พฤติกรรมการรับแรงอัดของเสาสั้นประกอบไม้ยางพาราที่ถูกยึดด้วยตะปู

Compressive Behavior of Rubber Wood Composite Short Column Fixed with Nails

พงศ์ศักดิ์ ศุขมณี[1] ถาวร เกื้อสกูล[2,*] และ อรุณ ลูกจันทร์[3]

[1,2,3] สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย จ.สงขลา

**Corresponding author; E-mail address: tavorn.k@rmutsv.ac.th*

บทคัดย่อ

การประกอบไม้ยางพาราที่แปรรูปแล้ว เพื่อการใช้งานทางด้านวิศวกรรมโยธามีรูปแบบที่หลากหลาย การยึดด้วยตะปูเป็นรูปแบบหนึ่งที่ทำให้ไม้ยางพาราที่ถูกยึดเข้าด้วยกันมีความแข็งแรงและสามารถรับกำลังได้ดีขึ้น การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เบื้องต้นเพื่อศึกษารูปแบบการยึดไม้ยางพาราด้วยตะปูผ่านพฤติกรรมการรับแรงอัดเสาสั้นประกอบไม้ยางพารา โดยตัวอย่างเสาสั้นมีขนาดหน้าตัด 7.5 X 7.5 ตารางเซนติเมตร ประกอบขึ้นจากไม้ยางพาราขนาดหน้าตัด 2.54 X 7.5 ตารางเซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร จำนวน 3 ท่อน ซึ่งถูกยึดด้วยตะปูในรูปแบบที่แตกต่างกันแบ่งเป็น 4 รูปแบบ (จำนวนตะปูและจำนวนแถวในการยึดด้วยตะปูต่างกัน) การทดสอบกระทำภายในห้องปฏิบัติการด้วยการหาค่าคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลเบื้องต้นของไม้ยางพารา และทำการทดสอบเสาประกอบสั้นด้วยแรงกดอัดเพื่อหาค่ากำลังต้านทานแรงอัดและการการยุบตัวของเสาจนกระทั่งเกิดการวิบัติ ผลการศึกษาพบว่าเสาประกอบสั้นสามารถรับกำลังอัดตามแนวแกนได้มากขึ้น ตามจำนวนของตะปูที่ใช้ยึดเสาโดยค่ารับแรงอัดสูงสุดคือ 243.17 กิโลนิวตัน และลักษณะการวิบัติของเสาตัวอย่างส่วนใหญ่เป็นการวิบัติแบบบดย่อย ซึ่งรายละเอียดจะอภิปรายในบทความนี้

คำสำคัญ: เสาประกอบสั้น, กำลังรับแรงอัด, ไม้ยางพารา

Abstract

Assembly of processed rubber wood for use in civil engineering, there are many forms. Nail fastening is a form of fastening that gives the rubber wood that is bonded together stronger and can withstand higher strength. The primary objective of this research was to study the pattern of fastening of para rubber wood with nails through the compression behavior of short columns assembled with rubber wood. The example of a short column has a cross section of 7.5 X 7.5 square centimeters. It consists of 3 pieces of rubber wood with a cross section of 2.54 X 7.5 square centimeters and a height of 30 centimeters, which are fixed by nails in 4 different ways (number of nails and number of rows for fastening with nails). The test was conducted in the laboratory with the determination of physical properties and basic mechanical properties of rubber wood. Sample of the short assembly columns were tested by compression to determine the compressive strength and deformations of the columns until the failure occurred. The results showed that short columns could bear high axial compressive strength according to the number of nails used to fix the columns, the maximum compressive load was 243.17 kilo-newtons, and most of the sample column failures were crushed failures. The details will be discussed in this article

Keywords: Composite Short Column, Compressive Strength, Rubber Wood

1. คำนำ

ไม้ยางพาราเป็นวัตถุดิบทดแทนไม้ธรรมชาติอื่น ๆ ได้ดีเพราะไม้ยางพาราเป็นไม้ที่มีคุณภาพทางกายภาพหลายประการใกล้เคียงกับไม้สัก มีลวดลาย ที่สวยงาม ย้อมสีได้ ตกแต่งง่าย น้ำหนักเบา ทั้งมีราคาถูกเมื่อเปรียบเทียบกับไม้ชนิดอื่น โดยผลผลิตจากต้นไม้ยางพารา นอกจากน้ำยางพาราแล้ว ยังมีการผลิตไม้ท่อนป้อนสู่อุตสาหกรรมไม้ของประเทศซึ่งไม้ยางพาราสามารถนำมาพัฒนาให้เกิดมูลค่าเพิ่มและใช้ประโยชน์ให้มากที่สุดได้ในรูปแบบต่าง ๆ และสามารถหาได้ง่ายในพื้นที่ภาคใต้

ในสถานการณ์ปัจจุบันไม้ชนิดสำคัญ และมีขนาดใหญ่ในป่าธรรมชาติที่มีคุณภาพนั้นหาได้ยาก เนื่องจากถูกนำไปใช้อย่างฟุ่มเฟือยในอดีต จึงทำให้เหลือเพียงไม้ไม่กี่ชนิดที่นำมาใช้ในงานปัจจุบัน ส่งผลให้ไม้ยางพาราถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ที่เกี่ยวข้องกับงานทางด้านวิศวกรรมโยธาเพิ่มมากขึ้น รวมถึงการนำไม้ยางพารามาใช้เป็นโครงสร้างหลักในการก่อสร้าง ได้แก่ เสา คาน พื้น มากขึ้น และได้มีการยอมรับกันอย่างแพร่หลายทั้งในส่วนของโครงสร้างรับน้ำหนักและโครงสร้างไม่รับน้ำหนัก การนำไม้ยางพารามาใช้งานโดยตรงอาจไม่สามารถใช้เป็นโครงสร้างรับน้ำหนักได้ จึงต้องมีการศึกษาการใช้ไม้ยางพาราในรูปแบบของเสาประกอบ

เพื่อเพิ่มความสามารถในการใช้งานหรือความสามารถในการรับแรงประเภทต่างๆ ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ อย่างเช่น Tan, C. et al., [1] ได้ดำเนินการศึกษาหาค่าความสามารถในการรับแรงตามแนวแกนของเสาที่ทำขึ้นจากไม้ไผ่ เนื่องจากมีการเริ่มใช้งานอย่างแพร่หลายและไม้ไผ่เป็นไม้โตเร็ว สามารถนำมาใช้ในส่วนงานโครงสร้างมากขึ้น และ Mohd Yosof, N. et al., [2] ได้ดำเนินการศึกษาคุณสมบัติเชิงกลและคุณสมบัติทางกายภาพ รวมถึงรูปแบบการพิบัติของตัวอย่าง ผ่านการทดสอบเสาไม้ประกอบด้วยแรงกดอัด และคานไม้ประกอบด้วยแรงดัด โดยตัวอย่างถูกเชื่อมประสานด้วยสารเชื่อมประสานที่แตกต่างกัน 2 ประเภท และ สงกรานต์ คงศรีเจริญ [3] ทำการศึกษาคุณสมบัติของไม้ไผ่ยักษ์ เพื่อพัฒนาวัสดุไม้ไผ่ยักษ์ของไทยมาเป็นเสาโครงสร้างอาคาร โดยผ่านการตรวจสอบคุณสมบัติเชิงกลของไม้ไผ่แปรรูปตามมาตรฐาน ASTM D143 [4] และมาตรฐานงานไม้ เป็นต้น ทั้งนี้การประกอบเสาประกอบไม้ยางพาราด้วยตะปู เป็นหนึ่งในหลายวิธีที่ใช้ในการประกอบเสา (เช่น ใช้กาว หรือวัสดุเชื่อมประสาน [2] เป็นต้น) ที่คณะผู้วิจัยสนใจเนื่องมาจากมีความสะดวกในการทำงานและเป็นวัสดุที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในงานก่อสร้างทางด้านโครงสร้างไม้ในพื้นที่อยู่แล้ว

ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงเล็งเห็นความสำคัญในการนำไม้ยางพารามาใช้ในงานโครงสร้าง จึงได้ทำการทดสอบและศึกษาพฤติกรรมการรับแรงของเสาประกอบไม้ยางพาราที่ถูกยึดด้วยตะปู (เสาประกอบสั้น) ซึ่งจะมีลักษณะการยึดตะปูในรูปแบบต่าง ๆ เพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการรับแรงอัดของเสาประกอบไม้ยางพารา

2. การดำเนินการศึกษา

2.1 วัสดุที่ใช้ในการศึกษา

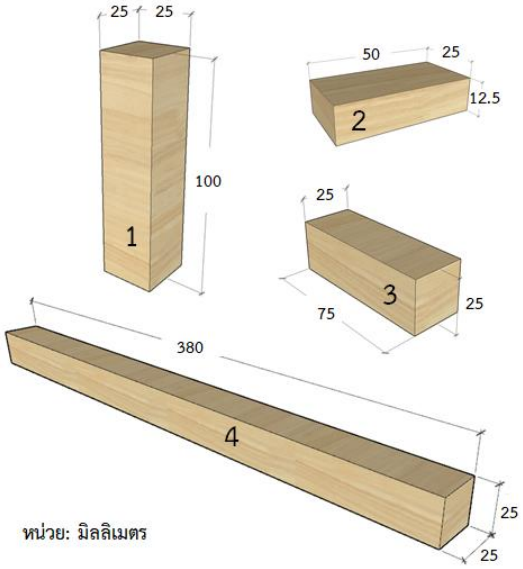
วัสดุหลักในการศึกษาคือไม้ยางพารา เป็นไม้ยางพาราแปรรูปจากโรงงานในพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราช โดยขนาดที่นำมาใช้มีขนาดหน้าตัดกว้าง 1 นิ้ว ลึก 3 นิ้ว ความยาว 1.20 เมตร (นำมาตัดตามขนาดที่จะทำการทดสอบอีกครั้ง) และวัสดุอีกอย่างคือตะปูที่ใช้ในการยึดไม้ยางพาราเข้าด้วยกัน โดยตะปูที่ใช้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.80 มิลลิเมตร และมีความยาว 2.50 นิ้ว โดยตัวอย่างไม้ยางพาราทั้งหมดที่ใช้ในการศึกษาจะถูกจัดเตรียมและทำการทดสอบภายในห้องปฏิบัติการของสาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

2.2 ตัวอย่างในการทดสอบ

การศึกษาด้วยการทดสอบไม้ยางพาราแบ่งเป็น 3 ส่วนด้วยกันดังนี้

2.2.1 การทดสอบหาคุณสมบัติทางกายภาพ

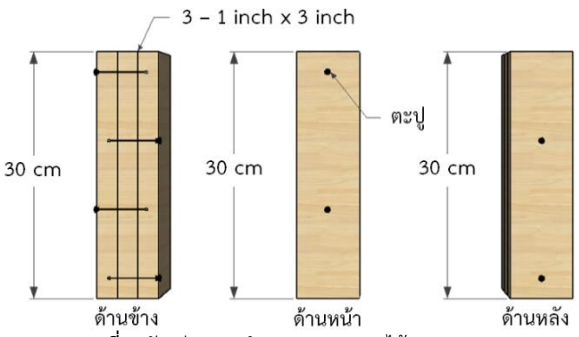
ทำการตรวจสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของไม้ยางพาราว่ามีความสอดคล้องกับตามมาตรฐาน ว.ส.ท. (วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย) โดยใช้วิธีการทดสอบตามมาตรฐานในการทดสอบไม้ กรมโยธาธิการและผังเมือง มยผ.1221-51 ถึง มยผ. 1227-51 [5] โดยการทดสอบ ได้แก่ 1) ทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดในแนวขนานเสี้ยนของไม้, 2) ทดสอบหาค่าความชื้นของไม้, 3) ชิ้นทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดในแนวตั้งฉากเสี้ยนของไม้ และ 4) ทดสอบกำลังต้านทานแรงดัดของไม้ ซึ่งขนาดของไม้ในการทดสอบเป็นไปตามมาตรฐานการทดสอบไม้ ดังแสดงในรูปที่ 1 ที่แสดงถึงขนาดของไม้ยางพาราที่ใช้ที่ใช้ในการทดสอบหาคุณสมบัติทางกายภาพ (หน่วยมิลลิเมตร) โดยหมายเลขที่รูปภาพแต่ละรูปในรูปที่ 1 (1, 2, 3 และ 4) หมายถึงขนาดของไม้ที่จะนำไปใช้ในการทดสอบตามลำดับ 1) ถึง 4) ดังกล่าวมาแล้วข้างต้น



รูปที่ 1 ขนาดไม้ในการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ

2.2.2 การทดสอบเสาประกอบ

การทดสอบเสาประกอบไม้ยางพาราขนาดหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 3 นิ้ว x 3 นิ้ว สูง 12 นิ้ว (30 เซนติเมตร) ซึ่งประกอบมาจากไม้ยางพาราขนาดหน้าตัดกว้าง 1 นิ้ว ลึก 3 นิ้ว จำนวน 3 ท่อน มาประกอบกันเป็นเสาประกอบตันที่ถูกยึดด้วยตะปูในรูปแบบที่แตกต่างกัน 4 รูปแบบ ซึ่งในแต่ละรูปแบบมีจำนวนตะปูที่ใช้ในการยึดไม้ที่แตกต่างกัน ทำให้มีจำนวนตัวอย่างทั้งหมด 24 ตัวอย่างในการทดสอบ



รูปที่ 2 ตัวอย่างแบบจำลองเสาประกอบไม้ BC-OA-N4

และมีการกำหนดชื่อตัวอย่างโดยการใช้สัญลักษณ์ที่มีรายละเอียดได้แก่ BC คือ เสาประกอบไม้ตัน, OF คือ ตะปูหนึ่งแถวหน้าเดียว, OA คือ

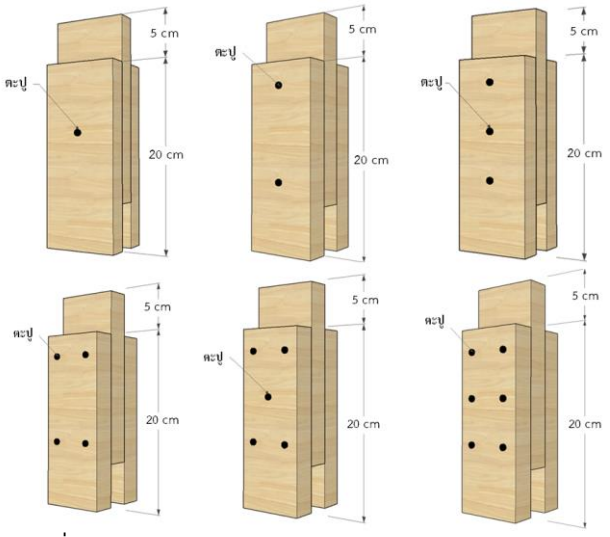
ตะปูหนึ่งแถวหน้าหลังสลับฟันปลา, TF คือ ตะปูสองแถวหน้าเดียว, TA คือ ตะปูสองแถวหน้าหลังสลับฟันปลา และ N คือ จำนวนตะปู เช่น BC-OA-N4 หมายถึง เสาประกอบตันยึดด้วยตะปูหนึ่งแถวหน้าหลังสลับฟันปลา จำนวนตะปู 4 ตัว เป็นต้น โดยรูปตัวอย่างเสาประกอบบางส่วนดังแสดงในรูปที่ 2 และรายละเอียดของตัวอย่างดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา

รูปแบบ	ลักษณะ	การตอกตะปู	จำนวนตะปู	สัญลักษณ์	จำนวน
1	เสาประกอบตัน	1 แถวหน้าเดียว	2	BC-OF-N2	2
			3	BC-OF-N3	2
			4	BC-OF-N4	2
2	เสาประกอบตัน	2 แถวหน้าเดียว	4	BC-TF-N4	2
			6	BC-TF-N6	2
			8	BC-TF-N8	2
3	เสาประกอบตัน	1 แถวหน้าหลัง	2	BC-OA-N2	2
			3	BC-OA-N3	2
			4	BC-OA-N4	2
4	เสาประกอบตัน	2 แถวหน้าหลัง	4	BC-TA-N4	2
			6	BC-TA-N6	2
			8	BC-TA-N8	2

2.2.3 การทดสอบการรับแรงด้านข้างของตะปู

ตัวอย่างในการทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 3 เป็นการทดสอบความสามารถในการรับแรงเฉือนของตะปู โดยการให้ชิ้นตัวอย่างถูกยึดด้วยจำนวนตะปูที่แตกต่างกันตั้งแต่ 1 ตัว ถึง 6 ตัว และทำการทดสอบด้วยแรงกดอัด



รูปที่ 3 ตัวอย่างแบบจำลองสำหรับการทดสอบการรับแรงเฉือนของตะปู

2.3 ขั้นตอนในการทดสอบ

การทดสอบดำเนินการทดสอบภายในห้องปฏิบัติการของสาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย จะแบ่งการทดสอบเป็นสามส่วนดังนี้ ส่วนแรกจะทำการทดสอบหาคุณสมบัติทางกายภาพของตัวอย่างไม้ยางพาราตามมาตรฐานในการทดสอบไม้ กรมโยธาธิการและผังเมือง มยผ.1221-51 ถึง มยผ. 1227-51 [5] ดังรายละเอียดที่กล่าวข้างต้น (หัวข้อ 2.2.1) ซึ่งผลทดสอบที่ได้จะถูกนำไปวิเคราะห์เพื่อจำแนกประเภทของไม้ยางพาราที่ใช้ในการศึกษาตามมาตรฐาน ว.ส.ท. (วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย)

สำหรับในส่วนที่สองและส่วนที่สาม จะทำการทดสอบเสาเสาประกอบ (ดังรายละเอียดในข้อ 2.2.2) เพื่อหาค่าการรับกำลังอัดสูงสุด และทดสอบการรับแรงด้านข้างของตะปู (ดังรายละเอียดในข้อ 2.2.3) ตามลำดับ โดยทั้งสองส่วนจะใช้เครื่องทดสอบขนาด 500 ตัน และทำการติดตั้ง Dial Gauge (ค่าความละเอียด 0.01 มิลลิเมตร) เพื่อวัดค่าการยุบตัวของตัวอย่าง ทำการทดสอบโดยเพิ่มแรงกดขึ้นในอัตรา 0.60 มิลลิเมตรต่อนาที และทำการจดบันทึกค่าของแรงกระทำและการยุบตัวของไม้ทุกๆ ช่วงแรง 5,000 นิวตัน โดยให้แรงกระทำเพิ่มขึ้นจนกระทั่งตัวอย่างเกิดการพิบัติ ทำการบันทึกลักษณะการพิบัติ และนำผลที่ได้ไปวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ต่อไป โดยรูปการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 4

รูปที่ 4 การเตรียมตัวอย่างในการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

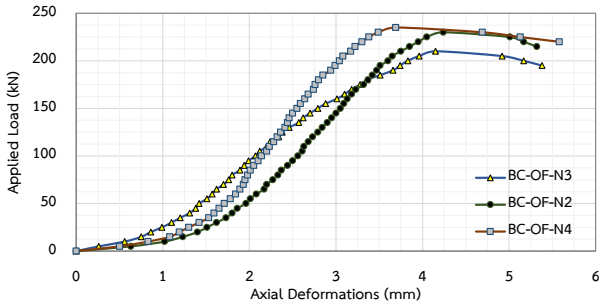
3. ผลการทดสอบและอภิปราย

3.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ

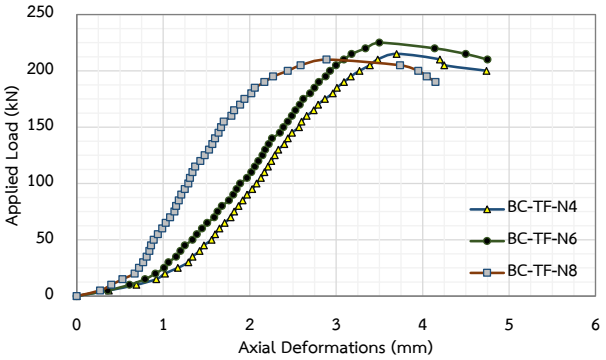
การทดสอบคุณสมบัติของไม้ยางพาราพบว่า ความถ่วงจำเพาะธรรมชาติเฉลี่ยมีค่าอยู่ที่ 0.71 ความถ่วงจำเพาะแห้งเฉลี่ยมีค่าอยู่ที่ 0.57 และมีค่าหน่วยน้ำหนัก 706.75 kg/m^3 เมื่อเปรียบเทียบตามมาตรฐาน ว.ส.ท. (ไม้เนื้ออ่อน มีค่าความถ่วงจำเพาะ (Gravity Specific ; G.S.) อยู่ระหว่าง 0.56 - 0.87) พบว่าไม้ยางพาราจัดอยู่ในประเภทไม้เนื้ออ่อน และมีปริมาณความชื้นเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 12.01 ซึ่งโดยทั่วไปในงานโครงสร้างหลักปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 10 - 14

ในส่วนของค่ากำลังต้านทานแรงอัดในแนวตั้งฉากเสี้ยนของไม้ยางพารา ได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.04 kg/cm^2 ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นมีค่าเฉลี่ย

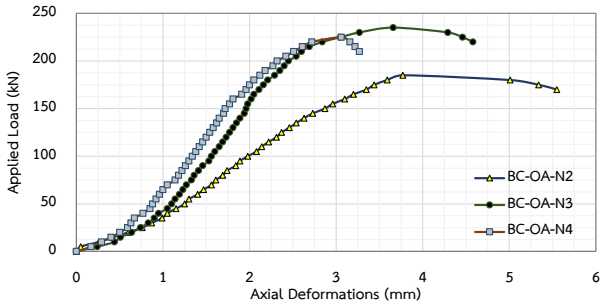
เท่ากับ 19,438.91 kg/cm^2 ค่าหน่วยแรงอัดขนานเสี้ยนที่ยอมให้เฉลี่ยเท่ากับ 53.46 kg/cm^2 และหน่วยแรงดัดโค้งที่ยอมให้มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 22.84 kg/cm^2 เมื่อเปรียบเทียบตามมาตรฐาน ว.ส.ท. พบว่าไม้ยางพาราจัดอยู่ในประเภทไม้เนื้ออ่อนถึงไม้เนื้ออ่อนมาก ดังแสดงในตารางที่ 2



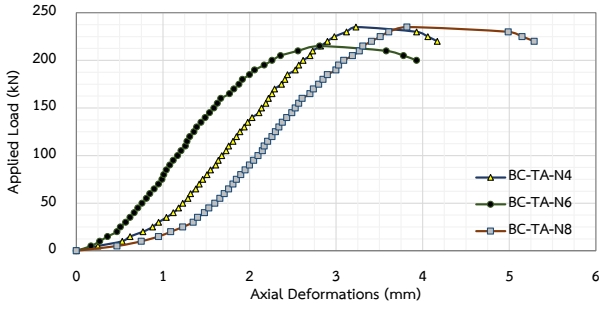
รูปที่ 5 แรงกระทำกับค่าการยุบตัวในแนวแกนของเสาประกอบ (รูปแบบที่ 1)



รูปที่ 6 แรงกระทำกับค่าการยุบตัวในแนวแกนของเสาประกอบ (รูปแบบที่ 2)



รูปที่ 7 แรงกระทำกับค่าการยุบตัวในแนวแกนของเสาประกอบ (รูปแบบที่ 3)



รูปที่ 8 แรงกระทำกับค่าการยุบตัวในแนวแกนของเสาประกอบ (รูปแบบที่ 4)

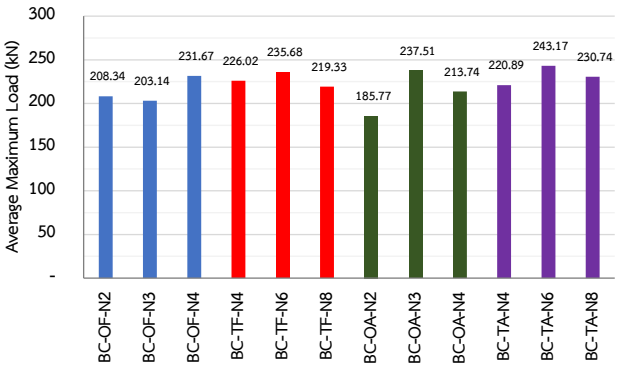
ตารางที่ 2 ตารางเปรียบเทียบผลการทดสอบกับมาตรฐาน ว.ส.ท. (วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย) สำหรับการแบ่งประเภทของไม้

ชนิดของไม้	หน่วยแรงดึงขนานเสี้ยน (kg/cm^2)	โมดูลัสยืดหยุ่น (kg/cm^2)	หน่วยแรงอัดขนานเสี้ยน (kg/cm^2)	หน่วยแรงอัดตั้งฉากเสี้ยน (kg/cm^2)
ไม้เนื้ออ่อนมาก	60	78,900	45	12
ไม้เนื้ออ่อน	80	94,100	60	16
ไม้เนื้อปานกลาง	100	112,300	75	22
ไม้เนื้อแข็ง	120	136,300	90	30
ไม้เนื้อแข็งมาก	150	189,000	110	40
ไม้ยางพารา	22.84	19,438.91	53.46	7.04

3.2 ผลการทดสอบเสาประกอบยึดด้วยตะปู

ผลการทดสอบนำเสนอในรูปแบบของความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับการยุบตัวของเสาประกอบ ดังแสดงในรูปที่ 5 ถึงรูปที่ 8 โดยแบ่งตามรูปแบบของการยึดไม้ด้วยตะปู ดังกล่าวมาแล้วข้างต้นในตารางที่ 1

จากรูปที่ 5 ถึงรูปที่ 8 เป็นรูปที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับการยุบตัวของเสาประกอบ ที่ถูกยึดด้วยตะปูในรูปแบบที่ 1 ถึงรูปแบบที่ 4 ซึ่งแตกต่างกันด้วยการตอกและจำนวนตะปู จะเห็นว่าในแต่ละรูปแบบจำนวนตะปูที่ใช้ยึดเสาประกอบมีผลต่อแรงกระทำและการยุบตัว ได้แก่ ในรูปแบบที่ 1 ถึง 3 จำนวนตะปูที่เพิ่มขึ้นทำให้เส้นความสัมพันธ์มีความชันมากเมื่อเทียบกับเส้นที่มีจำนวนตะปูน้อยกว่า นั่นคือตะปูช่วยยึดเสาประกอบให้มีความแข็งแรงมากขึ้น (แรงเพิ่มในอัตราที่เท่ากันแต่มีการยุบตัวน้อยกว่า) แต่ในรูปแบบที่ 4 จะแตกต่างเนื่องจากชิ้นตัวอย่าง BC-OA-N4 มีผิวหน้าที่รับแรงกระทำไม่สม่ำเสมอ และเมื่อพิจารณา รูปแบบที่ 3 และ 4 เปรียบเทียบกับรูปแบบที่ 1 และ 2 ซึ่งเป็นการตอกตะปูสลับหน้าหลังและตอกหน้าเดียวตามลำดับ จะเห็นว่าลักษณะของเส้นความสัมพันธ์ของรูปแบบที่ 3 และ 4 จะมีความชันที่มากกว่า รูปแบบที่ 1 และ 2 แสดงให้ว่าการตอกตะปูแบบสลับหน้าหลังช่วยเพิ่มความแข็งให้กับเสาประกอบในช่วงก่อนที่เสาจะรับแรงกระทำสูงสุด แต่ก็ไม่อาจกล่าวได้ว่าถ้าพิจารณาเฉพาะจำนวนตะปูที่มากขึ้น (โดยไม่คำนึงรูปแบบการตอกตะปู) จะทำให้เสาประกอบสามารถรับแรงกระทำได้สูงขึ้นตามจำนวนตะปู ในรูปที่ 9



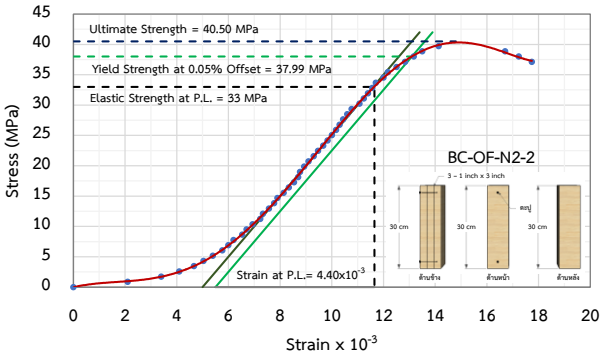
รูปที่ 9 ค่าเฉลี่ยของแรงกระทำสูงสุดของตัวอย่างเสาประกอบไม้ยางพารา

จากรูปที่ 9 ความแตกต่างของแรงกระทำสูงสุดและต่ำสุดในแต่ละรูปแบบของแรงกระทำเฉลี่ยเท่ากับ 12.31 เปอร์เซ็นต์, 6.93 เปอร์เซ็นต์, 21.78 เปอร์เซ็นต์ และ 9.16 เปอร์เซ็นต์ สำหรับรูปแบบที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ โดยค่าเฉลี่ยแรงกระทำสูงสุดเกิดขึ้นกับเสาประกอบไม้ยางพาราที่ตอกตะปูรูปแบบที่ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 231.60 กิโลนิวตัน และลำดับรองลงมาคือ รูปแบบที่ 2, 1 และ 3 มีค่า 227.01 กิโลนิวตัน, 214.38 กิโลนิวตัน และ 212.34 กิโลนิวตัน ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่ารูปแบบในการตอกตะปูมีผลกับความสามารถในการรับแรงกระทำของเสาประกอบไม้ยางพารา โดยแรงกระทำเฉลี่ยสูงสุดเกิดกับตัวอย่าง BC-TA-N6 มีค่าเท่ากับ 243.17 กิโลนิวตัน และได้นำผลการทดสอบที่ได้แต่ละตัวอย่างมาทำการวิเคราะห์หาค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity, E) โดยใช้เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด ซึ่งแสดงรูปตัวอย่างบางส่วนจากตัวอย่างทั้งหมด ดังรูปที่ 10 และ 11 ของตัวอย่าง BC-OF-N2-2 และ BC-TA-N6-1 และสมการที่ (1) ในการคำนวณ สามารถสรุปเป็นค่าต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3

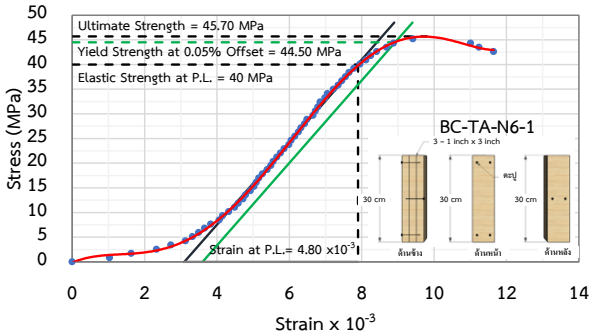
ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยการทดสอบเสาประกอบยึดด้วยตะปูรูปแบบต่างๆ เปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยจากการทดสอบไม้ยางพารารับแรงกดในแนวขนานเสี้ยน

รายละเอียด	ค่าเฉลี่ยจากการทดสอบ				
	รูปแบบที่ 1	รูปแบบที่ 2	รูปแบบที่ 3	รูปแบบที่ 4	ขนานเสี้ยน
กำลังยืดหยุ่นที่ขีดปฏิภาค (MPa)	28.06	31.85	28.55	30.75	22.67
กำลังคราก (0.05%) (MPa)	33.82	36.17	33.17	36.28	25.50
กำลังอัดประลัย (MPa)	36.98	38.91	36.32	39.40	27.26
แรงกดที่จุดพิบัติ (kN)	214.38	227.01	212.34	231.60	17.52
แรงกดที่จุดคราก (0.05%) (kN)	196.05	211.04	193.91	213.26	16.17
แรงกดที่ขีดปฏิภาค (kN)	162.61	185.85	166.92	180.79	14.37
ค่า E ที่ขีดปฏิภาค $x10^3$ (MPa)	4.89	5.70	5.80	5.89	1.94

จากตารางที่ 3 เป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด พบว่าค่าที่ได้จากการคำนวณของตัวอย่างเสาประกอบไม้ยางพารารูปแบบที่ 4 มีค่าเฉลี่ยที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับค่าที่ได้จากเสาประกอบไม้ยางพารารูปแบบที่เหลือ แต่ก็ใกล้เคียงกับรูปแบบที่ 2 ซึ่งทั้งสองรูปแบบมีการตอกแบบสลับหน้าหลัง นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อนำค่าที่ได้ของแต่ละรูปแบบไปเปรียบเทียบการทดสอบไม้ยางพาราที่รับแรงกดอัดในแนวขนานเสี้ยน (ได้จากการทดสอบในหัวข้อ 3.1) จะมีค่าที่มากกว่า โดยแรงกดที่จุดพิบัติ มีค่าเพิ่มขึ้นเฉลี่ยประมาณ 12.63 เท่า เมื่อเป็นเสาประกอบไม้ยางพาราที่ประกอบจากไม้ยางพารา 3 ท่อน แต่เมื่อคิดเป็นค่ากำลังอัดประลัยจะมีค่าเพิ่มขึ้นเฉลี่ยประมาณ 1.49 เท่า ซึ่งบอกได้ว่าเสาประกอบสามารถรับแรงหรือกำลังอัดตามแนวแกนได้เพิ่มขึ้น ในส่วนของค่าโมดูลัสยืดหยุ่นหรือค่า E ที่ขีดปฏิภาค (Proportional Limit, P.L.) ที่ได้จากความสัมพันธ์ตามรูปตัวอย่างที่ 10 หรือ 11 โดยใช้สมการที่ (1) ในการคำนวณนั้น พบว่าค่าโมดูลัสยืดหยุ่นมีค่าที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยอยู่ในช่วง 152.06 เปอร์เซ็นต์ ถึง 203.6 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งบอกได้ว่าเสาประกอบไม้ยางพารามีค่าความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 10 ความเค้นและความเครียด สำหรับวิเคราะห์หาค่ากำลังของเสาประกอบไม้ยางพาราที่ระยะออฟเซ็ต 0.05% (BC-OF-N2-2)



รูปที่ 11 ความเค้นและความเครียด สำหรับวิเคราะห์หาค่ากำลังของเสาประกอบไม้ยางพาราที่ระยะออฟเซ็ต 0.05% (BC-TA-N6-1)

$$\text{Modulus of Elasticity} = \frac{\text{Stress at Proportional Limit (kN/m}^2\text{)}}{\text{Strain at Propotional Limit}}$$

$$E = \frac{\text{Stress}}{\text{Strain}}$$

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{(P/A)}{(\Delta/L)} = \left(\frac{PL}{\Delta A}\right) \qquad (1)$$

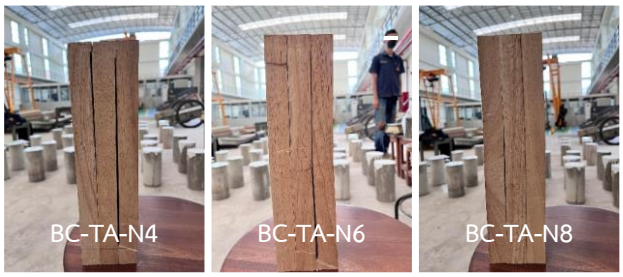
3.3 การพิบัติของเสาประกอบไม้ยางพารา

จากตัวอย่างเสาประกอบไม้ยางพาราทั้งหมด 24 ตัวอย่างที่ทำการทดสอบด้วยการเพิ่มแรงกระทำในแนวแกนจนเสาประกอบไม้ยางพาราเกิดการพิบัติ พบว่าเมื่อเสารับแรงกระทำมากขึ้น เสาบางส่วน ไม้จะเกิดการแยกตัวออกจากกันตรงที่ยึดด้วยตะปู มีการโก่งงอของเสาไม้อย่างสังเกตได้ชัดถึงแม้จะเป็นเสาสั้น ซึ่งมีทั้งโก่งไปด้วยกันและโก่งห่างออกจากกัน ไม้มีการแตกในแนวตั้งฉากกับเสี้ยนไม้และแนวเอียงทำมุมกับเสี้ยนไม้ในตำแหน่งต่างๆ เช่น บริเวณหัวไม้ใต้แรงกระทำ บริเวณตรงกลาง รวมถึงตรงตำแหน่งที่ตะปูยึดไว้ แต่โดยรวมแล้วการพิบัติของเสาประกอบไม้ยางพาราที่ยึดด้วยตะปู ไม้ยางพาราที่มาประกอบกันยังไม่แยกจากกันอย่างชัดเจน

รูปที่ 12 การพิบัติของเสาประกอบไม้ยางพาราถูกยึดด้วยตะปู (รูปแบบที่ 1)

รูปที่ 13 การพิบัติของเสาประกอบไม้ยางพาราถูกยึดด้วยตะปู (รูปแบบที่ 2)

รูปที่ 14 การพิบัติของเสาประกอบไม้ยางพาราถูกยึดด้วยตะปู (รูปแบบที่ 3)



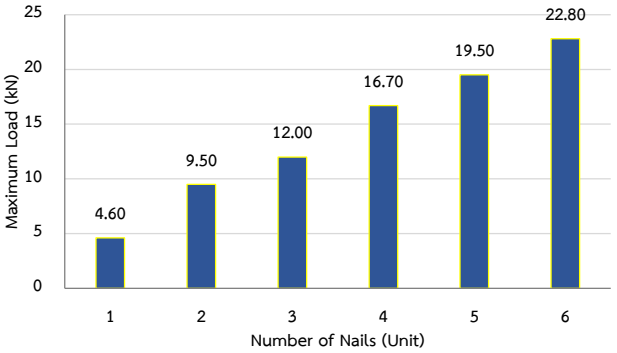
รูปที่ 15 การพิบัติของเสาประกอบไม้ยางพาราถูกยึดด้วยตะปู (รูปแบบที่ 4)

จากรูปที่ 12 ถึงรูปที่ 15 เป็นรูปการพิบัติของตัวอย่างบางส่วนในแต่ละรูปแบบที่ยึดด้วยตะปู เราสามารถแบ่งรูปแบบของการพิบัติเป็น 3 รูปแบบหลักๆ ได้แก่ 1) การพิบัติแบบบดย่อยหรือบดอัด (Crushing) ซึ่งตัวอย่างเสาประกอบไม้ยางพาราส่วนใหญ่เกิดการพิบัติแบบบดย่อยหรือบดอัดนี้ เช่น BC-TF-N8, BC-TA-N4 และ BC-OF-N2 เป็นต้น 2) การพิบัติแบบเฉือน (Shearing) ซึ่งจะพบในเสาตัวอย่างรูปแบบที่ 2 และรูปแบบที่ 4 เช่น BC-OA-N3 และ BC-TA-N6 เป็นต้น และ 3) การพิบัติแบบแยกปลายหรือถูกบี้ตรงปลาย (Blooming or Rolling) ซึ่งการพิบัติรูปแบบนี้จะน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับรูปแบบที่กล่าวมา เช่น BC-OF-N3

3.4 ผลการทดสอบการรับแรงด้านข้างของตะปู

รูปที่ 16 และ 17 แสดงผลการทดสอบการรับแรงด้านข้างของตะปู

รูปที่ 16 การพิบัติของไม้ยางพาราในการทดสอบการรับแรงเฉือนของตะปู



รูปที่ 17 แรงกระทำกับจำนวนตะปูในการทดสอบการรับแรงเฉือนของตะปู

จากรูปที่ 17 เป็นผลจากการทดสอบการรับแรงด้านข้างหรือแรงเฉือนของตะปูแบบสองระนาบ โดยผลที่ได้เป็นความสามารถในการรับแรงอัดสูงสุดจนตัวอย่างเกิดการพิบัติดังรูปที่ 16 พบว่าเมื่อจำนวนตะปูเพิ่มขึ้น ความสามารถในการรับแรงกระทำเพิ่มขึ้นตามจำนวนตะปู โดยจะมีลักษณะการเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอคิดเป็นการรับแรงเพิ่มขึ้น 1.4 เท่าเมื่อเพิ่มตะปู 1 ตัว ซึ่งตะปู 1 ตัวสามารถรับแรงด้านข้างโดยเฉลี่ยแล้วตัวละ 4.05 กิโลนิวตัน และจะเห็นว่าตัวอย่างที่เกิดการพิบัติจะแยกออกจากกันทำให้เห็นถึงการพิบัติของตะปูที่ยึดไม้มีลักษณะที่งอปลายและไม้ตรงตำแหน่งนั้นมีการแตกฉีกออกจากกัน และเมื่อพิจารณาร่วมกับรูปแบบของการตอกตะปูของเสาประกอบไม้ยางพาราพบว่าจำนวนตะปูที่เพิ่มขึ้นในแต่ละรูปแบบมีผลต่อความสามารถในการรับแรงดังกล่าวข้างต้น โดยผลของการตอกตะปูแบบสลับหน้าหลังยังทำให้แรงที่รับได้เพิ่มขึ้นด้วย

4. สรุปผลการศึกษา

การศึกษานี้เป็นการศึกษาพฤติกรรมการรับแรงอัดของเสาสั้นประกอบไม้ยางพาราที่ถูกยึดด้วยตะปู โดยเสาประกอบไม้ยางพาราถูกยึดด้วยตะปู

รูปแบบต่างๆ ทั้งแถวเดียวหน้าเดียวและสลับหน้า และสองแถวหน้าเดียวและสลับหน้า ถูกทดสอบด้วยแรงอัดจนพิบัติ ทั้งนี้ผลการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้

4.1) ค่าคุณสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของไม้ยางพาราที่ได้จากการทดสอบเปรียบเทียบค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ตามมาตรฐานวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย และตามพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ.2522 ดังผลแสดงในตาราง 2 จะเห็นได้ว่าคุณสมบัติของไม้ยางพาราที่ได้จากการทดสอบนั้นจัดอยู่ในประเภทไม้เนื้ออ่อนถึงอ่อนมาก

4.2) รูปแบบของการยึดตะปูต่อเสาประกอบไม้ยางพารา รูปแบบที่ 4 ซึ่งมีการตอกตะปูสองแถวสลับฟันปลาหน้าหลัง มีความสามารถในการรับแรงอัดเฉลี่ยได้สูงที่สุดเท่ากับ 231.60 กิโลนิวตัน และตัวอย่างที่รับแรงสูงสุด 3 ลำดับแรกคือ BC-TA-N6, BC-OA-N3 และ BC-TF-N6 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 243.17 กิโลนิวตัน, 237.51 กิโลนิวตัน และ 235.68 กิโลนิวตัน ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าค่าเฉลี่ยแรงอัดสูงที่สุด และทั้งสามตัวอย่างมีการตอกตะปูที่เหมือนกันคือ มีการตอก 3 ตำแหน่ง คือที่ส่วนปลายล่าง ปลายบน และตรงกลางของเสาประกอบไม้ยางพารา สรุปว่าการยึดด้วยตะปู 3 ตำแหน่งทำให้เสาประกอบสั้นนี้รับแรงอัดได้ดีขึ้น

4.3) คุณสมบัติเชิงกลของเสาประกอบไม้ยางพาราเมื่อรับแรงอัดในทิศทางขนานเสี้ยนมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับไม้ยางพาราที่ทำการทดสอบในหัวข้อ 3.1 ได้แก่ หน่วยแรงยืดหยุ่นที่ขีดปฏิภาค, หน่วยแรงคราก ที่ระยะออฟเซ็ต 0.05%, หน่วยแรงอัดประลัย และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่ขีดปฏิภาค ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นเฉลี่ยเท่ากับ 19.21 เปอร์เซ็นต์, 24.60 เปอร์เซ็นต์, 26.28 เปอร์เซ็นต์ และ 60.33 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการรับน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของเสาประกอบ

4.5) เสาประกอบไม้ยางพาราส่วนใหญ่จะมีการวิบัติแบบบดย่อยหรือบดอัด (Crushing) ซึ่งจากผลการทดสอบการพิบัติของตัวอย่างประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ เป็นรูปแบบดังกล่าว

4.4) แนวโน้มค่าการรับแรงด้านข้างของตะปูจะเพิ่มสูงขึ้นตามจำนวนตะปูที่เพิ่มขึ้น โดยจะมีลักษณะการเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอคิดเป็นการรับแรงเพิ่มขึ้น 1.4 เท่าเมื่อเพิ่มตะปู 1 ตัว (ตะปูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.80 มิลลิเมตร และมีความยาว 2.50 นิ้ว)

4.5) รูปแบบของการยึดตะปูที่เหมาะสมที่สุด คือ การยึดตะปูโดยแบ่งเป็นการยึด 3 ส่วนของตัวอย่างเสาประกอบ คือ ส่วนหัว ส่วนกลาง และส่วนท้ายของตัวอย่างเสาประกอบ โดยมีการแบ่งระยะห่างระหว่างช่วงให้เท่ากันและเป็นไปตามหลักการเว้นระยะห่างของการตอกยึดของตะปู โดยรูปแบบการยึดตะปูในลักษณะนี้เหมาะที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในงานวิศวกรรมโครงสร้างได้

5. ข้อเสนอแนะ

5.1) ควรมีการศึกษาในเรื่องของอัตราส่วนความชะลูด หรือความสูงของเสาประกอบที่มีหลากหลายทั้งประเภทเสาสั้นและเสายาว

5.2) ควรจะทำการทดสอบเสาประกอบไม้ยางพาราที่มีขนาดที่จะใช้ในการก่อสร้างจริง

5.3) ควรสนับสนุนการนำไม้ประจำท้องถิ่นมาทำการศึกษา เพื่อทดแทนไม้หายากในด้านต่างๆ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยส่วนนี้ต้องขอบคุณสาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย จังหวัดสงขลา ในการสนับสนุนห้องปฏิบัติการและเครื่องมือในการทดสอบ และขอบคุณทีมงานทุกท่าน ได้แก่ นายกฤษดา วิบุลศิลป์, นายชยานนท์ ผุดวัฒน์ และนายวสันต์ เกียรติศักดิ์

เอกสารอ้างอิง

[1] Tan, C., Li, H., Ashraf, M., Corbi, I. and Lorenzo, R. (2021). Evaluation of axial capacity of engineered bamboo columns. *Journal of Building Engineering*, Volume 34, February, https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.102039

[2] Mohd Yusof, N., Md Tahir, P., Lee, S.H. and Khan, M.A. (2019). Mechanical and physical properties of Cross-Laminated Timber made from Acacia mangium as function of adhesive types. *Journal of Wood Science 65*, https://doi.org/10.1186/s10086-019-1799-z

[3] สงกรานต์ คงศรีเจริญ. (2562). นวัตกรรมเสาประกอบจากไม้ไผ่ยักษ์. [ออนไลน์] เข้าถึงได้ http://tdc.thailis.or.th/tdc/ (สืบค้นเมื่อ 24 มกราคม 2564)

[4] ASTM D143: Standard Test Methods for small clear Specimens of Timber

[5] กรมโยธาธิการและผังเมือง. (2551). มยผ.1221-51 ถึง มยผ. 1227-51 มาตรฐานการทดสอบไม้. สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร กรมโยธาธิการและผังเมือง ถนนพระราม 6 แขวงสามเสนใน เขตพญาไท กรุงเทพฯ 10400

[6] มนัส อนุสิริ. (2554). *ทฤษฎีและการปฏิบัติการทดสอบวัสดุในงานวิศวกรรมโยธา*. ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน) อาคารเนชั่นทาวเวอร์ ชั้นที่ 19 เลขที่ 1858/87-90 ถนนบางนาตราด แขวงบางนา เขตบางนา กรุงเทพฯ 10260

[7] มนัส อนุสิริ. (2556). *การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก*. ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน) อาคารเนชั่นทาวเวอร์ ชั้นที่ 19 เลขที่ 1858/87-90 ถนนบางนาตราด แขวงบางนา เขตบางนา กรุงเทพฯ 10260