การเปรียบเทียบพฤติกรรมของโครงข้อหมุนที่ยึดต่อด้วยสลักเกลียวและการเชื่อม

Comparative Study on Behavior of Truss Connections Using Bolt and Welding

ศุภชัย ไทยพุ่ม*

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล 77110

*E-mail: spcrmutr@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาพฤติกรรมของโครงข้อหมุนที่ยึดต่อด้วยสลักเกลียวและยึดต่อด้วยการเชื่อมของโครงข้อหมุนที่สร้างขึ้นจริงกับโปรแกรมไฟไนเอลิเมนต์ ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่าโครงข้อหมุนที่ยึดต่อด้วยสลักเกลียวและยึดต่อด้วยการเชื่อมมีค่าความแข็งแรงของโครงสร้างน้อยกว่าค่าที่ได้จากโปรแกรม SAP2000 ทั้ง 2 รูปแบบ โดยสังเกตจากค่าความชันของกราฟระหว่างน้ำหนักบรรทุกที่กระทำกับการเสียรูปของโครงข้อหมุน ซึ่งโครงข้อหมุนรูปแบบที่ 1 ให้ค่าความชันน้อยกว่าโปรแกรมร้อยละ 57.77 และร้อยละ 74.39 สำหรับการยึดต่อด้วยสลักเกลียวและยึดต่อด้วยการเชื่อมตามลำดับ ส่วนโครงข้อหมุนรูปแบบที่ 2 ให้ค่าความชันน้อยกว่าโปรแกรมร้อยละ 46.57 และร้อยละ 73.45 สำหรับการยึดต่อด้วยสลักเกลียวและยึดต่อด้วยการเชื่อมตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบกับวิธีหน่วยแรง พบว่าอัตราส่วนความปลอดภัย ของโครงข้อหมุนรูปแบบที่ 1 มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1.20 และ 2.32 เมื่อยึดต่อด้วยสลักเกลียวและยึดต่อด้วยการเชื่อม ตามลำดับ ส่วนโครงข้อหมุนรูปแบบที่ 2 มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1.28 และ 2.72 เมื่อยึดต่อด้วยสลักเกลียวและยึดต่อด้วยการเชื่อม ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการยึดต่อด้วยวิธีการเชื่อมให้ค่าความปลอดภัยที่มากการยึดต่อด้วยสลักเกลียว

คำสำคัญ: โครงข้อหมุน, สลักเกลียว, เชื่อม

Abstract

The object of this research was focused on comparative study on behavior of truss connections using bolt and welding of actual structure against finite element method program. The results of the study revealed that bolt strength of the trusses having connection with bolt and were less than the value from SAP2000 program by observing from the slope value of graphs applied load and deformation of trusses at mid-span. The trusses type 1 showed the slope value less than the program 57.77 percent and 74.39 percent for the bolting connection and welding connection respectively. The trusses type 2 showed the slope value less than the program 46.57 percent and 73.45 percent for the bolting connection and welding connection respectively. When compared the test results with the standard design ASD Method. it was found that safety factor of the trusses type 1, the average were 1.20 and 2.32 for bolting connection and welding connection respectively. For the trusses type 2, the average were 1.28 and 2.72 for bolting connection and welding connection respectively. The significant finding was showed that the connection by welding methods gave the safety factor value greater than bolting methods.

Keywords: Truss, Bolt, Weld

1. ที่มาและความสำคัญ

โครงข้อหมุน (Truss) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าโครงข้อหมุน เป็นโครงสร้างที่เกิดขึ้นจากการนำเอาชิ้นส่วนหรือองค์อาคารมาประกอบเข้าด้วยกันเป็นรูปทรงเรขาคณิต ซึ่งเป็นโครงสร้างที่พบเห็นได้ทั่วไปสำหรับโครงสร้างที่มีช่วงพาดยาว เช่น โครงสร้างสะพาน หลังคาโรงงาน โรงอาหาร หอประชุม อัศจรรย์ เป็นต้น โดยทั่วไปโครงข้อหมุนจะทำจากเหล็กรูปพรรณหรือไม้ การขึ้นรูปโครงสร้างประเภทนี้ จะประกอบชิ้นส่วนย่อยเข้าด้วยกันโดยการเชื่อมหรือยึดด้วยสลักเกลียวที่จุดต่อซึ่งสมมติให้เป็นแบบหมุน (Hinges) ให้มีลักษณะเป็นรูปร่างแบบโครงสามเหลี่ยม (Triangulated Patterns) ชิ้นส่วนแต่ละชิ้นจะรับเพียงแรงตามแนวแกนและแรงจะมีขนาดคงที่ตลอดความยาวของชิ้นส่วนนั้นๆ จุดรองรับของโครงสร้างจะเป็นแบบหมุนได้ (Hinges) หรือไม่ก็แบบเลื่อนได้ (Roller) การวิเคราะห์หาแรงภายในชิ้นส่วนโครงข้อหมุนปกติจะพิจารณาให้จุดต่อเป็นแบบหมุนได้ แต่ในการก่อสร้างจริงมักนิยมประกอบโครงสร้างด้วยวิธีการเชื่อม ซึ่งมีพฤติกรรมคล้ายกับโครงข้อแข็ง อาจเป็นผลทำให้พฤติกรรมการรับแรงและการเสียรูปที่เกิดขึ้นจริงในโครงข้อหมุนแตกต่างจากสมมติฐานในการออกแบบ ดังนั้นจึงเป็นแรงจูงใจที่จะศึกษาพฤติกรรมการรับแรงและการเสียรูปเปรียบเทียบกันระหว่างการประกอบชิ้นส่วนเข้าด้วยกัน โดยวิธีการเชื่อมและยึดด้วยสลักเกลียว

2. วัตถุประสงค์

2.1. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการเสียรูปและการรับน้ำหนักของโครงข้อหมุน

2.2. เพื่อศึกษาลักษณะการวิบัติของโครงข้อหมุนที่ยึดต่อด้วยการเชื่อมและสลักเกลียว

2.3. เพื่อเปรียบเทียบพฤติกรรมการรับน้ำหนักของโครงสร้างจริงกับการวิเคราะห์และออกแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

3. ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

โครงข้อหมุน (Truss) คือ โครงสร้างที่นำเอาชิ้นส่วนมาประกอบขึ้นเป็นรูปโครงสร้างแบบต่างๆ โดยยึดปลายทั้งสองของชิ้นส่วนต่างๆ ให้ยึดติดกันและสามารถถ่ายแรงให้กันได้ด้วยการเชื่อมการใช้หมุดย้ายหรือการใช้สลักเกลียว โครงสร้างที่นิยมทำเป็นโครงข้อหมุน เช่น โครงสร้างสะพาน โครงหลังคา เป็นต้น

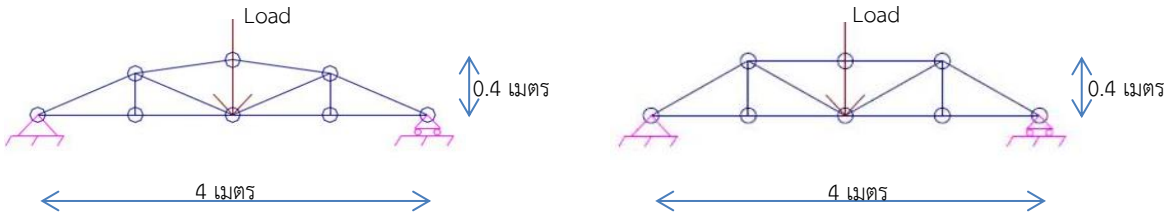
ในการวิเคราะห์หาแรงภายในที่เกิดขึ้นในโครงข้อหมุน มีข้อสมมุติฐานที่สำคัญ [1] ดังนี้

1) ชิ้นส่วนทุกชิ้นในโครงข้อหมุนจะต้องตรง
2) แนวเซ็นทรอยด์ของแต่ละชิ้นส่วนที่ต่อกันจะพบกันที่จุดศูนย์กลางของรอยต่อของชิ้นส่วน
3) น้ำหนักของชิ้นส่วนแต่ละชิ้นมีค่าน้อยมากในการวิเคราะห์จะไม่นำมาเป็นองค์ประกอบในการพิจารณา
4) น้ำหนักบรรทุกที่กระทำกับโครงข้อหมุนจะเป็นน้ำหนักแบบน้ำหนักกระทำเป็นจุด (Point Load) ที่ตำแหน่งของข้อต่อเท่านั้น

แต่ในทางปฏิบัติมักนิยมใช้วิธีการเชื่อมกันจึงทำให้เกิดพฤติกรรมคล้ายโครงข้อแข็ง แม้กระทั้งการใช้สลักเกลียวก็จะมีพฤติกรรมแบบ Semi Rigid ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีเชิงตัวเลขของ M.E. Kartal, 2010 [2] พบว่าโครงสร้างที่จุดต่อเป็นแบบจุดหมุนกับเป็นยึดแน่นมีค่าค่าหน่วยแรงเฉือน โมเมนต์ แรงตามแนวแกน และค่าการเสียรูปมีค่าต่างกันมากถึง 0-2 เท่าเมื่อนำมาเทียบกันสำหรับโครงสร้างแบบ Portal Frame แต่สำหรับโครงข้อหมุนที่จุดต่อเป็นแบบจุดหมุนกับเป็นยึดแน่นค่าแรงตามแนวแกนและค่าการเสียรูปมีค่าต่างกันน้อยมาก จะแตกต่างกันมากเฉพาะค่าโมเมนต์เท่านั้น ซึ่งค่าโมเมนต์ที่ต่างกันนี้เองเป็นผลทำให้เกิดการโก่งเดาะ (Buckling) ต่างกันตามไปด้วย Teemu and Markku, 2014 [4]

4. วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมด้านการเปรียบเทียบพฤติกรรมของโครงข้อหมุนที่ยึดต่อด้วยสลักเกลียวและการเชื่อมได้ออกแบบโครงข้อหมุนที่ความยาวช่วงของจุดรองรับ 4.00 เมตร สูง 0.4 เมตร และกว้าง 0.4 เมตร ไว้จำนวน 2 รูปแบบ และในการทดสอบจะเลือกใช้เหล็กฉากขนาด 25x25x3 มิลลิเมตร ชั้นคุณภาพ SS400 ดังแสดงในรูปที่ 1 และกำหนดรหัสดังแสดงในตารางที่ 1



ก.) รูปแบบที่ 1 ข.) รูปแบบที่ 2

รูปที่ 1: รูปแบบโครงข้อหมุน

ตารางที่ 1 : รหัสโครงข้อหมุน

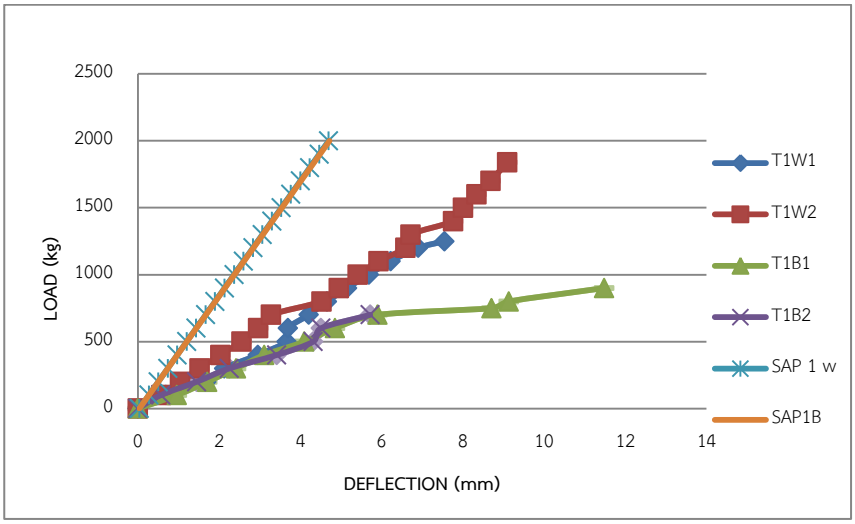
ประเภท	รหัส
โครงข้อหมุนรูปแบบที่ 1 ยึดด้วยการเชื่อม ตัวอย่างที่ 1	T1W1
โครงข้อหมุนรูปแบบที่ 1 ยึดด้วยการเชื่อม ตัวอย่างที่ 2	T1W2
โครงข้อหมุนรูปแบบที่ 1 ยึดด้วยสลักเกลียว ตัวอย่างที่ 1	T1B1
โครงข้อหมุนรูปแบบที่ 1 ยึดด้วยสลักเกลียว ตัวอย่างที่ 2	T1B2
โครงข้อหมุนรูปแบบที่ 2 ยึดด้วยการเชื่อม ตัวอย่างที่ 1	T2W1
โครงข้อหมุนรูปแบบที่ 2 ยึดด้วยการเชื่อม ตัวอย่างที่ 2	T2W2
โครงข้อหมุนรูปแบบที่ 2 ยึดด้วยสลักเกลียว ตัวอย่างที่ 1	T2B1
โครงข้อหมุนรูปแบบที่ 2 ยึดด้วยสลักเกลียว ตัวอย่างที่ 2	T2B2

ทดสอบโครงข้อหมุน โดยเพิ่มน้ำหนักครั้งละ 100 กิโลกรัม พร้อมทั้งบันทึกค่าระยะแอ่น (Deflection) ที่กึ่งกลางโครงและจดบันทึกลักษณะรูปแบบการวิบัติ

5. ผลและวิจารณ์

5.1. พฤติกรรมของโครงสร้าง

จากกราฟเมื่อเปรียบเทียบค่าความชันของกราฟแต่ละเส้น จะได้ค่าความชันที่แตกต่างกันออกไปซึ่งค่าความชันที่ต่างกันนั้นสามารถใช้เป็นตัวบ่งบอกถึงความแข็งแรงโครงข้อหมุนได้เป็นอย่างดี ซึ่งผลการทดสอบให้ค่าดังต่อไปนี้



รูปที่ 2: กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและระยะแอ่นของโครงข้อหมุนรูปแบบที่ 1 จากการทดสอบโดยการเชื่อมยึดด้วยสลักเกลียว และวิเคราะห์จากโปรแกรม SAP2000

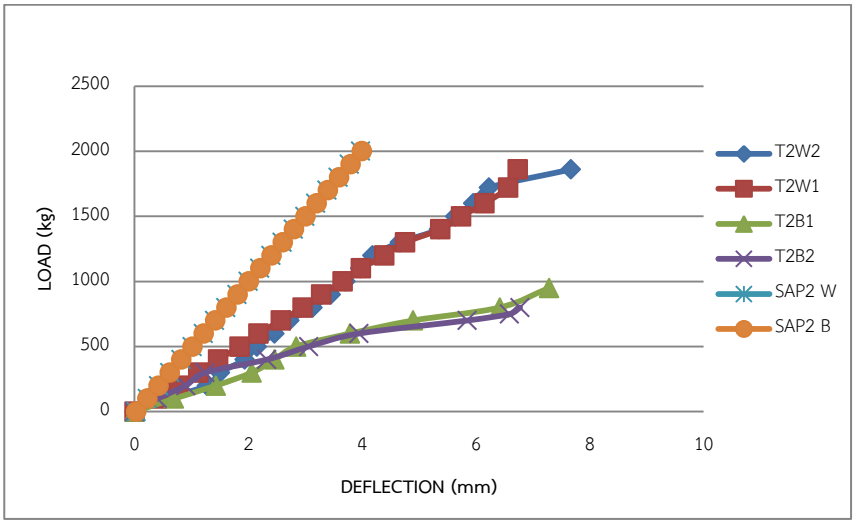
จากค่าการเปลี่ยนตำแหน่งของโครงข้อหมุนที่บริเวณกึ่งกลางช่วงความยาว จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมทราบว่าค่าความเหนียวของโครงข้อหมุนมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก แต่พบว่าโครงข้อหมุนที่เหนียวที่สุดจากการทดสอบคือ โครงข้อหมุนที่ยึดด้วยสลักเกลียวตัวอย่างที่ 1 (T1B1) มีค่าการเปลี่ยนตำแหน่งอยู่ที่ 11.48 มิลลิเมตร

ผลจากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SAP2000 พบว่าเมื่อโครงข้อหมุนรูปแบบที่ 1 รับน้ำหนักที่ 500 กิโลกรัม โครงข้อหมุนที่ยึดต่อด้วยวิธีการเชื่อมมีค่าการเปลี่ยนตำแหน่งอยู่ที่ 1.20 มิลลิเมตร จากตัวอย่างการทดสอบโครงข้อหมุนที่ยึดติดด้วยการเชื่อมมีค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนตำแหน่งอยู่ที่ 3.10 มิลลิเมตร มีค่าเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ158.29 ของการออกแบบด้วยโปรแกรม SAP2000

ผลจากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SAP2000 ให้โครงข้อหมุนรูปแบบที่ 1 รับน้ำหนักที่ 500 กิโลกรัม โครงข้อหมุนที่ยึดติดด้วยวิธีสลักเกลียวมีค่าการเปลี่ยนตำแหน่งอยู่ที่ 1.20 มิลลิเมตร จากตัวอย่างการทดสอบโครงข้อหมุนที่ยึดติดด้วยวิธีสลักเกลียว ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนตำแหน่งอยู่ที่ 4.21 มิลลิเมตร มีค่าเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 249.03 ของการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SAP2000

ตารางที่ 2: ค่าความชันของกราฟของโครงข้อหมุน รูปแบบที่ 1

รหัส	ค่าความชันของกราฟ kg/mm	ร้อยละที่ลดลง
Sap1W	424.20	-
T1W1	167.68	60.47
T1W2	190.54	55.08
Sap1B	422.48	-
T1B1	92.50	79.52
T1B2	123.85	72.10



รูปที่ 3: กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและการเสียรูปของโครงข้อหมุนรูปแบบที่ 2 จากการทดสอบโดยการเชื่อม ยึดด้วยสลักเกลียว และวิเคราะห์จากโปรแกรม SAP2000

จากค่าการเปลี่ยนตำแหน่งของโครงข้อหมุนที่บริเวณกึ่งกลางช่วงความยาว จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมทราบว่าค่าความเหนียวของโครงข้อหมุนมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก แต่พบว่าโครงข้อหมุนที่เหนียวที่สุดจากการทดสอบคือ โครงข้อหมุนที่ยึดด้วยสลักเกลียวตัวอย่างที่ 2 (T2W1) มีค่าการเปลี่ยนตำแหน่งอยู่ที่ 7.67 มิลลิเมตร

ผลจากการทดสอบจากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SAP2000 ให้โครงข้อหมุนรูปแบบที่ 2 รับน้ำหนักบรรทุกที่ 500 กิโลกรัม โครงข้อหมุนที่ยึดติดด้วยวิธีการเชื่อมมีค่าการเปลี่ยนตำแหน่งอยู่ที่ 1.01 มิลลิเมตร จากตัวอย่างการทดสอบโครงข้อหมุนที่ยึดติดด้วยการเชื่อมมีค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนตำแหน่งอยู่ที่ 1.99 มิลลิเมตร มีค่าเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 96.99 ของการออกแบบด้วยโปรแกรม SAP2000

ผลจากการทดสอบจากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SAP2000 ให้โครงข้อหมุนรูปแบบที่ 2 รับน้ำหนักบรรทุกที่ 500 กิโลกรัม โครงข้อหมุนที่ยึดติดด้วยวิธีสลักเกลียวมีค่าการเปลี่ยนตำแหน่งอยู่ที 1.0197 มิลลิเมตร จากตัวอย่างการทดสอบโครงข้อหมุนที่ยึดติดด้วยวิธีสลักเกลียว ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนตำแหน่งอยู่ที่ 2.9500 มิลลิเมตร มีค่าเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 189.30 ของการออกแบบด้วยโปรแกรม SAP2000

จากผลการทดสอบที่ได้นั้น สังเกตได้ว่าการทดสอบจริงค่าการเสียรูปโครงข้อหมุนมีค่ามากกว่า ค่าการเสียรูปโครงข้อหมุนที่ได้จากโปรแกรม ซึ่งมีหลายปัจจัยทำให้ค่าที่ได้แตกต่างกัน เช่น โครงสร้างไม่ได้อยู่ในระนาบด้วยกันทั้งหมดอาจมีการบิดเบี้ยว เนื่องจากการประกอบการเชื่อมอาจเชื่อมได้ไม่ดี ไม่สม่ำเสมอ จึงส่งผลให้ในการทดสอบจริงนั้นไม่เป็นไปตามที่ออกแบบไว้และในการยึดด้วยสลักเกลียวอาจเกิดผลเช่นเดียวกันเนื่องจากการยึดไม่แน่น แรงในการบิดไม่สม่ำเสมอ และไม่ใช่คนๆ เดียวกันอาจทำให้บางจุดมีความแน่นที่แตกต่างกัน ทำให้โครงข้อหมุนเกิดการเปลี่ยนตำแหน่งมากกว่าการออกแบบ และมีผลอีกอย่างหนึ่งคือ การใส่น้ำหนักบรรทุกที่ไม่พร้อมอาจเป็นผลทำให้การรับมีการวิบัติที่มีความแตกต่างกันของแต่ละรูปแบบ

ตารางที่ 3: ค่าความชันของกราฟของโครงข้อหมุนรูปแบบที่ 2

รหัส	ค่าความชันของกราฟ kg/mm	ร้อยละที่ลดลง
Sap2W	501.49	-
T2W1	267.9	46.57
T2W2	261.97	47.76
Sap2B	498.69	-
T2B1	137.68	72.39
T2B2	127.12	74.50

5.2. ลักษณะการเสียรูปของโครงข้อหมุน

เมื่อทดสอบโครงข้อหมุนจนถึงจุดวิบัติ พบว่าการวิบัติของโครงข้อหมุนทั้ง 2 รูปแบบ เกิดขึ้นหลายๆ ลักษณะดังแสดงในตารางที่ 4 ดังนี้

ตารางที่ 4: ลักษณะการเสียรูปของโครงข้อหมุน

ตัวอย่าง	ลักษณะการวิบัติ
T1W1	วิบัติที่จุดต่อของโครงสร้าง
T1W2	วิบัติในชิ้นส่วนของโครงข้อหมุน ชิ้นส่วนบนจะเกิดการบิด มีการเสียรูปอย่างเห็นได้ชัด
T1B1	โครงข้อหมุนเกิดการวิบัติในลักษณะเซออกด้านข้างและล้มพับออกด้านข้าง
T1B2	โครงข้อหมุนเกิดการเซและในส่วนรูเจาะเกิดการบิดทำให้โครงข้อหมุนล้มพับออกด้านข้าง
T2W1	วิบัติที่จุดต่อของโครงสร้าง
T2W2	วิบัติจากชิ้นส่วนของโครงข้อหมุน ทำให้โครงข้อหมุนเกิดการเสียรูปและวิบัติไป
T2B1	เซออกด้านข้างทำให้โครงข้อหมุนล้มพับออกไป
T2B2	เซออกด้านข้างทำให้โครงข้อหมุนล้มพับออกไป

5.3. เปรียบเทียบการวิเคราะห์โครงข้อหมุนด้วยวิธีหน่วยแรงที่ยอมให้ (Allowable Stress Design)

จากการคำนวณด้วยวิธี ASD [3] การรับน้ำหนักบรรทุกได้ในช่วงปลอดภัยของโครงข้อหมุนรูปแบบที่ 1 อยู่ที่ 664.88 กิโลกรัม จากการทดสอบจริงของตัวอย่างค่าเฉลี่ย โครงข้อหมุนที่ยึดติดด้วยรูปแบบการเชื่อมรับน้ำหนักได้ 1,545 กิโลกรัม และโครงข้อหมุนที่ยึดติดด้วยสลักเกลียวรับน้ำหนักบรรทุกได้ 800 กิโลกรัม เมื่อเทียบกับการรับน้ำหนักบรรทุกในช่วงปลอดภัยของ ASD โครงข้อหมุนทั้งแบบเชื่อมและแบบสลักเกลียวอยู่ในช่วงปลอดภัย โดยมีค่าอัตราส่วนความปลอดภัยเท่ากับ 2.323 และ 1.203 ของโครงข้อหมุนที่ยึดต่อด้วยการเชื่อมและสลักเกลียวตามลำดับ

จากการคำนวณด้วยวิธี ASD การรับน้ำหนักบรรทุกได้ในช่วงปลอดภัยของโครงข้อหมุนรูปแบบที่ 2 อยู่ที่ 682.46 กิโลกรัม จากการทดสอบจริงของตัวอย่างค่าเฉลี่ย โครงข้อหมุนที่ยึดติดด้วยรูปแบบการเชื่อมรับน้ำหนักบรรทุกได้ 1,860 กิโลกรัม และโครงข้อหมุนที่ยึดติดด้วยสลักเกลียวรับน้ำหนักบรรทุกได้ 875 กิโลกรัม เมื่อเทียบกับการรับน้ำหนักในช่วงปลอดภัยของ ASD โครงข้อหมุนทั้งแบบเชื่อมและแบบสลักเกลียวอยู่ในช่วงปลอดภัย

6. สรุปผล

6.1. การเสียรูปและการรับน้ำหนักของโครงข้อหมุนที่ต่อยึดด้วยสลักเกลียว และโปรแกรม SAP2000 พบว่าค่าเฉลี่ยความแข็งแรงเทียบเท่า (Equivalent Stiffness) ของโครงข้อหมุนรูปแบบที่ 1 และ 2 ที่ยึดด้วยสลักเกลียวจะมีค่าเฉลี่ย 108.18 และ 132.40 ที่ยึดด้วยเชื่อมมีค่าเฉลี่ย 179.11 และ 264.94 และโปรแกรม SAP2000 มีค่าอยู่ที่ 422.48 และ 498.96 จากผลการทดสอบโครงข้อหมุนยึดด้วยสลักเกลียวและเชื่อมรับความแข็งแรงของโครงสร้างได้น้อยกว่าโปรแกรม SAP2000 ทั้ง 2 รูปแบบที่ได้ทำการออกแบบไว้

6.2. จากการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของโครงข้อหมุนที่ยึดต่อด้วยสลักเกลียวและเชื่อม พบว่าทั้งโครงข้อหมุนยึดด้วยสลักเกลียวและเชื่อมรูปแบบที่ 2 รับน้ำหนักบรรทุกได้มากกว่ารูปแบบที่ 1 จากการวิบัติของโครงข้อหมุนจะเห็นได้ว่าโครงที่ยึดต่อด้วยสลักเกลียวจะเสียรูปจะเซ (sway) ออกด้านข้างจึงทำให้เสียรูปเร็วขึ้นเรียกว่า out-off-plan buckling จะเกิดกับชิ้นส่วนรับแรงอัด ส่วนที่ยึดต่อด้วยเชื่อมจะเสียรูปที่ชิ้นส่วน (member) และจุดต่อ (joint) ของโครงข้อหมุน

6.3. จากการทดสอบรับน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้างพบว่าอัตราส่วนความปลอดภัย (safety factor) ของโครงข้อหมุนเมื่อเปรียบเทียบกับการออกแบบตามวิธีหน่วยแรงที่ยอมให้ ของโครงข้อหมุนรูปแบบที่ 1 มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1.20 และ 2.32 เมื่อยึดต่อด้วยสลักเกลียวและเชื่อม ตามลำดับ ส่วนโครงข้อหมุนรูปแบบที่ 2 มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1.28 และ 2.72 เมื่อยึดต่อด้วยสลักเกลียวและเชื่อมตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการยึดต่อด้วยวิธีการเชื่อมให้ค่าความปลอดภัยที่มากกว่าการยึดต่อด้วยสลักเกลียวอย่างเห็นได้ชัด

7. เอกสารอ้างอิง

[1] โสภน วงศ์มีทรัพย์ และเกษม จารุปาน กลศาตร์วิศวกรรม, ภาคสถิตศาตร์ กรุงเทพมหานคร (โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมวิชาการ)

[2] M.E. Kartal, H.B. Başağa & A. Bayraktar, M. Muvafık, 2010, “Effects of Semi-Rigid Connection on Structural Responses”, Electronic Journal of Structural Engineering (10) 2010

[3] AISC (American Institute of Steel Construction), 1989, “Manual of Steel Construction”, Allowable Stress Design, Chicago.

[4] Teemu T. and Markku H., “Tubular Steel Truss Design Using Semi-rigid Joints”, COMPUTING IN CIVIL AND BUILDING ENGINEERING ©ASCE 2014, 1287-1294, 2014