็น (Cold-Formed Steel) คือ เหล็กที่ผ่านกระบวนการรีดหรือพับขึ้นรูปที่อุณหภูมิห้อง เพื่อให้ได้รูปร่างรูปทรงตามที่ต้องการ เช่น เหล็กรูปตัวยู (U), รูปตัวซี (C), และตัวแซด (Z) จากเหล็กแผ่นที่อาจผ่านกระบวนการรีดร้อน (Hot Rolled Coil) หรือรีดเย็น (Cold Rolled Coil) ซึ่งเหล็กรีดเย็นเป็นเหล็กแผ่นที่ถูกบีบให้บางลงโดยไม่ใช้ความร้อน ช่วยให้มีความคมชัดในการรับแรงดึงสูงขึ้น เนื่องจากกระบวนการรีดเย็นทำให้โครงสร้างจุลภาค (Microstructure) ของเหล็กมีเกรนละเอียดขึ้น

2.2 การยืดขยายและหดตัวของวัสดุ (Thermal Expansion)

การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่มีผลต่อโครงสร้างเหล็กทำให้เกิดการยืดขยายหรือหดตัวตามคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุ เมื่อชิ้นงานถูกต้านทานการยืดหรือหดตัว จะทำให้เกิดแรงภายใน ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อพฤติกรรมของโครงสร้าง โดยเฉพาะในโครงสร้างที่มีการต้านทานการขยายตัวจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ซึ่งเรียกว่า Self-Straining หรือการเคลื่อนตัวของโครงสร้างโดยไม่มีแรงภายนอกกระทำ

2.3 การถ่ายโอนความร้อน (Heat Transfer)

ในการศึกษาการตอบสนองของโครงสร้างเหล็กต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ จำเป็นต้องอ้างอิงถึงทฤษฎีการถ่ายโอนความร้อน (Heat Transfer) ของ Fourier ซึ่งครอบคลุมถึงการนำความร้อน (Conduction), การพาความร้อน (Convection) และการแผ่รังสี (Radiation) โดยการถ่ายโอนความร้อนจากแสงอาทิตย์จะมีผลต่ออุณหภูมิของโครงสร้างเหล็กและการขยายตัวของมัน ซึ่งต้องคำนึงถึงผลกระทบของการเกิดร่มเงาที่สามารถส่งผลต่อการถ่ายโอนความร้อนได้เช่นกัน

2.4 การศึกษา Thermal Analysis Model

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์โมเดลการถ่ายโอนความร้อน (Thermal Analysis Model) ที่เกี่ยวข้องกับการตอบสนองต่ออุณหภูมิของโครงสร้างเหล็กขนาดใหญ่ เช่น โครงถักเหล็กแบบสองชั้น (Double-Layer Steel Truss) ได้รับการศึกษาโดยใช้ทฤษฎีการถ่ายโอนความร้อนของ Fourier เพื่อนำไปใช้ในการแก้ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมของโครงสร้างในสภาวะอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง โดยงานวิจัยของ Shichao Wang, Gang Zhang, Jie Li, Yubo Wang, และ Bohao Chen (2023) ได้เสนอวิธีการใช้โปรแกรม Ansys เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบจากอุณหภูมิและร่มเงาต่อโครงสร้างเหล็กที่มีขนาดใหญ่

ผลการวิเคราะห์จากงานวิจัยของ Shichao Wang และคณะ (2023) พบว่าผลการคำนวณอุณหภูมิที่มีผลต่อโครงสร้างเหล็กมีความน่าเชื่อถือเมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดสอบจาก Tong, M (2000) โดยค่าคลาดเคลื่อนมีเพียง 2.2%

2.5 การศึกษาเกี่ยวกับการถ่ายโอนความร้อนจากแสงอาทิตย์

การศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยการถ่ายโอนความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่มีผลต่อพฤติกรรมของโครงสร้างเหล็กได้แก่การแผ่รังสีแสงอาทิตย์, รังสีความยาวคลื่นยาว, การถ่ายโอนความร้อนแบบพาความร้อน (Convective Heat Transfer) และผลกระทบจากร่มเงา ซึ่งได้รับการศึกษาจากงานวิจัยของ Wucheng Xu, Deshen Chen, และ Hongliang Qian (2020)

2.6 การศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของเหล็กขึ้นรูปเย็น

การศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของเหล็กขึ้นรูปเย็น G550 ภายใต้การทนไฟ พบว่าในกรณีของการวิเคราะห์ผลจากอุณหภูมิในสภาวะ transient state มีค่าที่เหมาะสมกว่าในกรณี steady state ตามผลการศึกษาในบทความของ Chen Wei และ Ye Jihong (2012)

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมของโครงถักเหล็กขึ้นรูปเย็นภายใต้การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ รวมถึงการเลือกใช้รูปแบบของจุดรองรับที่แตกต่างกันจะส่งผลกระทบต่อค่า ความเค้น (Stress) และความเครียด (Strain) รวมถึงการเคลื่อนตัวของโครงถักเหล็ก การวิเคราะห์โดยใช้ Finite Element Method (FEM) ซึ่งคำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในสภาพแวดล้อมจริง (เช่น สภาพอากาศในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล) จะช่วยให้ได้ผลที่เหมาะสมในการเลือกใช้จุดรองรับที่สามารถลดปัญหาการเคลื่อนตัวของโครงถักเหล็กและเสริมความเสถียรในการใช้งาน

3. วิธีการศึกษาและการวิเคราะห์ผลอุณหภูมิ

วัตถุประสงค์หลักของโครงการวิจัยฉบับนี้คือการศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายนอกที่มีผลต่อพฤติกรรมของโครงถักเหล็กชั้นรูปเย็นในบ้านพักอาศัย โดยเน้นการเปรียบเทียบพฤติกรรมของโครงถักเหล็กที่มีจุดรองรับต่างกัน ได้แก่ แบบ Pin Support (จุดรองรับแบบยึดหมุนเคลื่อนที่ได้) และ Roller Support (จุดรองรับแบบยึดหมุนเคลื่อนที่ได้) เพื่อศึกษาผลกระทบของการยืดขยายและหดตัวที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ส่งผลต่อค่าความเค้น (Stress), ความเครียด (Strain) และการเคลื่อนตัว (Displacement) ของโครงถักเหล็ก โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม ANSYS ซึ่งใช้เทคนิค Finite Element Method (FEM) ในการจำลองพฤติกรรมของโครงถักเหล็กชั้นรูปเย็นที่ได้รับอิทธิพลจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายนอก

เพื่อให้ผลการวิเคราะห์สอดคล้องกับสภาพความจริง การศึกษานี้จะทำการตรวจวัดอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในชิ้นงานโครงถักเหล็ก โดยนำข้อมูลอุณหภูมิที่วัดได้มาใช้ในการประยุกต์วิเคราะห์ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในขั้นตอนการศึกษาพฤติกรรมขององค์อาคาร ในส่วนของการตรวจวัดผลการเคลื่อนตัวและค่าความเครียดที่เกิดขึ้นในโครงถักเหล็กของบ้านพักอาศัยในแบบจำลองนั้น ผลการศึกษาเหล่านี้จะถูกนำไปใช้ในการเปรียบเทียบระหว่างค่าการเคลื่อนตัวและค่าความเครียดที่ได้จากการทดสอบจริง และผลการวิเคราะห์ที่ได้จากโปรแกรม ANSYS ในอนาคต

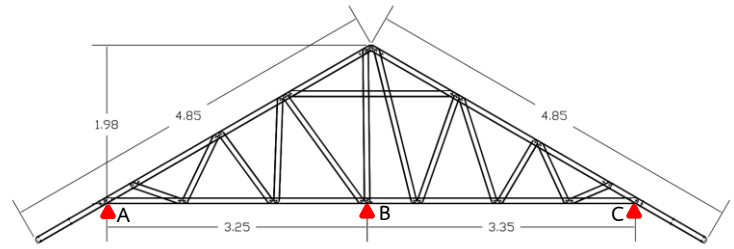
ขั้นตอนในการเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดผลอุณหภูมิของแบบจำลองโครงถักเหล็กชั้นรูปเย็นและการวิเคราะห์ข้อมูล จะแสดงรายละเอียดในแต่ละหัวข้อต่อไปนี้

3.1 ชิ้นงานสำหรับตรวจวัดอุณหภูมิ

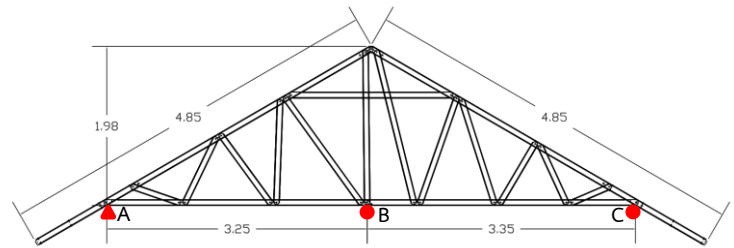
โครงถักเหล็กชั้นรูปเย็นที่ใช้ศึกษาในโครงการวิจัยฉบับนี้ มี 2 รูปแบบลักษณะที่มีจุดรองรับของโครงถักที่ต่างชนิดกัน คือ โครงถักเหล็ก Sample – S1 สำหรับการติดตั้งจุดรองรับในรูปแบบ Pin Support ซึ่งเป็นไปตามการติดตั้งของงานก่อสร้างในปัจจุบัน และ โครงถักเหล็ก Sample – S2 สำหรับการติดตั้งจุดรองรับในรูปแบบ Roller Support ซึ่งเป็นไปตามการออกแบบในปัจจุบัน ดังแสดงในรูปที่ 1 และ 2 ตามลำดับ และแสดงรายละเอียดของตำแหน่งจุดรองรับ ตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตำแหน่งของจุดรองรับ

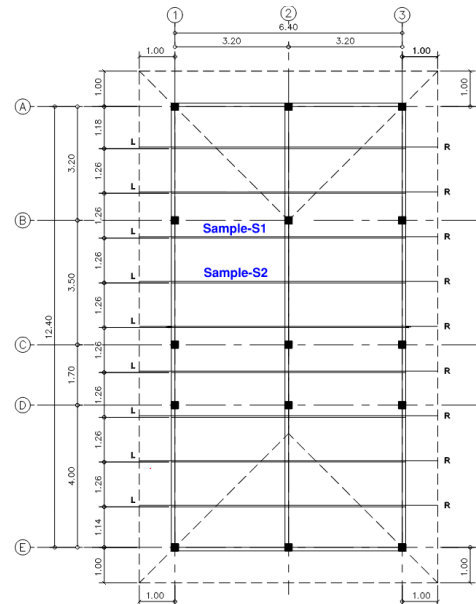
ชิ้นงานตัวอย่าง	ชนิดของจุดรองรับที่จุดต่อ		
	A	B	C
S1	Pin	Pin	Pin
S2	Pin	Roller	Roller



รูปที่ 1 โครงถักเหล็ก Sample – S1 สำหรับการติดตั้งจุดรองรับแบบยึดหมุนเคลื่อนที่ได้ (Pin Support) หน่วยของความยาวเป็นเมตร

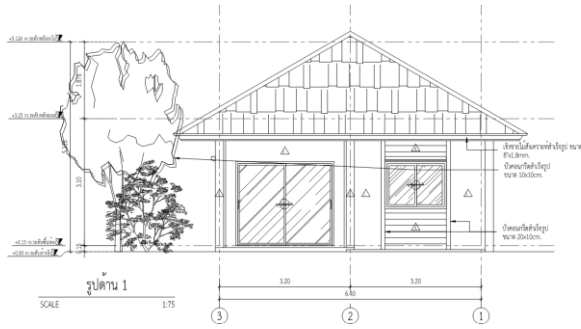


รูปที่ 2 โครงถักเหล็ก Sample – S2 สำหรับการติดตั้งจุดรองรับแบบยึดหมุนเคลื่อนที่ได้ (Roller Support) หน่วยของความยาวเป็นเมตร



รูปที่ 3 แพลนโครงสร้างหลังคา

โครงถักเหล็กทั้งสองเป็นส่วนหนึ่งของโครงหลังคาเหล็กสำหรับติดตั้งในแบบจำลองอาคารบ้านพักอาศัย ดังแสดงในแผนของโครงสร้างหลังคาในรูปที่ 3 ที่จะทำการศึกษาต่อในอนาคต โดยอาคารบ้านพักอาศัยที่ทำการศึกษานี้มีลักษณะเป็นหลังคาทรงปั้นหยา ขนาดของหลังคา คือ กว้าง 8.68 เมตร ลึก 14.68 เมตร และสูง 5.25 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 4 ซึ่งที่ตั้งของอาคารอยู่ในสภาพแวดล้อมในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล



รูปที่ 4 แบบจำลองอาคารบ้านพักอาศัย สำหรับการทำทดสอบ

3.2 อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ

สำหรับโครงการวิจัยฉบับนี้ ใช้อุปกรณ์บันทึกข้อมูลอุณหภูมิ (Data logger) ยี่ห้อ KYOWA model EDX-100A ดังแสดงในรูปที่ 5 และ Thermal gauge ยี่ห้อ Kyowa model Type K Thermocouple, Range of -270°C to $1,290^{\circ}\text{C}$ สำหรับการตรวจวัดค่าอุณหภูมิของชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 5 Data logger: KYOWA model EDX-100A



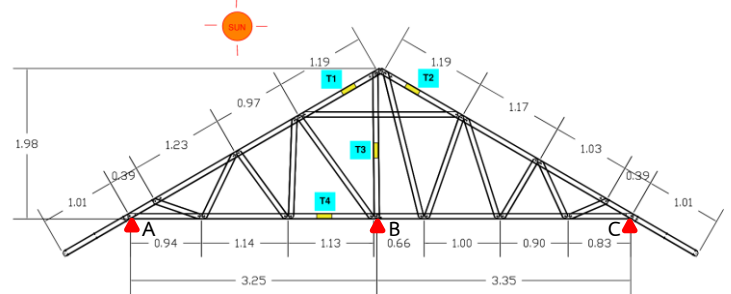
รูปที่ 6 Thermal gauge: Kyowa model Type K Thermocouple, Range of -270°C to $1,290^{\circ}\text{C}$

3.3 ขั้นตอนการตรวจวัดอุณหภูมิ

ติดตั้ง Thermal gauge บนชิ้นงานของโครงถักเหล็ก ดังแสดงในรูปที่ 7 โดยที่ตำแหน่งของการติดตั้งอุปกรณ์การวัดบนชิ้นงานสะท้อนถึงการตรวจวัดค่าของอุณหภูมิของทั้งองค์อาคาร โดยการพิจารณาค่านี้ถึงตำแหน่งของดวงอาทิตย์ร่วมด้วย

การบันทึกค่าข้อมูลจะควบคุมผ่านเครื่องคอมพิวเตอร์ Notebook โดยที่บันทึกข้อมูลตลอด 24 ชั่วโมง ซึ่งจะใช้ Data logger ในการเก็บค่าข้อมูล

จาก Thermal Gauge โดยการเก็บข้อมูลของอุณหภูมิจะอ่านค่าในหน่วยขององศาเซลเซียสต่อวินาที เพื่อตรวจสอบลักษณะการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิว่าเป็นอย่างไร ซึ่งการเก็บข้อมูลของอุณหภูมิจะมีระยะเวลา 6 วันของเดือนมีนาคม 2568 แบ่งการวิเคราะห์ข้อมูลของอุณหภูมิทุกๆ 48 ชั่วโมง เพื่อดูความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิสภาพอากาศในแต่ละวันที่จะส่งผลต่ออุณหภูมิที่ตรวจวัดบนชิ้นงานร่วมด้วย



รูปที่ 7 ตำแหน่งติดตั้ง Thermal gauge

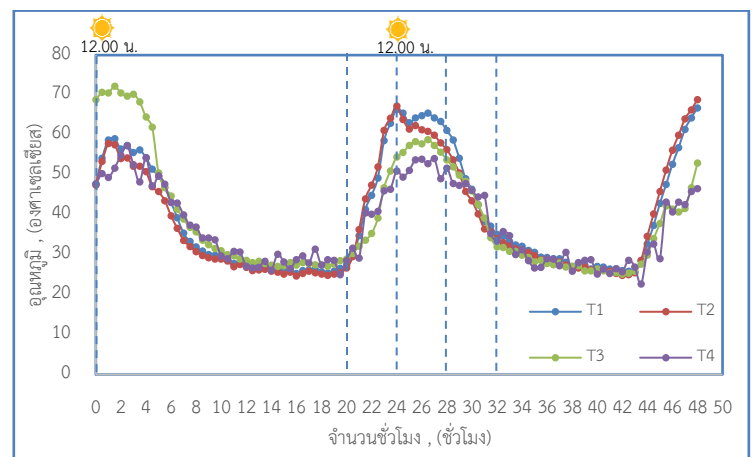


รูปที่ 8 ตัวอย่างตำแหน่งการติดตั้ง Thermal gauge บนชิ้นงาน

3.4 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ

ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่ชิ้นงานโครงถักเหล็กขึ้นรูปเย็นจากการวิเคราะห์ผลข้อมูลการตรวจวัดอุณหภูมิที่ชิ้นงาน เป็นดังนี้

3.4.1 ตำแหน่งของดวงอาทิตย์กับอุณหภูมิที่ชิ้นงาน



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของดวงอาทิตย์กับอุณหภูมิบนชิ้นงาน

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของดวงอาทิตย์กับอุณหภูมิบน
ชั้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 9 พิจารณาอุณหภูมิบนชั้นงานเมื่อดวงอาทิตย์อยู่
ในตำแหน่งทิศตะวันออกและทิศตะวันตก ดังแสดงตำแหน่งของดวงอาทิตย์
ในรูปที่ 7 วิเคราะห์ข้อมูลอุณหภูมิที่ช่วงเวลา 48 ชั่วโมง ในระยะเวลา 6
วัน โดยชั่วโมงที่ 0 แสดงถึงเวลา 12.00 น. หรือเที่ยงวัน พบว่า ลักษณะ
ของกราฟอุณหภูมิภายใน 24 ชั่วโมง มีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะที่คงที่
คือ ช่วงเช้าถึงเที่ยงวันอุณหภูมิที่ชั้นงานมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นสูงสุด ซึ่ง
ตำแหน่งของดวงอาทิตย์จะอยู่ในทิศตะวันออก ในขณะที่ช่วงหลังเที่ยงวัน
ตำแหน่งของดวงอาทิตย์จะเคลื่อนตัวไปทางทิศตะวันตก อุณหภูมิที่ชั้นงาน
จะยังอยู่ในช่วงใกล้เคียงกับอุณหภูมิของช่วงเที่ยงวัน โดยอยู่ในชั่วโมงที่ 24-
28 หลังจากนั้นอุณหภูมิที่ชั้นงานมีแนวโน้มที่จะลดลงอย่างต่อเนื่องหลังดวง
อาทิตย์ตก เพื่อการวิเคราะห์กราฟข้อมูลอุณหภูมิให้เข้าใจได้ง่าย จะ
พิจารณาอุณหภูมิบนชั้นงาน T1 ที่อยู่ฝั่งทิศตะวันออกเทียบกับชั้นงาน T2
ที่อยู่ฝั่งทิศตะวันตก ดังแสดงตำแหน่งของชั้นงานตามรูปที่ 7 ณ อุณหภูมิ
ช่วงดวงอาทิตย์ขึ้นและดวงอาทิตย์ตก คือ ชั่วโมงที่ 20-24, 24-28 และ 28-
32 มีข้อสรุปดังนี้ ชั่วโมงที่ 20-24 หรือ เวลา 08.00 น. - 12.00 น. เป็น
ช่วงเวลาที่ดวงอาทิตย์อยู่ในตำแหน่งทิศตะวันออก ซึ่งชั้นงานที่อยู่ฝั่ง
เดียวกับดวงอาทิตย์ขึ้น คือ T1 ตรวจวัดอุณหภูมิเริ่มต้นที่ 25 องศา
เซลเซียสและเพิ่มขึ้นสูงไปจนถึง 67 องศาเซลเซียสในตอนเที่ยงวัน ซึ่งเป็น
อุณหภูมิที่สูงที่สุดของวัน ขณะที่ชั้นงานของฝั่งทิศตะวันตก คือ T2 มี
อุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 24 องศาเซลเซียสไปจนถึง 66 องศาเซลเซียสในตอน
เที่ยงวัน หลังเวลา 12.00 น. - 16.00 น. หรือชั่วโมงที่ 24-28 ดวงอาทิตย์
เคลื่อนตัวมาทางฝั่งทิศตะวันตก ชั้นงานที่อยู่ฝั่งทิศตะวันออก T1 ยังคง
อุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 57 องศาเซลเซียส ขณะที่ชั้นงานที่อยู่ฝั่งเดียวกับดวง
อาทิตย์ ณ ช่วงเวลานี้ T2 คงอุณหภูมิอยู่ที่ 61 องศาเซลเซียส ซึ่งค่า
อุณหภูมิที่ลดลงมาของชั้นงานทั้งสอง ยังมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่
ตรวจวัดได้ในช่วงเที่ยงวัน จากรูปที่ 9 กราฟความสัมพันธ์ฯ สะท้อนให้เห็น
ว่า การเคลื่อนตำแหน่งตามธรรมชาติของดวงอาทิตย์ไม่ส่งผลต่อการ
เปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิบนชั้นงานอย่างฉับพลัน ค่าความเปลี่ยนแปลง
ของอุณหภูมิบนชั้นงานอยู่ในช่วงเพียง 1-5 องศาเซลเซียสเท่านั้นของแต่ละ
ชั่วโมงที่มีการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของอุณหภูมิในระหว่างการตรวจวัด
อุณหภูมิที่อยู่บนชั้นงานเป็นอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจากการสะสมความร้อนอย่าง
ต่อเนื่องจากการถ่ายโอนพลังงานความร้อนภายใต้หลังคา ซึ่งจะเห็นได้
ชัดเจนจากอุณหภูมิที่ชั้นงาน T3และT4 ที่มีอุณหภูมิบนชั้นงานต่ำกว่า T1
และT2 อย่างเห็นได้ชัด เกิดจากที่ระดับความสูงของชั้นงานทั้งสองอยู่ใน
ระดับที่ต่ำกว่า T1และT2 ทำให้ได้รับการถ่ายโอนอุณหภูมิที่ต่ำกว่า ตาม
ลักษณะการไหลเวียนของพลังงานความร้อนที่จะลอยตัวขึ้นสู่ที่สูงทำให้
ชั้นงานที่อยู่ระดับต่ำมีการสะสมพลังงานความร้อนที่อุณหภูมิต่ำกว่าชั้นงาน
ที่อยู่สูง

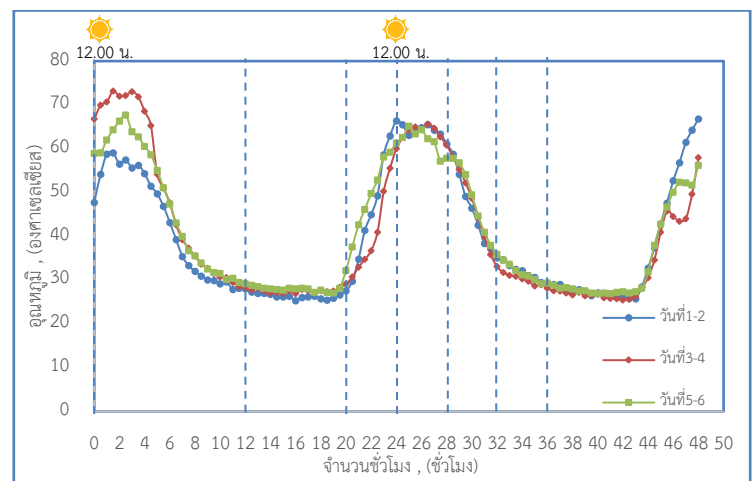
3.4.2 สภาพอากาศกับอุณหภูมิที่ชั้นงาน

ตารางที่ 2 อุณหภูมิสะสมบนชั้นงาน T1 ของในช่วงตัวแทนวันที่ทดสอบ

ลำดับวัน	ประเภทของอุณหภูมิ , (องศาเซลเซียส)			
	สภาพอากาศ	อุณหภูมิสะสมที่ได้ฝ้า	อุณหภูมิสะสมที่ชั้นงาน T1	
			อุณหภูมิสูงสุด	อุณหภูมิต่ำสุด
วันที่ 1	32.50	45.00	60.10	26.92
วันที่ 2	34.00	48.00	62.23	25.78
วันที่ 3	37.00	50.50	74.67	24.54
วันที่ 4	36.00	49.00	64.54	25.54
วันที่ 5	38.00	52.00	66.85	24.75
วันที่ 6	29.50	34.00	65.91	26.23

จากการวิเคราะห์ผลของอุณหภูมิที่ตรวจวัดได้ระหว่าง อุณหภูมิของ
สภาพอากาศและอุณหภูมิที่วัดได้ฝ้า ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 2
พบว่าอุณหภูมิสูงหรือต่ำในแต่ละวันของอุณหภูมิภายนอก ไม่ส่งผลต่อ
อุณหภูมิบนชั้นงาน เป็นไปตามหลักการถ่ายโอนของพลังงานความร้อนที่ทำ
ให้อุณหภูมิบนชั้นงานเป็นการสะสมความร้อนอย่างต่อเนื่องจากการถ่าย
โอนพลังงานของมวลอากาศภายใต้ฝ้า ดังผลวิเคราะห์ในหัวข้อที่ 3.4.1

3.4.3 ช่วงเวลากับอุณหภูมิที่ชั้นงาน



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลากับอุณหภูมิบนชั้นงาน

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลากับอุณหภูมิบนชั้นงาน ดัง
แสดงในรูปที่ 10 ใช้หลักการวิเคราะห์ข้อมูลอุณหภูมิในลักษณะเดียวกับ
หัวข้อที่ 3.4.1 และจะพิจารณาอุณหภูมิที่ 5 ช่วงเวลา คือ ชั่วโมงที่ 12-20,
20-24, 24-28, 28-32 และ 28-36 ของชั้นงาน T1 ในวันที่ 5 ของการ
ตรวจวัดอุณหภูมิ มีข้อสรุปดังนี้ ชั่วโมงที่ 12-20 คือช่วงเวลา เที่ยงคืน -
08.00 น. ตรวจวัดอุณหภูมิบนชั้นงานได้อยู่ที่ 25 องศาเซลเซียส เมื่อดวง
อาทิตย์ขึ้นจนถึงช่วงเวลาที่เที่ยงวัน คือชั่วโมงที่ 20-24 พบว่าอุณหภูมิบน
ชั้นงานมีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในทุกๆชั่วโมง โดยที่เพิ่มขึ้นทีละ 5-9

องศาเซลเซียส ซึ่งทำให้อุณหภูมิบนชิ้นงานเพิ่มขึ้นสูงถึง 67 องศาเซลเซียส ภายในระยะเวลา 4 ชั่วโมง และยังคงอุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 60 องศาเซลเซียส ไปจนถึงชั่วโมงที่ 24-28 หรือ เทียงวัน-16.00 น. หลังจากชั่วโมงที่ 28 จนถึง ชั่วโมงที่ 32 อุณหภูมิลดลงอย่างต่อเนื่องอีกครั้งในทุกๆ ชั่วโมง โดยที่ลดลงที่ ละ 1-5 องศาเซลเซียส จนกระทั่งอุณหภูมิบนชิ้นงานลดลงต่ำมาที่ 33 องศาเซลเซียสและเริ่มลดลงชั่วโมงละไม่เกิน 1 องศาเซลเซียส จนกระทั่ง เวลาเที่ยงคืน อุณหภูมิกลับมาอยู่ที่ช่วง 24 - 27 องศาเซลเซียสอีกครั้ง ซึ่ง ใกล้เคียงกับเที่ยงคืนของคืนวันก่อนหรือชั่วโมงที่12 จะเห็นได้ว่าช่วงเวลาที่ เปลี่ยนแปลงที่ส่งผลต่ออุณหภูมิบนชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญจะเป็นช่วงเวลา 8.00 น.- เที่ยงวัน และ 16.00 น. - 20.00 น. ซึ่งผลต่างของอุณหภูมิ ในช่วงสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 42และ27 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยที่ ผลต่างนี้เป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิบนชิ้นงานในลักษณะของการ สะสมและคายของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นและลดลงในทุกๆ 4 ชั่วโมง ไม่ได้เกิด การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอย่างฉับพลัน เช่นเดียวกับผลวิเคราะห์ใน หัวข้อที่ 3.4.1

จากการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิทั้ง 3 กรณี ตามที่แสดงในรูปที่ 9, รูปที่ 10 และตารางที่ 2 พบว่า อุณหภูมิที่ตรวจวัดได้ บนชิ้นงานโครงเหล็กชิ้นรูปยื่น มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากการ สะสมพลังงานความร้อนที่ถ่ายโอนอย่างต่อเนื่องภายใต้หลังคา ไม่พบการ เปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันหรือแปรปรวนของอุณหภูมิบนชิ้นงาน อัน เนื่องมาจากอิทธิพลของการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ ทั้งในทิศทางเดียวกัน หรือตรงกันข้ามกับตำแหน่งชิ้นงานที่ทำการตรวจวัดในแต่ละช่วงเวลา หรือ จากความแตกต่างของสภาพอากาศในแต่ละวัน ลักษณะการเปลี่ยนแปลง ของอุณหภูมิมิมีแนวโน้มคงที่และเป็นไปตามรูปแบบที่ชัดเจน กล่าวคือ ช่วงเวลาประมาณเที่ยงวัน อุณหภูมิของโครงเหล็กจะเพิ่มสูงขึ้นถึง ค่าสูงสุด ขณะที่ในช่วงเที่ยงคืน อุณหภูมิจะลดต่ำลงอย่างต่อเนื่อง การ เปลี่ยนแปลงดังกล่าวมีลักษณะค่อยเป็นค่อยไป ใช้ระยะเวลาหลายชั่วโมงใน การเพิ่มขึ้นหรือลดลงของอุณหภูมิ จากผลการศึกษาดังกล่าว การวิเคราะห์ พฤติกรรมของโครงเหล็กภายใต้การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิจึงเลือก พิจารณาในลักษณะ สภาวะคงที่ (Steady State) โดยอิงตามค่าผลต่างของ อุณหภูมิที่ตรวจวัดได้สูงสุดเท่ากับ 42 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เพื่อการศึกษา มีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของงานวิจัย ซึ่งมุ่งเน้นการวิเคราะห์ ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจริงบนโครงเหล็ก ดังนั้น จึงไม่มีการพิจารณาผลกระทบจากค่าผลต่างของอุณหภูมิที่อยู่ นอกเหนือจากข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดในชิ้นงานตัวอย่างตามช่วงเวลา การทดสอบ

ทั้งนี้ กราฟและตารางที่นำเสนอผลการวิเคราะห์ลักษณะการ เปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในงานวิจัยนี้ เป็นข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดบน โครงเหล็กตัวอย่างหมายเลข Sample-S1 ซึ่งอยู่ภายใต้หลังคาเดียวกัน และมีตำแหน่งติดตั้งใกล้เคียงกับตัวอย่างอื่น ๆ ตามที่แสดงไว้ในแผ่น หลังคาในรูปที่ 3

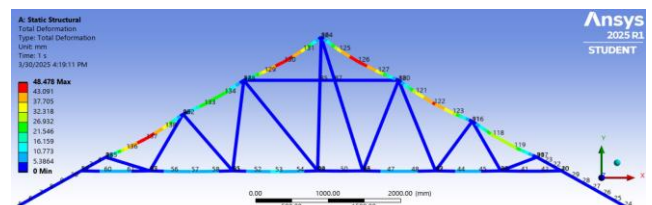
3.5 วิธีการวิเคราะห์ผลของโปรแกรม ANSYS

จำลองโครงเหล็กชิ้นรูปยื่นที่ใช้ศึกษาในโครงการวิจัยฉบับนี้ 2 รูปลักษณะที่มีจุดรองรับของโครงเหล็กต่างกัน คือ โครงเหล็ก Sample – S1 สำหรับการติดตั้งจุดรองรับในรูปแบบ Pin Support ซึ่งเป็นไปตามการ ติดตั้งของงานก่อสร้างในปัจจุบัน และ โครงเหล็ก Sample – S2 สำหรับการ ติดตั้งจุดรองรับในรูปแบบ Roller Support ซึ่งเป็นไปตามการออกแบบใน ปัจจุบัน ดังแสดงลักษณะตามรูปที่ 1และ2 โดยอธิบายรายละเอียดตำแหน่ง ของจุดรองรับ ตามตารางที่ 1 แบบ 2 มิติและใช้ผลต่างของอุณหภูมิที่ ตรวจวัดได้ในช่วงสูงสุดที่ 42 องศาเซลเซียส สำหรับการใส่ค่าอุณหภูมิ (Thermal Load) ดังแสดงรายละเอียดที่หัวข้อ 3.4.3 ในการวิเคราะห์ผล ของโครงเหล็กเหล็กจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิว่าส่งผลต่อความเค้น, ความเครียดและการเคลื่อนตัวของโครงเหล็กอย่างไร โดยที่จำลองใน โปรแกรม ANSYS 2025 R1

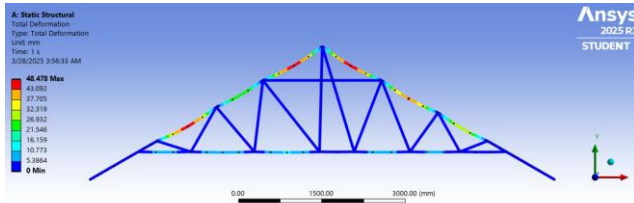
4. ผลการวิเคราะห์ของโปรแกรม ANSYS

4.1 การเคลื่อนตัว

จากการวิเคราะห์ผลของโครงสร้างโดยที่เปรียบเทียบผลของการ เคลื่อนตัวระหว่างโครงเหล็กที่รับน้ำหนักตายตัว (Dead Load) เพียง อย่างเดียวกับโครงเหล็กที่รวมผลของน้ำหนักจากอุณหภูมิ (Thermal Load) ด้วย ดังแสดงในรูปที่ 11,12 และตารางที่ 3 พบว่าการเคลื่อนตัว ขององค์อาคารและจุดรองรับของ Sample-S1 ทั้งในแนวแกน x และ y ไม่ มีความเปลี่ยนแปลง ในขณะที่ค่าการเคลื่อนตัวขององค์อาคารของ Sample-S2 เมื่อรวมผลของน้ำหนักจากอุณหภูมิแล้ว ดังแสดงในรูปที่ 13 และ14 พบว่าการเคลื่อนตัวเพิ่มขึ้นจากเดิมที่มีน้ำหนักตายตัวเพียงอย่าง เดียวไม่มากนัก แต่การเคลื่อนตัวที่จุดรองรับของ Sample-S2 มีค่าการ เคลื่อนตัวในแนวแกน x มากกว่าเดิมถึง 98.7% และ 99.4% ที่จุด B และ C ตามลำดับ และเคลื่อนที่ไปอีกทิศทางหนึ่ง คือ ทิศทางขวาของโครงเหล็ก เมื่อมีการรวมผลของน้ำหนักจากอุณหภูมิด้วย ดังแสดงในตารางที่ 4



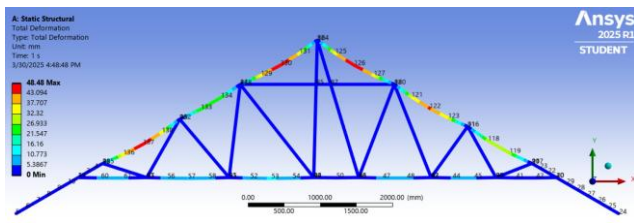
รูปที่ 11 การเคลื่อนตัวทั้งองค์อาคารของ Sample-S1 ที่มีผลจากน้ำหนักตายตัว (Dead Load, DL)



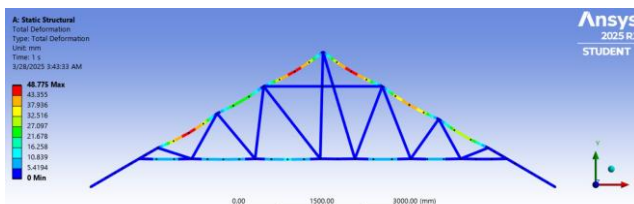
รูปที่ 12 การเคลื่อนตัวทั้งองค์อาคารของ Sample-S1 ที่มีผลจาก น้ำหนักตายตัว (Dead Load, DL) ร่วมกับ น้ำหนักจากอุณหภูมิ (Thermal Load, TL)

ตารางที่ 3 การเคลื่อนตัวในแนวแกน x และ แกน y ที่จุดรองรับของ โครงถักเหล็ก Sample-S1

จุดต่อ	ชนิด	ระยะการเคลื่อนตัว , (มม.)			
		แนวราบ, x		แนวตั้ง, y	
		DL	DL+TL	DL	DL+TL
A	Pin	0.000	0.000	0.000	0.000
B	Pin	0.000	0.000	0.000	0.000
C	Pin	0.000	0.000	0.000	0.000



รูปที่ 13 การเคลื่อนตัวทั้งองค์อาคารของ Sample-S2 ที่มีผลจากน้ำหนักตายตัว (Dead Load, DL)



รูปที่ 14 การเคลื่อนตัวทั้งองค์อาคารของ Sample-S2 ที่มีผลจากน้ำหนักตายตัว (Dead Load, DL) ร่วมกับ น้ำหนักจากอุณหภูมิ (Thermal Load, TL)

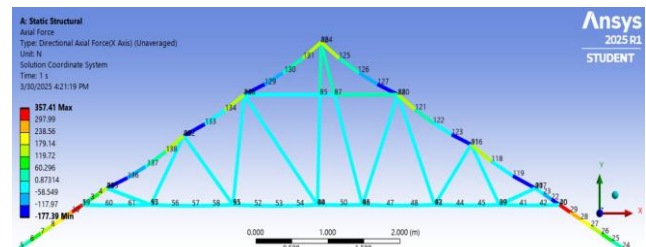
ตารางที่ 4 การเคลื่อนตัวในแนวแกน x และ แกน y ที่จุดรองรับของ โครงถักเหล็ก Sample-S2

จุดต่อ	ชนิด	ระยะการเคลื่อนตัว , (มม.)			
		แนวราบ		แนวตั้ง	
		DL	DL+TL	DL	DL+TL
A	Pin	0.000	0.000	0.000	0.000
B	Roller	-0.005	0.400	0.000	0.000
C	Roller	-0.005	0.841	0.000	0.000

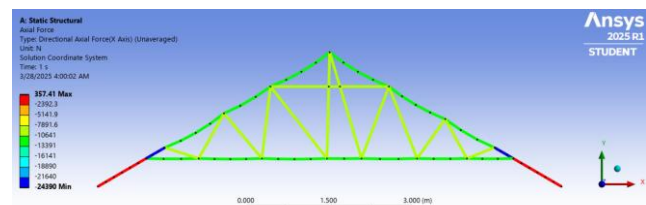
4.2 แรงภายในของชิ้นงาน

4.2.1 Sample-S1 (Pin Support)

จากการวิเคราะห์ผลของโครงสร้าง โดยที่เปรียบเทียบผลของแรงภายในของชิ้นงานระหว่างโครงถักเหล็กที่รับน้ำหนักตายตัวเพียงอย่างเดียวกับโครงถักเหล็กที่รวมผลของน้ำหนักจากอุณหภูมิด้วย ดังแสดงในตารางที่ 5 จะเห็นว่า แรงในแนวแกนสูงสุด (Axial Force) ประเภทแรงดึง (Tension Force) ของ Sample-S1 ไม่เปลี่ยนแปลง ในขณะที่ แรงอัด (Compression Force) เพิ่มขึ้นมากกว่าเดิม 99.27 % จากรูปที่ 17 และ 18 พบว่าแรงนี้ถูกส่งถ่ายเป็นความเค้น (Stress) ของชิ้นงานนั้น เท่ากับ 204.82 MPa พบค่าความเค้นสูงสุดในชิ้นงานคอร์ดส่วนบน (Upper Chord) ช่วงความยาว ที่ 1-1.5m.ของชิ้นงาน โดยที่วัดความยาวจากปลายระยะยื่นของชิ้นงานเข้ามา หรือ Upper Chord ที่อยู่เหนือจุดรองรับชิ้นมานอกเหนือจากที่ผลของน้ำหนักจากอุณหภูมิ ทำให้ค่าแรงอัดเพิ่มขึ้นสูงแล้วยังส่งผลให้พฤติกรรมที่ชิ้นงาน Upper Chord จากที่มีลักษณะเป็นชิ้นงานที่รับทั้งแรงดึงและแรงอัด ดังแสดงในรูปที่ 15 กลายเป็นชิ้นงานรับแรงอัดเพียงอย่างเดียว ดังแสดงในรูปที่ 16 ในขณะที่ชิ้นงานคอร์ดส่วนล่าง (Lower Chord) เป็นชิ้นงานรับแรงอัดและมีความเค้น เท่ากับ 102.09 MPa ซึ่งเพิ่มขึ้นสูงจากเดิม 100% ดังแสดงในรูปที่ 19 จากการได้รับอิทธิพลของน้ำหนักจากอุณหภูมิเท่านั้น



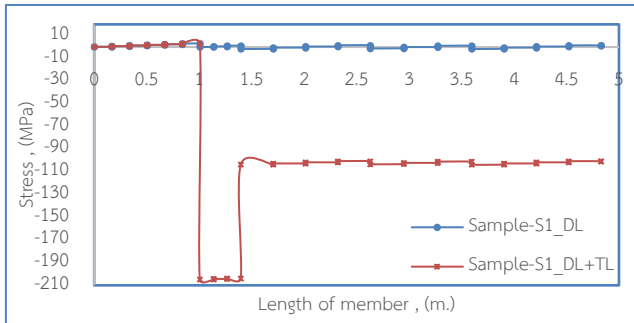
รูปที่ 15 แรงในแนวแกนทั้งองค์อาคารของ Sample-S1 ที่มีผลจาก น้ำหนักตายตัว (Dead Load, DL)



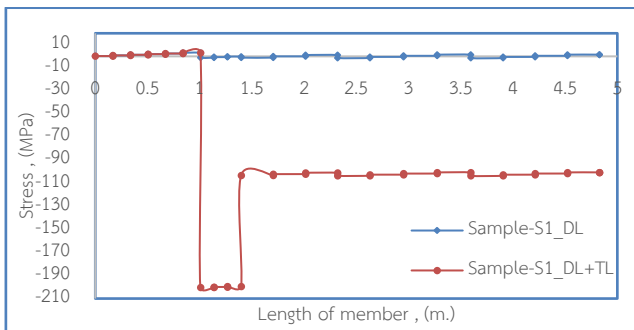
รูปที่ 16 แรงในแนวแกนทั้งองค์อาคารของ Sample-S1 ที่มีผลจากน้ำหนักตายตัว (Dead Load, DL) ร่วมกับ น้ำหนักจากอุณหภูมิ (Thermal Load, TL)

ตารางที่ 5 แรงในแนวแกนสูงสุดของ Sample-S1

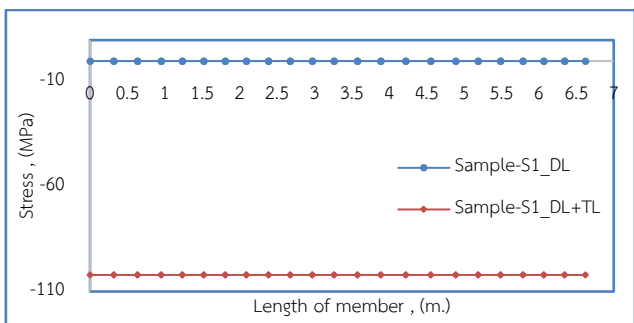
ประเภทของแรง	แรงในแนวแกน , (นิวตัน)	
	DL	DL+TL
แรงอัดสูงสุด	-177.39	-24390.00
แรงดึงสูงสุด	357.41	357.41



รูปที่ 17 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของชิ้นงานคอร์ดส่วนบน (Upper Chord) ฝั่งซ้าย (T1) กับความเค้นของ Sample-S1



รูปที่ 18 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของชิ้นงานคอร์ดส่วนบน (Upper Chord) ฝั่งขวา (T2) กับความเค้นของ Sample-S1

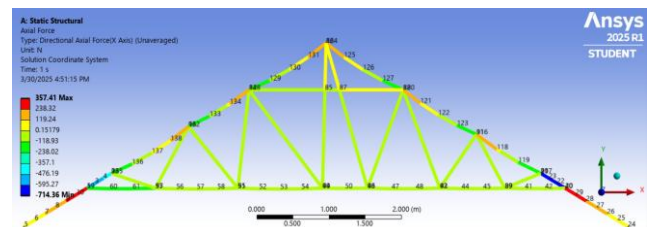


รูปที่ 19 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของชิ้นงานคอร์ดส่วนล่าง (Lower Chord, T4) กับความเค้นของ Sample-S1

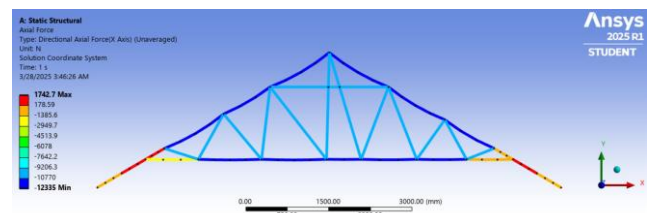
4.2.2 Sample-S2 (Roller Support)

จากการวิเคราะห์ผลของโครงสร้าง โดยที่เปรียบเทียบผลของแรงภายในของชิ้นงานระหว่างโครงหลักเหล็กที่รับน้ำหนักตายตัวเพียง

อย่างเดียวกับโครงหลักเหล็กที่รวมผลของน้ำหนักจากอุณหภูมิด้วย ดังแสดงในตารางที่ 6 จะเห็นว่า แรงในแนวแกนสูงสุด (Axial Force) ประเภทแรงดึง (Tension Force) ของ Sample-S2 เพิ่มขึ้นจากเดิม 79.49 % ในขณะที่ แรงอัด (Compression Force) เพิ่มขึ้นมากกว่าเดิม 94.21 % และเป็นแรงในแนวแกนที่สูงที่สุดที่เกิดขึ้น จากรูปที่ 22 และ 23 พบว่า แรงนี้ถูกส่งถ่ายเป็นความเค้นสูงสุด (Stress) ของชิ้นงานนั้น มีค่าเท่ากับ 103.59 MPa พบค่าความเค้นสูงสุดในชิ้นงานคอร์ดส่วนบน (Upper Chord) ตั้งแต่ช่วงความยาว ที่ 1.5m.ของชิ้นงาน โดยที่วัดความยาวจากปลายระยะยื่นของชิ้นงานเข้ามา หรือ Upper Chord ที่อยู่เหนือจุดรองรับชิ้นมา นอกเหนือจากที่ผลของ Thermal Load ทำให้ค่าแรงอัดเพิ่มขึ้นสูงแล้ว ยังส่งผลให้พฤติกรรมที่ชิ้นงาน Upper Chord ของช่วงความยาว 1.5 m. เป็นต้นไปที่มีลักษณะเป็นชิ้นงานรับทั้งแรงดึงและแรงอัด ดังแสดงในรูปที่ 20 กลายเป็นชิ้นงานรับแรงอัดเพียงอย่างเดียว ดังแสดงในรูปที่ 21 ในขณะที่ชิ้นงานคอร์ดส่วนล่าง (Lower Chord) ที่ความยาวช่วง 1-5.7 m. เป็นชิ้นงานรับแรงอัดและมีค่าความเค้น เท่ากับ 102.09 MPa ซึ่งเพิ่มขึ้นสูงจากเดิม 100% ดังแสดงในรูปที่ 24 จากการได้รับอิทธิพลของ Thermal Load เท่านั้น



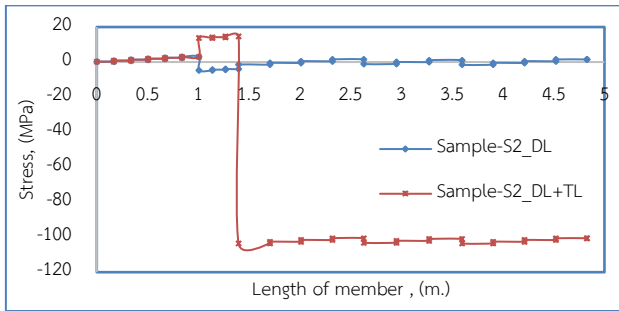
รูปที่ 20 แรงในแนวแกนทั้งองค์อาคารของ Sample-S2 ที่มีผลจากน้ำหนักตายตัว (Dead Load, DL)



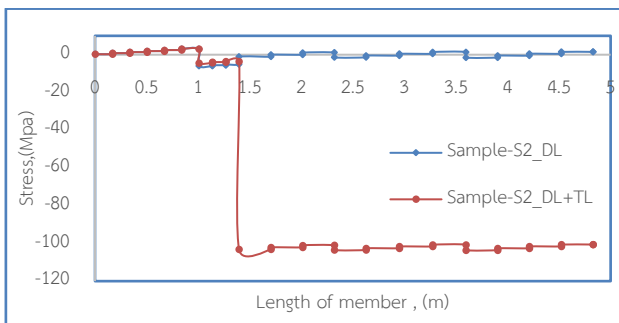
รูปที่ 21 แรงในแนวแกนทั้งองค์อาคารของ Sample-S2 ที่มีผลจากน้ำหนักตายตัว (Dead Load ,DL) ร่วมกับ น้ำหนักจากอุณหภูมิ (Thermal Load ,TL)

ตารางที่ 6 แรงในแนวแกนสูงสุดของ Sample-S2

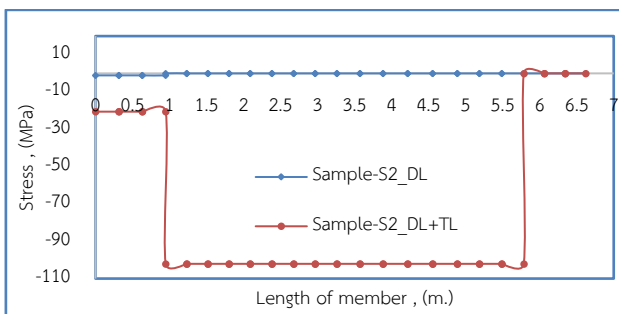
ประเภทของแรง	แรงในแนวแกน , (นิวตัน)	
	DL	DL+TL
แรงอัดสูงสุด	-714.36	-12335.00
แรงดึงสูงสุด	357.41	1742.70



รูปที่ 22 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของชิ้นงานคอร์ดส่วนบน (Upper Chord) ฝั่งซ้าย (T1) กับความเค้นของ Sample-S2



รูปที่ 23 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของชิ้นงานคอร์ดส่วนบน (Upper Chord) ฝั่งขวา (T2) กับความเค้นของ Sample-S2



รูปที่ 24 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของชิ้นงานคอร์ดส่วนล่าง (Lower Chord, T4) กับความเค้นของ Sample-S2

5. บทสรุป

สถานะของอุณหภูมิที่เลือกใช้ในขั้นตอนการวิเคราะห์โครงสร้างที่มีผลจาก Thermal Load ด้วยโปรแกรม Finite Element คือ อุณหภูมิในสถานะคงที่ หรือ Steady State เนื่องจาก อุณหภูมิที่ตรวจวัดได้บนชิ้นงาน โครงสร้างเหล็กขึ้นรูปเย็นเกิดจากการสะสมพลังงานความร้อนจากการถ่ายโอนพลังงานภายใต้หลังคาอย่างต่อเนื่อง ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงหรือแปรปรวนต่อการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของอุณหภูมิตั้งแต่เริ่มต้นไปจนถึงจุดที่อุณหภูมิคงที่หรือตรงกันข้ามกับชิ้นงานที่ทำการตรวจวัดตามช่วงเวลาและสภาพ

อากาศที่มีอุณหภูมิสูงหรือต่ำในแต่ละวัน ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิบนชิ้นงานเกิดขึ้นอย่างคงที่และมีรูปแบบที่ชัดเจน คือ ช่วงที่เย็นวัน อุณหภูมิจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นสูงที่สุด ในขณะที่ช่วงที่เย็นคืนอุณหภูมิจะมีแนวโน้มที่ลดลงเช่นกัน โดยการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของอุณหภูมิจะใช้เวลาอย่างยาวนานหลายชั่วโมง

Thermal Load ส่งผลให้โครงสร้างเหล็กมีความเค้นเพิ่มขึ้นสูงกว่าสถานะปกติ เกิดจากที่อุณหภูมิที่สะสมในชิ้นงานของโครงสร้างประเภท Statically indeterminate ทำให้ชิ้นงานเกิดการขยายตัว ในขณะเดียวกัน ชิ้นงานนั้นถูกยึดตรึงปลายทั้งสองข้างไว้ จึงทำให้เกิดแรงในแนวแกนและแรงนั้นถูกส่งถ่ายเป็นความเค้นตามมาของชิ้นงานนั้น โดยผลของอุณหภูมิสูงสุดที่ 42 องศาเซลเซียสมีอิทธิพลทำให้ชิ้นงานมีค่าความเค้นสูงสุดเพิ่มขึ้นมากกว่าเดิม 99.27 % และ 94.21% ในตัวอย่างโครงสร้างเหล็กแบบ Pin Support และ Roller Support ตามลำดับ นอกเหนือจากที่ผลของอุณหภูมิจะทำให้ค่าความเค้นเพิ่มขึ้นสูงแล้ว ยังส่งผลต่อพฤติกรรมรับแรงของชิ้นงาน คือทำให้ชิ้นงานที่สามารถรับทั้งแรงดึงและแรงอัดกลายเป็นชิ้นงานรับแรงอัดเพียงอย่างเดียว

โครงสร้างเหล็กที่ยึดหนุ่ต่อการเคลื่อนตัวจะลดความเค้นสะสมที่มีอิทธิพลจาก Thermal Load พิสูจน์ได้จากที่ ความเค้นสูงสุดของโครงสร้างเหล็กแบบ Pin Support เท่ากับ 204.82 MPa และแบบ Roller Support เท่ากับ 103.59 MPa ซึ่งความเค้นของ Pin Support มีค่ามากกว่า Roller Support เป็นจำนวน 2 เท่า เกิดจากที่ชิ้นงานของตัวอย่างโครงสร้างเหล็กแบบ Pin Support ได้รับผลจากอุณหภูมิ ที่ 42 องศาเซลเซียส ทำให้ชิ้นงานขยายตัวในขณะที่ถูกยึดตรึงเอาไว้ด้วยจุดรองรับชนิดที่ยอมให้เคลื่อนตัวทั้งในแนวราบและแนวตั้ง จึงส่งผลให้องค์อาคารไม่มีการเคลื่อนตัวเพิ่มขึ้นจากการที่ได้รับผลจากอุณหภูมิ จึงทำให้ชิ้นงานยังมีค่าความเค้นที่สูงตามหลักการของ Thermal Expansion ซึ่งแตกต่างกับตัวอย่างโครงสร้างเหล็กแบบ Roller Support ที่ถูกยึดตรึงด้วยจุดรองรับชนิดที่ยอมให้เกิดการเคลื่อนตัวในแนวราบได้

ทั้งนี้งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาพฤติกรรมของโครงสร้างเหล็กขึ้นรูปเย็นในบ้านพักอาศัยที่ได้รับอิทธิพลจากผลของอุณหภูมิ ไม่ได้ทำการศึกษาครอบคลุมถึงการวิบัติขององค์อาคาร การนำเสนอการเคลื่อนตัว, แรงในแนวแกนสูงสุดและความเค้นสูงสุดเพียงพอต่อการอธิบายถึงผลจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมีอิทธิพลต่อองค์อาคารได้อย่างชัดเจน ผู้วิจัยจึงได้ผลการแสดงผลของค่าความเครียดสูงสุดที่เกิดขึ้นในชิ้นงานจากผลของอุณหภูมิในงานวิจัยฉบับนี้ อย่างไรก็ตามสามารถกล่าวได้ว่าค่าความเครียดสูงสุด (Strain) ที่เกิดขึ้นในชิ้นงานของโครงสร้างเหล็กจากผลของอุณหภูมิจะแปรผันตรงกับค่าความเค้นสูงสุดภายในขีดจำกัดความยืดหยุ่นของวัสดุ ตามกฎของฮุก (Hook's Law)

6. ข้อเสนอแนะสำหรับการออกแบบในอนาคต

ในอนาคตสำหรับการออกแบบที่มุ่งเน้นการลดทอนปัจจัยของการเกิดปัญหาของเสียงที่เกิดขึ้นภายใต้หลังคา ผู้ออกแบบจำเป็นต้องพิจารณาผลของอุณหภูมิที่สะสมในชิ้นงานในการออกแบบโครงสร้างเหล็กขึ้นรูปเย็น

ร่วมกับผลจากน้ำหนักบรรทุกอื่น ๆ ด้วย และเลือกใช้อุปกรณ์ที่จะนำมาใช้เป็นจุดรองรับของโครงถักเหล็กให้สอดคล้องกับประเภทของจุดรองรับที่ได้รับการออกแบบในรูปแบบ 2 มิติ คือ อุปกรณ์ที่ไม่ยอมให้มีการเคลื่อนตัวในแนวราบและแนวดิ่ง สำหรับ Pin Support และ อุปกรณ์ที่ยอมให้เคลื่อนตัวได้ในแนวราบ สำหรับ Roller Support เนื่องจากตามการศึกษาของงานวิจัยได้พิสูจน์ส่วนของการวิเคราะห์โครงสร้างตามหลักวิชาการทางวิศวกรรมด้วยโปรแกรม Finite Element แล้วพบว่า Thermal Load ส่งผลต่อความเค้นในชิ้นงานของโครงถักเหล็กที่มีจุดรองรับแต่ละประเภทแตกต่างกันอย่างชัดเจน

เอกสารอ้างอิง

- [1] ณัฐพร นุตยะสกุล. (2561). Cold-Form Steel เหล็กขึ้นรูปเย็น. งานเก่า 2561 ครั้งที่ 5 , กรุงเทพฯ, 27 มกราคม 2561.
- [2] McGuire, W., Gallagher, R.H. and Ziemian, R.D. (2014). *Matrix Structural Analysis, 2nd Ed.*, John Wiley & Sons, Inc., pp.120-126.

- [3] Wang, S., Zhang, G., Li, J., Wang, Y. and Chen, B. (2023). Temperature Response of Double-Layer Steel Truss Bridge Girders. *Buildings*, 13, 2889.
- [4] Zhu, J., Zhang, Y., Zhou, S. and Rong, W. (2023). Thermal effect analysis of a steel truss cable-stayed bridge with two-layer decks under sunlight. *Advances in Structural Engineering 2024*, Vol. 27(1). pp.119–133.
- [5] Xu, W., Chen, D. and Qian, H. (2020). Non-Uniform Temperature Fields and Effects of Steel Structures: Review and Outlook, *Appl. Sci.* 2020, 10(15), 5255.
- [6] Chen, W. and Ye, J. (2012). Mechanical properties of G550 cold-formed steel under transient and steady state conditions. *Journal of Constructional Steel Research* Volume 73, June 2012., pp.1-11