

# ผลกระทบของจุดเชื่อมต่อการรับแรง ของโครงข้อหมุนไม้ไผ่ The Effect of Load capability in joint connection of bamboo truss

อนุชาติ ลีอนันต์ศักดิ์ศิริ<sup>1\*</sup> และ วรวิทย์ โพธิ์จันทร์<sup>2</sup>

<sup>1-2</sup>อาจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ  
จังหวัดขอนแก่น 40000

Anuchat Leeanansaksiri<sup>1\*</sup> and Worawit Phojan<sup>2</sup>

<sup>1-2</sup>Lecturer, Faculty of Engineering,  
Northeastern University, Khon Kaen, Thailand, 40000

\*Email: anuchat.lee@neu.ac.th

## บทคัดย่อ

งานศึกษานี้มีวัตถุประสงค์ดังนี้ 1) เพื่อศึกษาการรับแรงของจุดเชื่อมต่อแบบต่าง ๆ ในโครงข้อหมุนไม้ไผ่ 5 แบบคือ แบบแผ่นประกบไม้อัดคูยัดด้วยสลักไม้ไผ่ แบบแผ่นประกบไม้อัดคูยัดด้วยสลักเกลียว แบบแผ่นประกบไม้อัดเดี่ยวยัดด้วยสลักเกลียว แบบแผ่นประกบไม้อัดเดี่ยวยัดด้วยสลักเกลียวเสริมด้วยปูนเกร้าท์ และแบบแผ่นเหล็กรูอเนกประสงค์ยัดด้วยสลักเกลียว 2) เพื่อศึกษากำลังรับแรงของโครงข้อหมุนไม้ไผ่จากการทดสอบเปรียบเทียบกับทฤษฎี จากผลการศึกษาพบว่าจุดต่อแบบแผ่นประกบไม้อัดคูยัดด้วยสลักเกลียวรับน้ำหนักได้สูงสุดเท่ากับ 1,912 kg แต่จุดต่อที่ดีที่สุดคือแบบแผ่นเหล็กรูอเนกประสงค์ยัดด้วยสลักเกลียวเนื่องจากทำให้องค์อาคารเกิดการวิบัติก่อนจุดต่อ ผลของการต่อโดยใช้แผ่นประกบไม้อัดคูจะรับน้ำหนักได้มากกว่าแผ่นประกบไม้อัดเดี่ยว 68% ส่วนอุปกรณ์ที่ใช้ยึดแผ่นประกบพบว่าสลักเกลียวจะช่วยให้การรับแรงได้มากกว่า สลักไม้ไผ่ 141% เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองกับทฤษฎีโครงสร้างพบว่าจุดต่อทั้ง 5 แบบยังไม่สามารถเชื่อมต่อองค์อาคารได้เท่าที่ควร มีการยัดเรียงและส่งถ่ายแรงระหว่างองค์อาคารต่ำทำให้มีระยะการแอ่นตัวในการทดลองสูงกว่าระยะการแอ่นตัวในทางทฤษฎีถึง 4 เท่า

**คำสำคัญ:** โครงข้อหมุนไม้ไผ่, สลักไม้ไผ่, ปูนเกร้าท์

## Abstract

The objectives of this study were as follows: 1) To study the load capacity of five different connections in a bamboo truss, including double-laminated particleboard with bamboo connectors, double-laminated particleboard with bolts, single-laminated particleboard with bolts, single-laminated particleboard with bolts and reinforced by cement grout, and perforated metal sheet with bolts, and 2) To investigate the performance of the load capacity of a bamboo truss compared with the theoretical test. The study found that the connectors of double-laminated particleboard with bolts illustrated the load capacity as equal to 1,912 kg. However, the optimum connection was found in the perforated metal sheet with bolts due to the failure of structural members that occurred ahead of the connectors. The results showed that the double-laminated particleboard has the load capacity 68% higher than single-laminated particleboard. Bolts were performed as the tool to fasten laminated board with the load capacity 141% greater than applying with bamboo connectors. After the comparison between findings from this research with structural theory, it found that all five connections were not able to connect structural member as perfect as they should be. There were low bracing and load transfer between structural members, resulting in the deflection being four times higher than the results of the test from structural theory.

**Keywords:** bamboo truss, bamboo connectors, cement grout

**Received:** September 9, 2022; **Revised:** October 27, 2022; **Accepted:** December 1, 2022

## 1. บทนำ

ในประเทศไทยงานโครงสร้าง เช่น เสา คาน พื้น ของอาคารขนาดไม่เกิน 2 ชั้นส่วนใหญ่วิศวกรหรือสถาปนิกจะนิยมใช้วัสดุคอนกรีตเสริมเหล็กหรือเลือกใช้เหล็กรูปพรรณเนื่องจากมีมาตรฐานกำกับในการทดสอบการทำงานของจุดต่อต่าง ๆ รวมถึงแรงงานได้รับการฝึกฝนให้มีทักษะในการใช้งานวัสดุเหล่านี้ เพราะเป็นที่นิยมในการทำงานอย่างกว้างขวาง ในขณะที่บางแห่งเจ้าของงานบางส่วนเลือกใช้ไม้เนื้อแข็งในงานโครงสร้าง เช่น ไม้พยุง ไม้เต็ง ไม้รัง ไม้สัก แต่ราคาไม้เหล่านี้ค่อนข้างสูงเพราะไม้ที่ใช้ต้องมีอายุมากกว่า 20 ปี จนอาจจะต้องนำเข้าจากต่างประเทศทำให้มีค่าใช้จ่ายที่สูงขึ้น แตกต่างจากไม้ไผ่ซึ่งมีอยู่ทั่วไปในพื้นที่เขตร้อนอย่างเช่นประเทศไทย และมีคุณสมบัติทางกลเช่นเดียวกับไม้เนื้อแข็ง ความแข็งแรงในการตัดมากกว่า  $1,000 \text{ kg/cm}^2$  ตามเกณฑ์การจำแนกประเภทของไม้ (สำนักวิจัยการจัดการป่าไม้และผลิตป่าไม้, 2564) โดยอายุไม้ไผ่ 3-5 ปี ก็สามารถนำมาใช้งานได้แล้ว สำหรับไม้ไผ่เป็นหนึ่งในวัสดุที่นำมาใช้ในงานวิศวกรรมโครงสร้าง มีความเป็นไปได้ในทางเศรษฐศาสตร์รวมถึงมีสถิติและความน่าสนใจของคุณสมบัติทางกลเพราะในโครงสร้างระดับย่อยของลำต้นไม้ไผ่

แสดงให้เห็นถึงลักษณะของเส้นใยเซลลูโลสและโครงข่ายที่เชื่อมกันเปรียบประหนึ่งเป็น “วัสดุผสมผสานแบบธรรมชาติ” ลักษณะท่อนไม้กลวง มีปล้องที่รับแรงดึงได้มาก ผิวนอกเหนียวและแข็งคล้ายกับการเสริมเหล็กในคอนกรีตทำให้รับแรงอัดและแรงดึงได้อย่างดีเยี่ยม (Riki et al, 2019) ในประเทศไทยมีการทดสอบคุณสมบัติทางด้านกายสมบัติและกลสมบัติของไม้ไผ่จำนวน 10 ชนิด ได้แก่ ไผ่ตง ไผ่สีสุก ไผ่ซาง ไผ่ไร่ ไผ่เลี้ยง ไผ่หก ไผ่ป่า ไผ่รวกใหญ่ ไผ่รวกเล็ก และไผ่ล้ามะลอก (บุญส่ง สมเพาะ และคณะ, 2564) พบว่าไม้ไผ่ตงกล่าวมีศักยภาพที่ดีสามารถนำมาใช้งานโครงสร้างได้ดีเหมือนกับไม้เนื้อแข็งอย่างไม้ตะเคียนทอง โดยไม้ไผ่บางชนิด เช่น ไผ่ตง ไผ่ซางรับแรงอัดได้มากกว่า  $600 \text{ kg/cm}^2$  รับแรงดึงได้มากกว่า  $900 \text{ kg/cm}^2$  เป็นต้น ประโยชน์ของไม้ไผ่ที่ใช้ในโครงสร้างมีมากมายตามที่กล่าวข้างต้นนี้จึงเหมาะสมที่จะนำมาใช้เพื่อขยายผลในงานโครงสร้างต่าง ๆ โดยเฉพาะงานโครงสร้างที่ต้องมีน้ำหนักเบา มีระยะพาดยาวเพื่อเพิ่มพื้นที่ใช้สอยแต่รับน้ำหนักได้อย่างโครงสร้างข้อหมุน ( truss ) ที่นิยมใช้มากในงานหลังคา

จากงานวิจัยที่ผ่านมา ( Vengala et al , 2008 ; Masdar et al , 2014 ; Paudel , 2008) ได้ศึกษากำลังรับแรงของโครงสร้างไม้ไผ่ในรูปแบบต่างๆกันเช่น แบบโดม แบบถักเป็นสามเหลี่ยมโดยมีรูปแบบการยึดจุดต่อส่วนใหญ่จะใช้การยึดด้วยสลักเกลียวเหล็ก ซึ่งโครงข้อหมุนไม้ไผ่ในต่างประเทศมีความสามารถรับน้ำแรงได้เป็นอย่างดีสามารถนำไม้ไผ่มาใช้ในการก่อสร้างหลังคาที่พักอาศัยได้ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในด้านจุดเชื่อมต่อรูปแบบต่าง ๆ ในการยึดชิ้นส่วนไม้ไผ่ให้มีความแข็งแรงโดยใช้การขันสลักเกลียวเหล็ก (Masdar et al , 2014) การยึดต่อด้วยแผ่นเหล็กประกบกับชิ้นยึดชิ้นส่วน (Sassu et al , 2016) และการใช้เชือกสลิงพันชิ้นส่วน (Lao, 2021) เทคนิคการยึดชิ้นส่วนดังที่กล่าวมาให้ผลการยึดต่อโครงสร้างที่ดีสามารถนำไปใช้งานได้

สำหรับโครงข้อหมุนจะต้องนำวัสดุมาเชื่อมต่อกันให้เป็นองค์อาคาร เมื่อนำไม้ไผ่ซึ่งมีจุดอ่อนจากการเชื่อมต่อมาทำเป็นโครงข้อหมุนแล้วย่อมจะทำให้โครงสร้างดังกล่าวไม่สามารถรับแรงได้ตามกำลังสูงสุดของไม้ไผ่เพื่อให้เกิดองค์ความรู้ที่นำไปใช้งานโครงสร้างไม้ไผ่ได้ ดังนั้น งานวิจัยจึงนี้ได้เล็งเห็นความสำคัญของการศึกษาเกี่ยวกับผลของจุดเชื่อมต่อในการรับแรงของโครงข้อหมุนไม้ไผ่ เพื่อหารอยต่อที่แข็งแรง มีความเหมาะสม และรับน้ำหนักได้อย่างปลอดภัย เป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจในการสร้างโครงข้อหมุนเพื่อใช้เป็นโครงสร้างรับน้ำหนักของหลังคาต่อไป

## 2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาการรับแรงของจุดเชื่อมต่อรูปแบบต่าง ๆ ในโครงข้อหมุนไม้ไผ่แบบโหว่ ซึ่งประกอบด้วยแบบแผ่นประกบไม้อัดคู่ยึดด้วยสลักไม้ไผ่, แบบแผ่นประกบไม้อัดคู่ยึดด้วยสลักเกลียว, แบบแผ่นประกบไม้อัดเดี่ยวยึดด้วยสลักเกลียว, แบบแผ่นประกบไม้อัดเดี่ยวยึดด้วยสลักเกลียวเสริมด้วยปูนเกร้าท์ และแบบแผ่นเหล็กรูอเนกประสงค์ยึดด้วยสลักเกลียว

## 3. วิธีดำเนินการศึกษา

วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัยประกอบด้วย ไม้ไผ่ที่ใช้ในการทดสอบเป็นไม้เลี้ยงเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ  $5.5 \pm 1$  เซนติเมตร โดยไม้ไผ่เลี้ยงที่ใช้เป็นแบบไม้ไผ่แห้งที่ทำการตากแดดและเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเพื่อรอการ

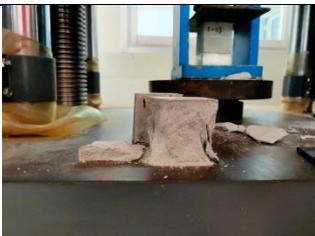
ประกอบเป็นโครงข้อหมุน สลักเกลียวและสลักไม้สำหรับยึดโครงสร้าง ปูน เกร้าที่ไม้อัดแบบหล่อคอนกรีตอย่างหนาขนาด 10 มิลลิเมตร และเหล็กกรูเนกประสงค์ ดังแสดงในตารางที่ 1

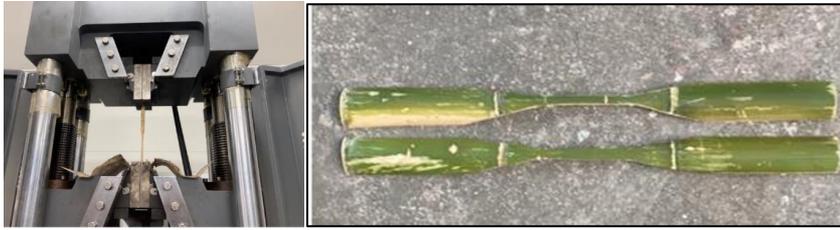
### 3.1 การทดสอบคุณสมบัติของไม้ไผ่เลี้ยงและปูนเกร้าที่

การทดสอบคุณสมบัติของไม้ไผ่เลี้ยงได้ทำการทดสอบกำลังรับแรงดึงของไม้ไผ่ตามมาตรฐาน (ASTM D 638-14) โดยตัดขึ้นไม้ไผ่ให้มีความยาว 700 มิลลิเมตร ดำสำหรับดึงยาว 200 มิลลิเมตร โดยมีคอคอดสำหรับดึงยาว 300 มิลลิเมตร ความหนาเท่ากับความหนาของเนื้อไม้ไผ่ หรือหนาน้อยกว่า 10 มิลลิเมตร ดังภาพที่ 1

การทดสอบกำลังรับแรงอัดของปูนเกร้าที่ได้ทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดตามมาตรฐาน (ASTM C109-02) ทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดที่อายุการบ่ม 7 ,14 และ 28

ตารางที่ 1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

ภาพวัสดุอุปกรณ์	ชื่อวัสดุอุปกรณ์	หมายเหตุ
	ไผ่เลี้ยงเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5.5±1 เซนติเมตร	ไผ่เลี้ยงในงานวิจัยมาจากพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
	สลักเกลียวและสลักไม้สำหรับยึดโครงสร้าง และแผ่นไม้อัดหนา 10 มิลลิเมตร	สลักเกลียวชนิด M12 ความยาว 10 เซนติเมตร สลักไม้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร
	ปูนเกร้าที่	ยี่ห้อ LANKO701
	เหล็กกรูเนกประสงค์	ตามท้องตลาดทั่วไปความหนา 3 มิลลิเมตร

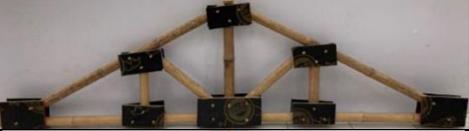


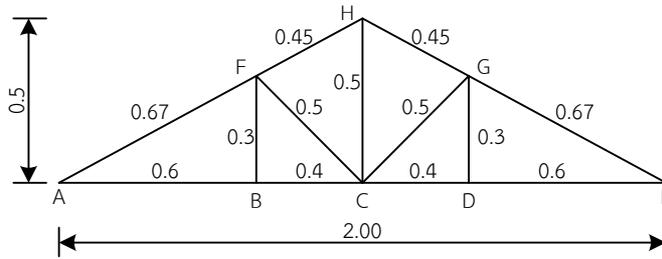
ภาพที่ 1 การเตรียมตัวอย่างไม้ไผ่เลี้ยงในการทดสอบกำลังรับแรงดึงโดยใช้เครื่อง UTM

### 3.2 การทดสอบโครงข้อหมุนไม้ไผ่และการติดตั้งชุดทดสอบกำลังรับแรงโครงข้อหมุน

การเตรียมตัวอย่างโครงข้อหมุนในการทดสอบประกอบโครงข้อหมุนทั้งหมด 15 ตัวอย่าง โดยจุดต่อแต่ละแบบใช้ 3 ตัวอย่างเพื่อใช้ในการหาค่าเฉลี่ยกำลังรับแรง โดยมีรูปแบบการต่อ 5 แบบดังแสดงในตารางที่ 2 โดยตัวอย่างมีความยาว 2 เมตร ความสูงสูงสุด 0.5 เมตร ดังแสดงในภาพที่ 2

ตารางที่ 2 ตัวอย่างโครงข้อหมุนในการทดสอบ

รูปโครงข้อหมุน	รูปแบบการต่อ	สัญลักษณ์ของตัวอย่าง
	แบบแผ่นประกบกับไม้อัดคูยึดด้วยสลักไม้ไผ่	T1
	แบบแผ่นประกบกับไม้อัดคูยึดด้วยสลักเกลียว	T2
	แบบแผ่นประกบกับไม้อัดเดี่ยวยึดด้วยสลักเกลียว	T3
	แบบแผ่นประกบกับไม้อัดเดี่ยวยึดด้วยสลักเกลียวเสริมด้วยปูน เกร้าท์	T4
	แบบแผ่นเหล็กรูอเนกประสงค์ยึดด้วยสลักเกลียว	T5



ภาพที่ 2 ความยาวของชิ้นส่วนโครงข้อหมุนและสัญลักษณ์ตำแหน่งจุดต่อหน่วยเมตร

การติดตั้งชุดทดสอบกำลังรับแรงโครงข้อหมุนโดยทำการติดตั้งโครงข้อหมุนในตำแหน่งการทดสอบดังแสดงในภาพที่ 3 ตำแหน่งของจุดรองรับของโครงข้อหมุนจะใช้เหล็กประกับยึดฐานรองรับทั้ง 2 ด้าน และทำการยึดชุดให้แรงด้วยปัมมือที่ตำแหน่งคานด้านบนของแท่นทดสอบ โดยการให้แรงกระทำจะลดลงที่ตำแหน่งจุดต่อ H ซึ่งจะมีแผ่นเหล็กทำหน้าที่ถ่ายแรงเข้าหน้าตัดไม้ไผ่ กดด้วยปัมมือจนตัวอย่างโครงข้อหมุนเกิดการวิบัติ



ภาพที่ 3 การติดตั้งชุดทดสอบกำลังรับแรงโครงข้อหมุน

### 3.3 การเปรียบเทียบการแอนตัวของโครงข้อหมุนจากทฤษฎีและการทดสอบ

การหาค่าการแอนตัวใช้ทฤษฎีงานเสมือน (virtual work) มีพื้นฐานมาจากหลักการอนุรักษ์พลังงานหรือบางครั้งถูกเรียกว่าวิธี Unit Load เป็นหลักการที่ใช้ในการวิเคราะห์สมดุลของโครงสร้าง (Hibbeler, 2007) โดยจะทำการหาแรงหนึ่งหน่วย ณ จุดต่อ H (ค่า  $n$ ) เพื่อตรวจสอบค่าการแอนตัวตามทฤษฎี และหาแรงในชิ้นส่วนของข้อหมุนแต่ละประเภทโดยใช้น้ำหนักบรรทุกทุกประลัยที่เกิดขึ้นจากการทดลองของโครง ข้อหมุนแต่ละประเภท มาคำนวณแรงที่เกิดขึ้นในชิ้นส่วน (ค่า  $N$ ) นำค่าที่ได้มาคูณกับความยาว ( $nNL$ ) และหาผลรวมของ  $nNL$  หารด้วยพื้นที่ และโมดูลัสยืดหยุ่นของโครงข้อหมุนแต่ละประเภท ดังแสดงในสมการที่ 1

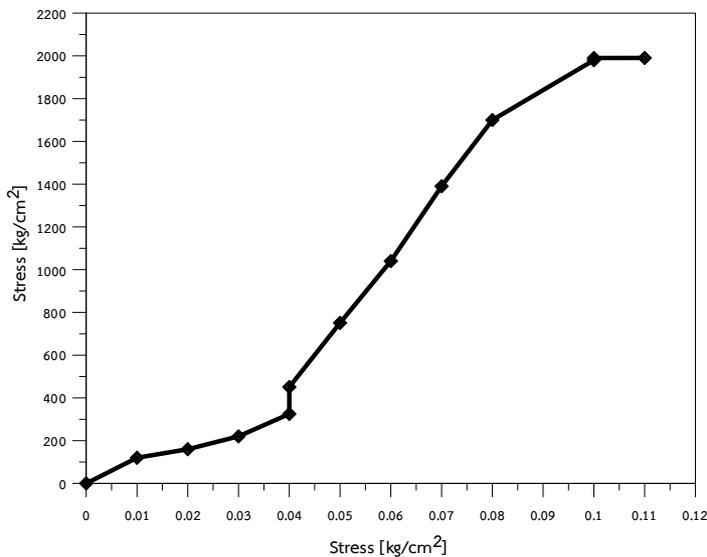
$$\delta = \sum \left[ \frac{nNL}{AE} \right] \quad (1)$$

- เมื่อ  $\delta$  คือ การแอ่นตัวสูงสุดของโครงสร้าง  
 $n$  คือ แรงหนึ่งหน่วยจากการวิเคราะห์โครงสร้าง  
 $N$  คือ แรงที่เกิดขึ้นในชิ้นส่วน  
 $L$  คือ ความยาวของชิ้นส่วนโครงสร้าง  
 $E$  คือ โมดูลัสยืดหยุ่นของโครงสร้าง

## 4. ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

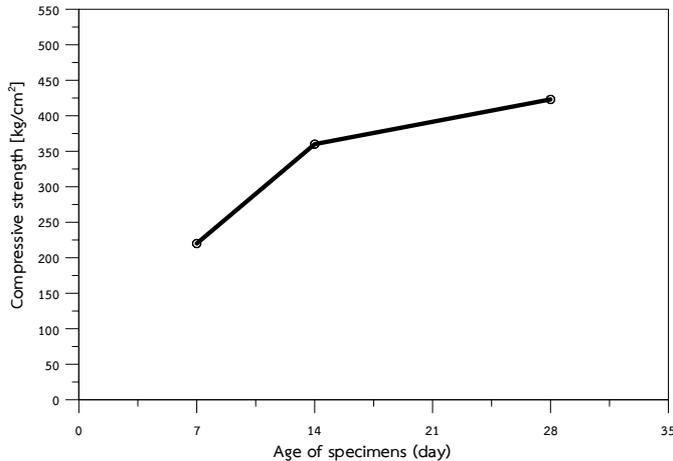
### 4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติของของไม้ไผ่เลี้ยงและปูนเกร้าท์

ผลการทดสอบคุณสมบัติของไม้ไผ่เลี้ยงได้ทำการทดสอบกำลังรับแรงดึงของไม้ไผ่ตามมาตรฐาน (ASTM D 638-14) โดยใช้เครื่อง UTM (Universal Testing Machine) ดึงชิ้นส่วนตัวอย่างไม้ไผ่เลี้ยงซึ่งค่าของหน่วยแรงดึงสูงสุดเท่ากับ 1,990 kg/cm<sup>2</sup> แล้วนำค่ามาคำนวณหาค่า โมดูลัสยืดหยุ่นของไม้ไผ่ จากการทดสอบแรงดึงของไม้ไผ่ได้ผลการทดสอบดังภาพที่ 4 โดยผลการวิเคราะห์ให้ใช้โมดูลัสยืดหยุ่นที่ยอมให้เท่ากับ 0.6Fy แนะนำโดย (Panyakapo, 2014) ได้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของไม้ไผ่เลี้ยงในช่วงอีลาสติก E เท่ากับ 19,900 ksc.



ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของไม้ไผ่เลี้ยง

ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของปูนเก็ร้าที่ทดสอบกำลังรับแรงอัดตามมาตรฐาน (ASTM C109-02) ที่อายุการบ่ม 7, 14 และ 28 ดังแสดงในภาพที่ 5 โดยอัตราส่วนที่ใช้ในงานวิจัยได้กำหนดค่า อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (water cement ratio) เท่ากับ 0.45



ภาพที่ 5 กำลังรับแรงอัดของปูนเก็ร้าที่อายุ 7, 14 และ 28 วัน

จากภาพที่ 5 กำลังรับแรงอัดของปูนเก็ร้าที่อายุ 7, 14 และ 28 วัน โดยมีค่ากำลังรับแรงอัดเท่ากับ 220 , 360 และ 423 kg/cm<sup>2</sup> ตามลำดับ การพัฒนากำลังรับแรงอัดจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากผลของการทำปฏิกิริยาไฮเดรชันระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ (ปริณูญา จินดาประเสริฐและชัย จาตุรพิทักษ์กุล , 2547) ความสามารถในการรับแรงอัดของปูนเก็ร้าที่มีค่าสูงกว่าปูนซีเมนต์มอร์ตาร์ทั่วไปที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (water cement ratio) เดียวกัน (Hu & Wang, 2014) เนื่องจากผลของแรงยึดเหนี่ยวของตัววัสดุที่มีคุณสมบัติละเอียดกว่าปูนมอร์ตาร์ธรรมดา

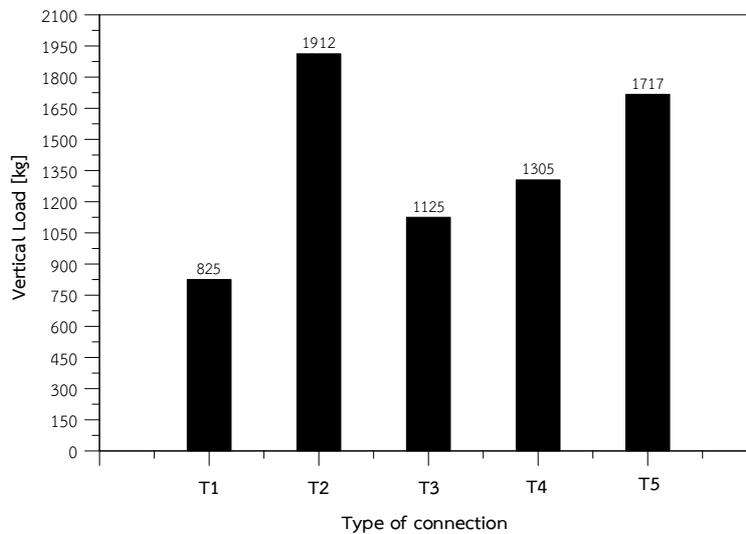
#### 4.2 ผลการทดสอบโครงข้อหมุนไม้ไผ่และรูปแบบการวิบัติ

1) ผลการทดสอบโครงข้อหมุนไม้ไผ่เลี้ยงโดยการให้แรงอัดลงที่ตำแหน่งจุดต่อ H ด้วยปืมมือจนตัวอย่างโครงข้อหมุนเกิดการวิบัติซึ่งได้ผลการทดสอบทั้ง 5 รูปแบบการยึดต่อโครงข้อหมุนดังแสดงในตารางที่ 3 และภาพที่ 6 ผลการทดสอบพบว่าโครงข้อหมุนที่ใช้แผ่นประกบไม้อัดคู่ยึดด้วยสลักเกลียว (T2) รับน้ำหนักได้สูงสุดสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Sassu et al, 2016) รองลงมาเป็นแผ่นเหล็กรูอเนกประสงค์ยึดด้วยสลักเกลียว (T5) แผ่นประกบไม้อัดเดี่ยวยึดด้วยสลักเกลียวเสริมปูนเก็ร้า (T4) แผ่นประกบไม้อัดเดี่ยวยึดสลักเกลียว (T3) และแผ่นไม้อัดคู่ยึดด้วยสลักไม้ไผ่ (T1) ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบข้อต่อแต่ละประเภทจะพบว่าการใช้แผ่นประกบไม้อัดคู่ (T2) จะทำให้รับน้ำหนักได้มากกว่าแผ่นประกบไม้อัดเดี่ยว (T3) ถึง 1.1 เท่า เมื่อเปรียบเทียบอุปกรณ์ที่ใช้ยึดจะพบว่าสลักเกลียวทำให้จุดต่อรับแรงได้มากขึ้นกว่าสลักไม้ไผ่ถึง 1.4 เท่า เห็นได้จากสลักไม้ไผ่โดนเฉือนขาดแต่สลักเกลียวยังไม่เกิดความเสียหาย ส่วนการเสริมกำลังด้วยปูนเก็ร้าเมื่อเทียบกับการไม่เสริมปูนเก็ร้าไม่มีความแตกต่างในการรับกำลังมีค่าใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบกำลังรับแรงกดอัดโครงข้อหมุนไม้ไผ่เฉียง

ประเภทข้อต่อ	สัญลักษณ์	กำลังรับแรงอัดสูงสุด (kg)	การแอ่นตัวสูงสุด (mm)
แผ่นประกบกับไม้อัดคู่อัดด้วยสลักไม้ไผ่	T1	825	50
แผ่นประกบกับไม้อัดคู่อัดด้วยสลักเกลียว	T2	1,912	120
แผ่นประกบกับไม้อัดเดี่ยวอัดด้วยสลักเกลียว	T3	1,125	110
แผ่นประกบกับไม้อัดเดี่ยวอัดด้วยสลักเกลียวเสริมด้วยปูนเกร้าท์	T4	1,305	125
เหล็กแผ่นรูเนกประสงค์ยึดด้วยสลักเกลียว	T5	1,717	85



ภาพที่ 6 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดโครงข้อหมุนไม้ไผ่เฉียง

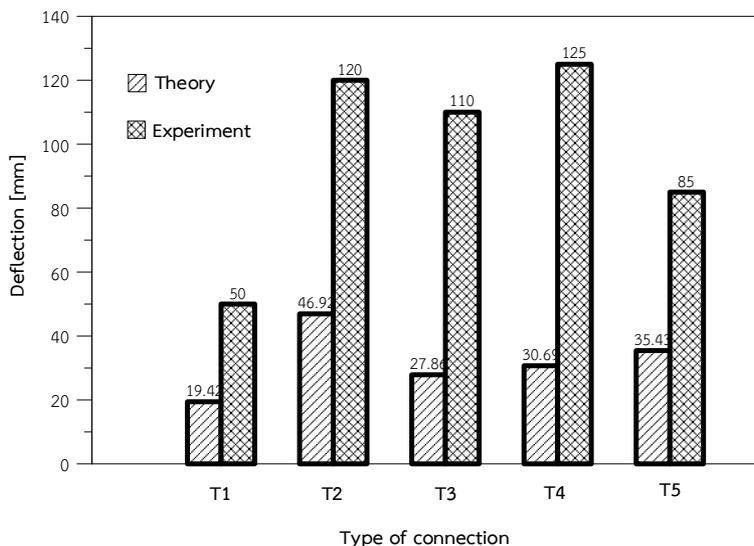
2) รูปแบบการวิบัติของโครงข้อหมุน จากการวิจัยพบว่าเมื่อโครงข้อหมุนได้รับแรงกระทำที่จุด H กดลงด้วยแรงอัดจากปมมือ ตัวอย่างทั้ง 5 แบบ จะเกิดการวิบัติที่จุดต่อ โดยพฤติกรรมการวิบัติจะเกิดจากแรงดึงระหว่างข้อต่อทำให้ชิ้นส่วนไม้ไผ่เกิดการยืดตัวสูงส่งผลทำให้การแอ่นตัวระหว่างการทดสอบมีค่าสูงแต่โครงข้อหมุนยังมีความสามารถรับน้ำหนักต่อได้ การยึดจุดต่อด้วยสลักไม้ไผ่มีประสิทธิภาพต่ำกว่าการต่อด้วยสลักเกลียวเนื่องจากเมื่อโครงข้อหมุนรับแรงกระทำจะส่งผลต่อจุดต่อของโครงสร้างโดยตรงสลักไม้ไผ่เกิดการแตกเสียหายและทำให้แผ่นประกบกับไม้ไผ่เสียรูปส่งผลต่อกำลังรับแรงของโครงสร้าง การวิบัติของจุดต่อแต่ละแบบได้สรุปดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 รูปแบบการวิบัติของจุดต่อโครงข้อหมุนไม้ไผ่

รูปการวิบัติ	ลักษณะการวิบัติของไม้ไผ่
	<p>แผ่นประกบกับไม้ไผ่คู้ยึดด้วยสลักไม้ไผ่ (T1) ลักษณะการวิบัติจะเกิดบริเวณจุดต่อ G และ D โดยพฤติกรรมรับแรงดึงส่งผลต่อสลักไม้ไผ่เกิดการแตกหักทำให้จุดต่อไม่สามารถยึดรั้งโครงสร้างได้เกิดการเสีรูปร่างที่แผ่นประกบกับไม้ไผ่</p>
	<p>แผ่นประกบกับไม้ไผ่คู้ยึดด้วยสลักเกลียว (T2) ลักษณะการวิบัติจะเกิดบริเวณจุดต่อ G และ F โดยพฤติกรรมรับแรงดึงสลักเกลียวสามารถรับแรงได้ดีกว่าสลักไม้ไผ่ โดยไม่เกิดความเสียหายที่สลักแต่จะเกิดการเสีรูปร่างที่แผ่นประกบกับไม้ไผ่</p>
	<p>แผ่นประกบกับไม้ไผ่คู้ยึดด้วยสลักเกลียว (T3) ลักษณะการวิบัติจะเกิดบริเวณจุดต่อ G และ F โดยพฤติกรรมรับแรงดึงสลักเกลียวสามารถรับแรงได้ดีกว่าสลักไม้ไผ่ โดยไม่เกิดความเสียหายที่สลักแต่จะเกิดการเสีรูปร่างที่แผ่นประกบกับไม้ไผ่สูงกว่าแผ่นประกบกับไม้ไผ่คู้ยึดด้วยสลักเกลียว (T2)</p>
	<p>แผ่นประกบกับไม้ไผ่คู้ยึดด้วยสลักเกลียวเสริมด้วยปูน เกร้าท์ (T4) ลักษณะการวิบัติจะเกิดบริเวณจุดต่อ G และ F โดยพฤติกรรมรับแรงดึง การเสริมด้วยปูนเกร้าท์ไม่ส่งผลต่อการรับแรงของโครงข้อหมุนมากเท่าที่ควร เกิดการแตกเสียหายของปูนเกร้าท์ระหว่างการทดสอบ</p>
	<p>เหล็กแผ่นรูวงประสงค์ยึดด้วยสลักเกลียว (T5) ลักษณะการวิบัติจะเกิดบริเวณจุดต่อ G และ F เช่นเดียวกับการยึดต่อรูปแบบที่กล่าวมาแต่พฤติกรรมได้เปลี่ยนไปจากการรับแรงดึงเป็นรับแรงอัดส่งผลต่อกำลังรับแรงของโครงข้อหมุนที่เพิ่มขึ้น ตัววัสดุเหล็กรูวงประสงค์เกิดการโก่งตัวเมื่อรับแรงสูงสุด</p>

#### 4.3 การเปรียบเทียบการแอ่นตัวของโครงข้อหมุนจากทฤษฎีและการทดสอบ

ผลการวิเคราะห์การแอ่นตัวของโครงข้อหมุนไม้ไผ่ใช้วิธีการวิเคราะห์ด้วยทฤษฎีงานเสมือน (virtual work) ซึ่งได้ผลการวิเคราะห์จากทฤษฎีเปรียบเทียบกับผลของการทดสอบดังแสดงในภาพที่ 7 จากการวิเคราะห์ผลจากทฤษฎีเปรียบเทียบกับผลการทดสอบพบว่า ค่าการแอ่นตัวที่ได้จากการทดสอบจะมีค่าสูงกว่าจากการวิเคราะห์ทางทฤษฎีโดยใช้แรงสูงสุดจากการทดสอบตัวอย่างโครงข้อหมุน T1 ,T2, T3, T4 และ T5 ซึ่งมีเท่ากับ 2.57 , 2.55, 3.95, 4.07 และ 2.40 เท่า ตามลำดับ เนื่องจากพฤติกรรมของจุดต่อในโครงข้อหมุนในการเชื่อมต่อของชิ้นส่วนไม้และชิ้นส่วนเหล็กที่แตกต่างกัน โครงข้อหมุนไม้ไผ่จะเกิดการวิบัติที่จุดต่อแต่ชิ้นส่วนยังไม้ได้รับความเสียหาย แต่พฤติกรรมของโครงข้อหมุนตามทฤษฎีจะต้องวิบัติที่ชิ้นส่วนเป็นหลักไม่ว่าจะวิบัติด้วยแรงดึงหรือแรงอัด (Chandrasekaran, 2019)



ภาพที่ 7 การเปรียบเทียบการแอ่นตัวของโครงข้อหมุนจากทฤษฎีและการทดสอบ

### 5. สรุปผลงานวิจัย

1) การต่อโครงข้อหมุนด้วยแผ่นประกบไม้อัดคู่สามารถรับน้ำหนักได้มากกว่าแผ่นประกบไม้อัดเดี่ยวถึง 68% สำหรับการใส่สลักเกลียวยึดจะช่วยให้รับแรงได้มากกว่าสลักไม้ไผ่ 141 % ส่วนการเสริมกำลังด้วยปูนเกร้าท์ไม่มีความแตกต่างในการรับแรงซึ่งเกิดจากเนื้อที่หน้าตัดของปูนเกร้าท์ในลำไม้ไผ่มีหน้าตัดน้อยส่งผลต่อการรับแรงของชิ้นส่วน

2) รูปแบบจุดต่อแบบแผ่นประกบไม้อัดคู่ยึดด้วยสลักเกลียว (T2) รับน้ำหนักได้สูงสุดมีค่าเท่ากับ 1,912 kg รองลงมาคือจุดต่อแบบแผ่นเหล็กรูอเนกประสงค์ยึดด้วยสลักเกลียว (T5) รับน้ำหนักได้สูงสุดเท่ากับ 1,717 kg การใช้เหล็กรูอเนกประสงค์ยึดจุดต่อโครงสร้างเป็นวิธีการที่ทำได้ง่าย รวดเร็วในการต่อชิ้นส่วนโครงข้อหมุนเมื่อเทียบกับอีก 4 รูปแบบเหมาะแก่การนำไปใช้งานได้จริง

3) รูปแบบการวิบัติของจุดต่อทั้ง 5 รูปแบบจะเกิดการวิบัติที่จุดเชื่อมต่อโดยตรงส่งผลต่อการรับแรงของโครงข้หมุน โดยจุดต่อเกิดความเสียหายด้วยแรงดึงสำหรับการต่อแบบแผ่นไม้ประกบ และเกิดพฤติกรรมรับแรงอัดเมื่อจุดต่อเป็นแบบการใช้เหล็กกรูเนกประสงค์ยึดจุดต่อโครงสร้าง

## 6. ข้อเสนอแนะ

จากงานวิจัยดังกล่าวผลของจุดเชื่อมต่อมีผลต่อการยึดโครงข้หมุนอย่างมีนัยสำคัญ ควรจะศึกษาเรื่องอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการยึดไม้ไผ่หลายรูปแบบ และควรใช้โปรแกรมทางด้านไฟไนเอลิเมนต์ในการจำลองต่อไป

## 7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่ให้พื้นที่ในการติดตั้งชุดทดสอบโครง ข้หมุนไม้ไผ่ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้เป็นอย่างสูง ขอขอบคุณทีมผู้วิจัย คุณไกรสร มุ่งมาตร , คุณศศิภิจจ์ ทธิภาส และคุณเปรมศักดิ์ ธรรมภูเขียว สุดท้ายนี้ผู้วิจัยหวังว่างานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้สนใจศึกษาต่อไป

## 8. เอกสารอ้างอิง

- American Society for Testing and Materials. (ASTM C109-02). (2002). Standard test method for compressive strength of hydraulic cement. ASTM International. [https://www.astm.org/c0109\\_c0109m-02.html](https://www.astm.org/c0109_c0109m-02.html)
- American Society for Testing and Materials. (ASTM D638-14). (2014). Standard test method for tensile properties of plastics. ASTM International. <https://www.astm.org/d0638-14.html>
- Chandrasekaran, S. (2019). *Advanced steel design of structures*. (1st ed.). CRC Press.
- Hibbeler, R.C. (2007). *Engineering mechanics static*. (11th ed.). Pearson Education, Inc.
- Hu, J. & Wang, K. (2014). Influence of cement fineness and water-to-cement ratio on mortar early-age heat of hydration and set times. *Construction and Building Materials*, 50, 657–663.
- Lao, H. (2021). Connections for Bamboo Structures: Proceedings of the 2nd International Conference on Geology, Mapping and Remote Sensing. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1-8.
- Masdar, A., Suhendro, B., Siswosukarto, S. & Sulisty, D. (2014). Determinant of Critical Distance of Bolt on Bamboo Connection. *Jurnal Teknologi Sciences and engineering*, 69( 6) , 111–115.
- Panyakapo, P. (2014). Cyclic pushover analysis procedure to estimate seismic demands for buildings. *Engineering Structure*, 66, 10–23.

Riki, J.T.B., Sotannde, O. A. & Oluwadare, A. O. (2019). Anatomical and chemical properties of wood and their practical implications in pulp and paper production. *Journal of Research in Forestry, Wildlife & Environment*, 11(3), 358-368.

Seixas, M. A., Ripper, L. A., & Ghavami, K. (2014). Deployable bamboo structure for sustainable architecture. *Proceedings of the 15th International conference on Non-conventional Materials and Technologies* . 23-25.

Vengala, J., Jagadeesh, H.N., & Pandey, C.N. (2008), Development of bamboo structure in India. *Proceedings of the 1st International conference on modern bamboo structures*. 51-64.

## ออนไลน์

บุญส่ง สมเพาะ, วัลยุทธ เพ็องวิวัฒน์, ปิยะวดี บัวจงกล, และ วรัญญ ราชฤทธิ์เจริญ. (2564, 15 พฤษภาคม). คุณสมบัติไม้ไผ่บางชนิดเพื่อใช้งานก่อสร้าง. สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้. [https://forprod.forest.go.th/forprod/techtransfer/document/คลังความรู้/2.ไม้เศรษฐกิจในประเทศไทย/1.ไม้/5.คุณสมบัติของไม้ไผ่\(Thai\).pdf](https://forprod.forest.go.th/forprod/techtransfer/document/คลังความรู้/2.ไม้เศรษฐกิจในประเทศไทย/1.ไม้/5.คุณสมบัติของไม้ไผ่(Thai).pdf)

สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้. (2564, 18 พฤษภาคม). *คลังความรู้รายงานวิจัย*. สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้. <http://forprod.forest.go.th/forprod/forprod2017/Knowledgebase/>