

การพัฒนาแบบจำลองคอมพิวเตอร์ของข้อต่อเหล็กยึดด้วยสลักเกลียว

วัชรวิทย์ สุขน้อย¹, กิตติกานต์ กิตติภทรนันท์¹, เอกนรา จันดา^{1*}

และเกษรินทร์ ขาวเกวียน²

¹วิศวกรรมโยธา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

²ครุศาสตร์อุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

*eknara@webmail.npru.ac.th

บทคัดย่อ

โครงสร้างเหล็กถูกนำไปใช้กันอย่างแพร่หลายในประเทศไทย เช่น โกดัง โรงงาน แบบจำลอง โครงสร้างเหล็กที่มีความแม่นยำจึงสามารถช่วยให้เข้าใจพฤติกรรมของโครงสร้างได้ดียิ่งขึ้นขณะที่ใช้งบประมาณต่ำเมื่อเทียบกับการทดสอบในห้องปฏิบัติการงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแบบจำลอง สำหรับการวิเคราะห์พฤติกรรมของโครงสร้างข้อต่อเหล็กด้วยสลักเกลียวภายใต้แรงสลับทิศทาง ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอพื้นฐานของการสร้างแบบจำลองที่สามารถสะท้อนพฤติกรรมของโครงสร้างเหล็กที่ได้จากการทดสอบ ในห้องปฏิบัติการนอกจากนี้งานวิจัยยังได้เปรียบเทียบผลลัพธ์จากแบบจำลองกับข้อมูลการทดสอบจริงทั้งนี้เพื่อเสริมสร้างความเข้าใจในกลไกการถ่ายแรงภายในโครงสร้างและการกระจายแรงที่เกิดขึ้นในข้อต่อโครงสร้างเหล็กผลการศึกษา พบว่าแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นสามารถจำลองพฤติกรรมของข้อต่อโครงสร้างเหล็กภายใต้แรงสลับทิศทางได้อย่างมีประสิทธิภาพผลจากงานวิจัยนี้มีความสำคัญต่อการประยุกต์ใช้งานในด้านวิศวกรรมโครงสร้างและการออกแบบอาคารที่ใช้โครงสร้างเหล็ก

คำสำคัญ: แบบจำลองคอมพิวเตอร์ ข้อต่อเหล็ก แรงสลับทิศทาง พฤติกรรมโครงสร้าง

Development of a computer model of bolted steel joints

Watcharawit suknoi¹, Kittikan kittiphattharanan¹, Eknara Junda^{1*}
and Ketsarin Chawgien²

¹Civil Engineering Program, Faculty of Science and Technology, Nakhon Pathom Rajabhat University

²Industrial Education Program, Faculty of Science and Technology, Nakhon Pathom Rajabhat University

*eknara@webmail.npru.ac.th

Abstract

Accurate structural models can help to better understand the behavior of the structure while using a low cost compared to laboratory tests. This research aims to develop a model for analyzing the behavior of bolted steel joint structures under alternating directional forces. In this research, the basis of modeling is presented, which can reflect the behavior of steel structures obtained from laboratory tests. In the model development process, the results of the model are also compared with actual experimental data to enhance the understanding of the force transfer mechanism within the structure and the force distribution in the steel structure system. The examples presented in this article include joint structures. The experimental results show that the developed model can effectively simulate the behavior of the structure under alternating directional forces. The results of this research are important for applications in structural engineering and the design of steel-structured buildings.

Keywords: Model cyclic load steel joint structural behavior

1. บทนำ

แผ่นดินไหวเกิดขึ้นจากการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลกการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลกสามารถสร้างแรงสั่นสะเทือนได้แรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นนั้นมีระดับความรุนแรงที่ต่างกันซึ่งระดับความรุนแรงที่ต่างกันสามารถสร้างความเสียหายแก่มนุษย์และส่งผลต่ออาคารและสิ่งก่อสร้างต่างๆแผ่นดินไหวนั้นเกิดขึ้นทั่วโลกโดยพื้นที่ที่มีความเสี่ยงเกิดแผ่นดินไหวมากที่สุดคือพื้นที่ที่อยู่รอยต่อหรือรอยเลื่อนของแผ่นเปลือกโลกที่มีความเสี่ยงเกิดแผ่นดินไหวแต่อย่างไรก็ตามประเทศไทยก็เคยได้รับผลกระทบจากการเกิดแผ่นดินไหวหลายครั้งตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบันโดยการเกิดแผ่นดินไหวนั้นทำให้เกิดความเสียหายกับอาคารและสิ่งก่อสร้างต่างๆทำให้ประชากรไม่มีที่อยู่อาศัย และเกิดความเสียหายเป็นวงกว้าง

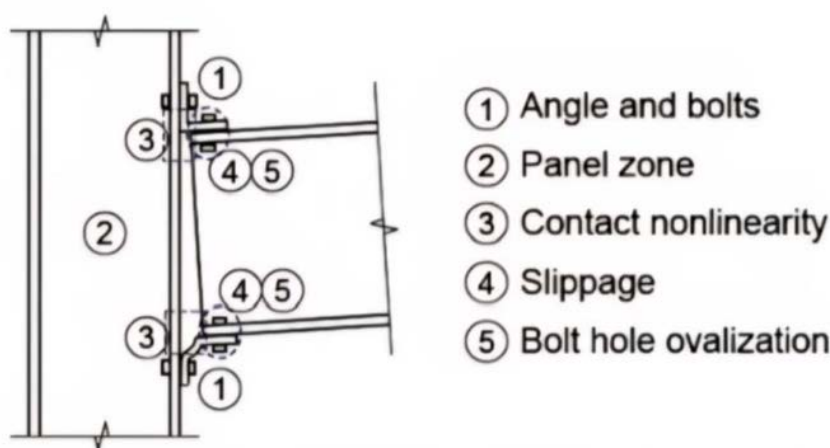
ระบบโครงสร้างเหล็กนั้นมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันเนื่องด้วยในปัจจุบันระบบโครงสร้างเหล็กที่ประเทศไทยนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายคือระบบโครงสร้างเหล็กดัดซึ่งระบบดังกล่าวมาจากข้อมูลที่ได้ศึกษามาระบบดังกล่าวมีข้อเสียคือความสามารถในการรับแรงดัดน้อยซ่อมแซมเป็นไปได้ยากเมื่อเกิดความเสียหายกีดขวางทางเดินทำให้พื้นที่ใช้สอยที่น้อยเสียพื้นที่ในการใช้งานในต่างประเทศได้มีการพัฒนาระบบค้ำยันมากมายเพื่อเพิ่มพื้นที่ในการใช้สอยลดความเสียหายที่กระทำต่อข้อต่อ ซ่อมแซมได้ง่าย จึงทำให้ระบบข้อต่อเหล็กยึดด้วยสลักเกลียวนี้เป็นตัวเลือกในการวิจัยศึกษา

โครงสร้างเหล็กเสริมค้ำยันบริเวณข้อต่อหรือโครงสร้างเหล็กเสริมข้อต่อเหล็กยึดด้วยสลักเกลียวจากข้อมูลที่ได้ศึกษามา ระบบโครงสร้างนี้ได้นำเอาข้อดีและข้อเสียของโครงสร้างเหล็กระบบต่างๆมาปรับปรุงบริเวณจุดต่อคานกับเสาจะสามารถปรับเปลี่ยนได้ค้ำยันในระบบมีขนาดเล็กช่วยในการลดความเสียหายของโครงสร้างบริเวณข้อต่อสามารถรับแรงแผ่นดินไหวได้ดี ใช้งานอาคารได้เต็มประสิทธิภาพลดต้นทุนการสร้างเป็นผลดีกับงานทางสถาปัตยกรรมอีกด้วยเนื่องจากอาคารประเภทนี้มี การศึกษาที่น้อย ทำให้ขาดองค์ความรู้ในการออกแบบโครงสร้างเพื่อนำไปพัฒนาโดยเฉพาะในเรื่องการรับแรง

เนื่องโครงสร้างเหล็กมีพฤติกรรมที่ซับซ้อนจึงจำเป็นต้องมีวิธีการที่มีประสิทธิภาพดังนั้นการศึกษาวิจัย ได้ทำการ รวบรวมข้อมูลอาคารโครงสร้างแล้วทำการออกแบบจำลองโครงสร้างโดยออกแบบอาคารให้ถูกรับแรงเฉือนด้านข้าง ให้เหมือน เหตุการณ์แผ่นดินไหวจากนั้นนำผลที่ได้มาวิเคราะห์พฤติกรรมโดยการทำวิจัยนี้เพื่อนำมาพัฒนาแบบจำลองให้มีประสิทธิภาพ สูงสุดเพื่อใช้ในการสร้างมาตรฐานในการออกแบบ โครงสร้างอาคารในประเทศไทยในอนาคต

2. ทบทวนวรรณกรรม

แบบจำลองเชิงกลมีวิธีการสร้างแบบจำลองต่างๆของข้อต่อคานกับเสาที่ยึดด้วยสลักเกลียวตั้งแต่แบบจำลองอย่างง่าย ไปจนถึงการสร้างองค์ประกอบโดยละเอียดผ่านการกำหนด พารามิเตอร์หลัก (เช่น ความแข็งเริ่มต้น โมเมนต์ ฯลฯ) และการ ปรับเส้นโค้งของโครงกระดูกผ่านจุดเหล่านี้จากชุดข้อมูลที่ได้มาจากการทดลอง โดยทั่วไปจะแสดงด้วยนิพจน์ทางคณิตศาสตร์ ง่ายๆ เช่น ฟังก์ชันกำลัง พหุนาม หรือการรวมกันของทั้งสอง [1] แบบจำลองดังกล่าวสามารถพัฒนาได้ผ่านการพิจารณาเชิง วิเคราะห์ง่ายๆโดยปกติจะเน้นที่การตอบสนองของส่วนประกอบผ่านการระบุแหล่งที่มาของการเสียรูปหลักแล้ว ความแข็ง เริ่มต้นและค่าโมเมนต์จะถูกกำหนดโดยตรงจากคุณสมบัติของวัสดุและเรขาคณิต [2] โดยทั่วไปจะใช้สิ่งเหล่านี้โดยคำนึงถึงการ เสียรูปเฉพาะที่องค์ประกอบที่เชื่อมต่อเท่านั้นและละเลยความยืดหยุ่นของส่วนประกอบของชิ้นส่วนที่เชื่อมต่อ แม้ว่า แบบจำลองที่เรียบง่ายจะสามารถปรับให้พอดีกับรูปร่างของเส้นโค้งโมเมนต์-การหมุนได้เกือบทุกแบบ แต่แบบจำลองเหล่านี้มี ข้อเสียคือไม่สามารถขยายการจำลองออกไปนอกเหนือจากฐานข้อมูลได้ ยิ่งไปกว่านั้น แบบจำลองอย่างง่ายไม่สามารถ คาดการณ์พฤติกรรมที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญซึ่งอาจส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโหมดการวิบัติของโครงสร้างได้เมื่อ พิจารณาถึงการเชื่อมต่อที่มีคุณสมบัติทางเรขาคณิตและวัสดุที่ต่างกัน อย่างไรก็ตามแบบจำลองการเชื่อมต่อที่มีอยู่ใน ปัจจุบันส่วนใหญ่ซึ่งคำนึงถึงการโหลดแบบสลับทิศทางจัดอยู่ในหมวดหมู่นี้



ภาพที่ 1 การเสียรูปข้อต่อเหล็ก

3. วิธีการทำวิจัย

3.1 แนวทางเชิงกลไกแบบใช้ส่วนประกอบ

แนวทางเชิงกลไกใช้เฉพาะคุณสมบัติของวัสดุและเรขาคณิตและการพิจารณาการเสียดสีเชิงทฤษฎีแบบจำลองเชิงกล ตามส่วนประกอบของข้อต่อ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์และการหมุนโดยการซ้อนทับของส่วนประกอบหลักแต่ละส่วนประกอบแสดงแหล่งที่มาของการเสียรูปโดยสมการทางคณิตศาสตร์ ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องระบุแหล่งที่มาของการเสียรูป และความวิบัติที่อาจเกิดขึ้นในข้อต่อทั้งหมดก่อน จากนั้นจึงหาความสัมพันธ์เชิงองค์ประกอบของส่วนประกอบแต่ละชิ้นจึงได้รับการอนุมานเพื่อกำหนดลักษณะการเสียรูปของส่วนประกอบเหล่านั้นสุดท้ายการประกอบส่วนประกอบทั้งหมดเข้าด้วยกัน เพื่อกำหนดความแม่นยำและความแข็งแกร่งที่ต้องการของแบบจำลองตามส่วนประกอบ พารามิเตอร์สำคัญ ได้แก่ ความแข็งเริ่มต้น (K_0), แรงดึงครั้งแรก (P_y), ความแข็งช่วงเปลี่ยนผ่าน (K_t), แรงดึงครั้งที่สอง (P_s) สามารถคำนวณได้โดยใช้ดังนี้

$$K_0 = \frac{12EI}{g_1^3} \left[1 - \frac{3g_1}{4(g_1+g_2)} \right] \quad (1)$$

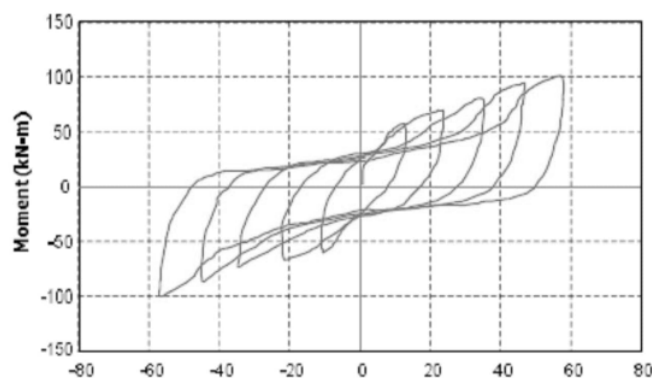
$$P_y = \frac{4g_1+g_2}{g_1(2g_1+g_2)} M_y \quad (2)$$

$$K_t = \frac{12EI}{(g_1-t)^2} \left[\frac{1}{4(g_1-t)+3g_2} \right] \quad (3)$$

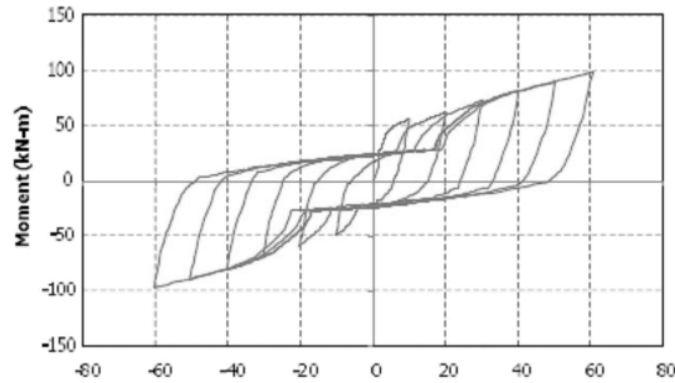
$$P_s = \frac{2M_p}{g_1-t} \quad (4)$$

4. ผลการศึกษา

จากการพัฒนาแบบจำลองสำหรับการวิเคราะห์พฤติกรรมของข้อต่อโครงสร้างเหล็กด้วยสลิคเกลียวภายใต้แรงสลับทิศทาง พบว่าแบบจำลองที่สร้างขึ้นสามารถสะท้อนพฤติกรรมของข้อต่อโครงสร้างเหล็กได้อย่างแม่นยำและมีประสิทธิภาพ โดยผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลการทดสอบจริงในห้องปฏิบัติการแสดงให้เห็นว่า แบบจำลองสามารถทำนายค่าการเปลี่ยนรูป (Displacement) และแรงที่ข้อต่อรับได้ (Load) ได้ใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จริง ดังแสดงภาพที่ 2 และ 3



ภาพที่ 2 ผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ



ภาพที่ 3 ผลการศึกษาจากแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น

5. บทสรุป

บทความนี้ได้นำเสนอการพัฒนาแบบจำลองคอมพิวเตอร์ของข้อต่อเหล็กยึดด้วยสลักเกลียวในโมเมนต์เฟรมแบบค้ำยันบริเวณหัวเสา (KBMF) [3-5] ที่มีการเชื่อมต่อกับสลักเกลียวภายใต้การรับน้ำหนักแบบสลับทิศทาง โดยใช้แบบจำลองเชิงกลในคอมพิวเตอร์เพื่อสร้างแบบจำลองการเชื่อมต่อระหว่างคานกับเสา ผลการทดลองจะถูกนำมาใช้เพื่อพัฒนาเป็นแบบจำลองศึกษาพฤติกรรมของการเคลื่อนตัวของเฟรมที่ใช้ค้ำยันแบบหัวเสา

แบบจำลองทางกลศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นสามารถทำนายความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์และการหมุนภายใต้แรงสลับทิศทางของการเชื่อมต่อ แบบจำลองนี้พิจารณาองค์ประกอบการเสียรูปที่สำคัญรวมถึง พฤติกรรมที่ไม่เป็นเชิงเส้นของมุม การสัมผัส และการแยกตัวระหว่างหน้าของหน้าแปลนเสาและมุมเชื่อมต่อ และโซนแรงเสียดทาน พฤติกรรมการบีบของการเชื่อมต่อนั้นประมาณได้อย่างแม่นยำโดยใช้องค์ประกอบการสัมผัสที่ไม่เป็นเชิงเส้นในแบบจำลองทางกลศาสตร์ทั้งหมด

6. เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] Srechai, J., Leelataviwat, S., & Warnitchai, P. (2008). Dynamic behavior of knee-braced moment frames designed by current standards (pp. 440–445).
- [2] Kim, J. H., Ghaboussi, J., & Elnashai, A. S. (2010). Mechanical and informational modeling of steel beam-to-column connections. *Engineering Structures*, 32(2), 449–458.
- [3] Junda, E., Leelataviwat, S., & Doung, P. (2018). Cyclic testing and performance evaluation of buckling-restrained knee-braced frames. *Journal of Constructional Steel Research*, 148, 154–164.
- [4] Phooldonphrai, T., & Kulkate, K. (2018). Nonlinear lateral resistance behavior of a 2-story school building with knee-braced frames using buckling-restrained members at joints [Bachelor's thesis, Nakhon Pathom Rajabhat University, Civil Engineering Program].
- [5] Kaewsuwan, T., & Nakyai, R. (2016). Experimental testing of steel frames braced with buckling-restrained components under cyclic loading [Bachelor's thesis, Nakhon Pathom Rajabhat University, Civil Engineering Program].