

พฤติกรรมการรับแรงดัดของคานไม้ยางพาราหน้าตัดประกอบเสริมแรงด้วยเส้นไฟเบอร์

Bending Behavior of Compositd Rubber-Wood Beam Reinforced with Fiber Rods

อภิสิทธิ์ ชูช่วยคำ^{1*} นันทชัย ชูศิลป์¹ และมนัส อนุศิริ¹

Apisit Chuchaycom^{1*} Nuntachai Chusilp¹ and Manat Anusiri¹

Received: March 20, 2022; Revised: June 8, 2022; Accepted: June 8, 2022

บทคัดย่อ

ไม้เป็นวัสดุชนิดหนึ่งที่มีความนิยมและได้รับการยอมรับกันอย่างแพร่หลายทั้งในส่วนองโครงสร้างรับน้ำหนักและโครงสร้างไม้รับน้ำหนัก การนำไม้ยางพารามาใช้งานโดยตรงอาจไม่สามารถใช้เป็นโครงสร้างรับน้ำหนักได้ การเสริมกำลังด้วยเส้นไฟเบอร์เป็นอีกหนึ่งแนวทางที่สามารถทำให้โครงสร้างรับน้ำหนักได้ดีขึ้น อย่างไรก็ตามการใช้วัสดุเส้นไฟเบอร์ยังคงอยู่ในวงจำกัด พบงานวิจัยที่เกี่ยวข้องไม่เพียงพอที่จะนำไปประเมินพฤติกรรมและความสามารถในการรับแรงของโครงสร้างงานวิจัยนี้ขอเสนอการประเมินพฤติกรรมและความสามารถในการรับแรงของโครงสร้าง คุณสมบัติการรับแรงดัดของคานด้วยรูปแบบของการเสริมกำลังด้วยเส้นเบอร์ในตำแหน่งที่แตกต่างกันพร้อมกับการนำเสนอการวิเคราะห์ความเค้นที่จุดปฏิบัติการความเค้นที่จุดแตกกร้าว โมดูลัสยืดหยุ่นและหน่วยแรงเฉือนสูงสุด เพื่อใช้ในการประเมินค่ากำลังรับโมเมนต์ดัดสูงสุด ผลการทดสอบได้วิเคราะห์นำไปสู่ความเข้าใจพฤติกรรมตลอดจนการประเมินประสิทธิภาพการรับน้ำหนักต่อไป

คำสำคัญ : คานไม้ยางพารา; เส้นไฟเบอร์; ค่ากำลังรับโมเมนต์ดัดสูงสุด

¹ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย สงขลา

¹ Bachelor of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Songkhla

* Corresponding Author, Tel. 09 8670 3329, E - mail: apisit.chuchaycom12@gmail.com

Abstract

Wood is one of the most popular and widely accepted materials for both load-bearing and load-bearing structures. The direct use of rubber wood as a load-bearing structure might not be employed hence reinforcement with fiber is a way to improve the structure. However, the use of fiber materials is still limited. Insufficient relevant research was found to assess the behavior and load carrying capacity of structures. Therefore, this study aimed to present an assessment of the behavior and load carrying capacity of structures. Bending properties of beams with fiber reinforcement patterns in different positions with stress analysis at rupture point stress interactions were presented. Maximum elastic modulus and shear unit were used in estimating the maximum bending moment strength. The results of the tests were analyzed leading to an understanding of the behavior as well as further assessment of the loading efficiency.

Keywords: Rubber Wood; Fiber Rods; Maximum Moment Capacity

บทนำ

ไม้เป็นวัสดุชนิดหนึ่งที่มีความนิยมและยอมรับในส่วนของโครงสร้างรับน้ำหนัก ปัจจุบันไม้ชนิดสำคัญและมีขนาดใหญ่สามารถหาได้ยาก จึงทำให้เหลือไม้อยู่เพียงไม่กี่พันธุ์ที่สามารถนำมาใช้ [1] และด้วยภาวะเศรษฐกิจโลกในปัจจุบันมีการใช้ยางพาราอย่างล้นเหลือในหลาย ๆ ประเทศ จึงทำให้ราคายางตกต่ำตามลงไปด้วยและยังมีแนวโน้มที่จะคงสถานะต่ำลง ในการช่วยกระตุ้นและแก้ปัญหาราคายางตกต่ำ [2] ในเชิงพาณิชย์จึงได้มีการนำไม้อย่างไปใช้ในงานวิศวกรรมเนื่องจากคุณสมบัติที่ทนทาน [3] ประเภทไม้ที่นำไปใช้จะเป็นไม้เนื้ออ่อน - ปานกลาง [4] โดยเฉพาะโครงสร้างหลัก (Primary) และโครงสร้างรอง (Secondary) อาทิเช่น เสา คาน พื้น โครงสร้างหลังคา รวกันตก เป็นต้น [5] ได้ทำการทดสอบพันธุ์ไม้อย่างพาราจำนวน 4 พันธุ์ ที่มีอายุ 14 ปี จากผลการทดสอบพบว่าการรับน้ำหนักของพันธุ์ PB 235 เป็นพันธุ์ที่รับน้ำหนักได้ดีที่สุด รองลงมาคือ พันธุ์ RRIM 600 พันธุ์ BPM 24 และพันธุ์ RRIM 521 แต่อย่างไรก็ตามอาจจะมีการแปรผันตามปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ อายุ พื้นที่เพาะปลูก เป็นต้น [6] ได้ทำการศึกษาพัฒนาและประเมินค่าคุณสมบัติเชิงกลของคานไม้อย่างพาราประกอบลามิเนตเสริมกำลังวัสดุพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้วสำหรับการก่อสร้างขนาดเล็กและที่พักอาศัย โดยมีการทดสอบการคดของคานแบบแรงกระทำ 3 และ 4 จุด จากผลของการทดสอบคานประกอบที่ไม่มีการเสริมเกิดการวิบัติใกล้แนวรอยต่อในด้นรับแรงดึงและคานประกอบที่เสริมเกิดการวิบัติในคานด้นรับแรงดึงและแยกชั้น ประสิทธิภาพของรอยต่อสามารถปรับปรุงได้โดยการเพิ่มความยาวของรอยต่อ [7] จึงทำให้พบว่ากำลังดึงของคานจะเพิ่มขึ้นโดยตรงตามความยาวและอัตราส่วนปริมาตรของเส้นใย

เส้นไฟเบอร์กลาสเสริมพอลิเมอร์ (Glass Fiber Reinforced Polymer: GFRP) เป็นวัสดุที่ประกอบด้วยซิลิกาหินปูนกรดโพลีโดยใช้อุณหภูมิ 1,260 °C ในการหลอมละลาย เมื่ออุณหภูมิเย็นตัวจึงนำไปทำทดสอบการดึงเพื่อเพิ่มความแข็งแรง [8] เส้นใยที่ผลิตจากแก้วเป็นวัสดุที่โดดเด่นสำหรับพอลิเมอร์คอมโพสิตทางวิศวกรรม ได้แก่ ทนทานต่อการกัดกร่อน เป็นฉนวนไฟฟ้า สามารถตัดง่าย ทนทานต่อแรงดึงสูงกว่าเหล็ก 1 - 2 เท่า มีค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นคงที่ น้ำหนักน้อยกว่าเหล็กถึง 4 เท่า และมีค่าสัมประสิทธิ์การยึดตัวใกล้เคียงกับคอนกรีต รายละเอียดดังตารางที่ 1 [9] - [11]

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบคุณสมบัติเส้นไฟเบอร์กลาสเสริมพอลิเมอร์ (GFRP)

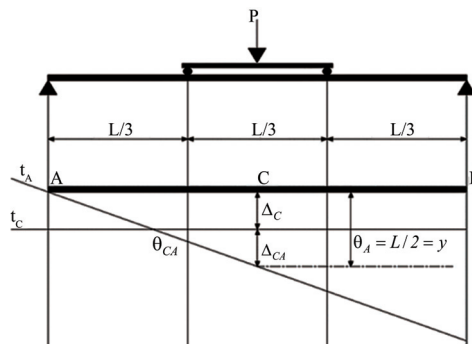
| ขนาดทั่วไป | | เส้นผ่าศูนย์กลาง | กำลังดึง | โมดูลัสความยืดหยุ่น |
|------------|------|------------------|----------------------|----------------------|
| (mm) | (in) | (mm) | (N/mm ²) | (N/mm ²) |
| 6 | #2 | 6.35 | 840 | 43000 |
| 9 | #3 | 9.53 | 750 | 43000 |
| 12 | #4 | 12.7 | 685 | 43000 |

วัสดุประสานเป็นวัสดุที่จะส่งผลต่อประสิทธิภาพในการรับน้ำหนักบรรทุกทุกของคานไม้ยางพาราประกอบ โดยมีคุณสมบัติการยึดเหนี่ยวผิวหน้าของวัสดุสองชั้นให้สามารถยึดติดกันโดยมีความแข็งแรงของวัสดุที่เชื่อมยึดกันเพียงพอต่อการนำไปใช้งาน โดยเฉพาะการถ่ายแรงเฉือน นอกจากนี้วัสดุประสานยังมีความจำเป็นในการใช้เป็นสารเชื่อมยึดประกอบเครื่องใช้ในสำนักงาน เครื่องเรือน อุปกรณ์เฟอร์นิเจอร์ วัสดุตกแต่งบ้าน เป็นต้น [12]

Nadir, Y., Nagarajan, P., Ameen, M., and Arif, M. M. พบว่า การรับแรงคัตและความแข็งแรงของคานไม้ยางพาราเสริมพอลิเมอร์เสริมใยแก้ว (CFRP) และเสริมโพลีเอสเตอร์เสริมใยแก้ว (GFRP) โดยใช้กาวเป็นตัวประสาน ผลลัพธ์ที่ได้ GFRP รับแรงคัตได้ร้อยละ 36.91 - 40 และ CFRP รับแรงคัตได้ร้อยละ 45.86 - 50.62 แสดงให้เห็นว่าพอลิเมอร์เสริมใยแก้ว (CFRP) มีประสิทธิภาพในการรับแรงคัตได้ผลดีกว่า [13] Lssa, C. and Kmeid, Z. พบว่า คุณสมบัติการรับแรงคัตของคานไม้ประกอบชนิดไม้เสริมและเสริมเส้นใย CFRP ผลของการทดสอบที่ได้แสดงให้เห็นว่า คานไม้ประกอบที่เสริมช่วยให้การวิบัติแบบเปราะกลายเป็นแบบเหนียวและยังสามารถรับน้ำหนักได้มากขึ้น [14]

การทดสอบคุณสมบัติของไม้ยางพารา เส้นไฟเบอร์ และวัสดุประสาน ทดสอบคุณสมบัติดังนี้ [15] ทดสอบโดยใช้มาตรฐานในการหาความถ่วงจำเพาะและความชื้นของไม้ (ASTM D2395) กำลังต้านทานแรงอัดในแนวตั้งฉากเสี้ยนไม้ (ASTM D143-94) กำลังต้านทานแรงอัดในแนวขนานเสี้ยนของไม้ (ASTM D143-94) การต้านทานแรงคัตของไม้ (ASTM D143-94) กำลังต้านทานแรงเฉือนในแนวขนานเสี้ยนของไม้ (ASTM D143-94) แรงดึงของเส้นไฟเบอร์ (ASTM A617)

ทฤษฎีแรงคัตของคานรับน้ำหนักบรรทุกทุกจะเกิดการกระจายสม่ำเสมอและเกิดการแอ่นตัวที่เรียกว่า การโก่งตัวโดยทันที (Instantaneous Deflection) [16] ซึ่งเป็นฟังก์ชันของช่วงความยาวคานจุดรองรับ เช่น แบบหมุนได้ในคานช่วงเดียวยึดบางส่วนในคานต่อเนื่องหรือยึดครึ่งเต็มในคานต่อเนื่องชนิดน้ำหนักบรรทุกทุกเส้นแบบกระทำเป็นจุดหรือแบบกระจายสติฟเนส EI ของคานเสริมแรง จะสามารถคำนวณการโก่งตัวที่มีค่ามากที่สุด ดังสมการที่ (1) - (3) ซึ่งเป็นที่มาของสมการที่ (4) และการรับน้ำหนักที่มีแรงกระทำพอยท์โหลด 2 จุด สามารถทำได้โดยทฤษฎี Moment Area รายละเอียดดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 การโก่งตัวสูงสุด

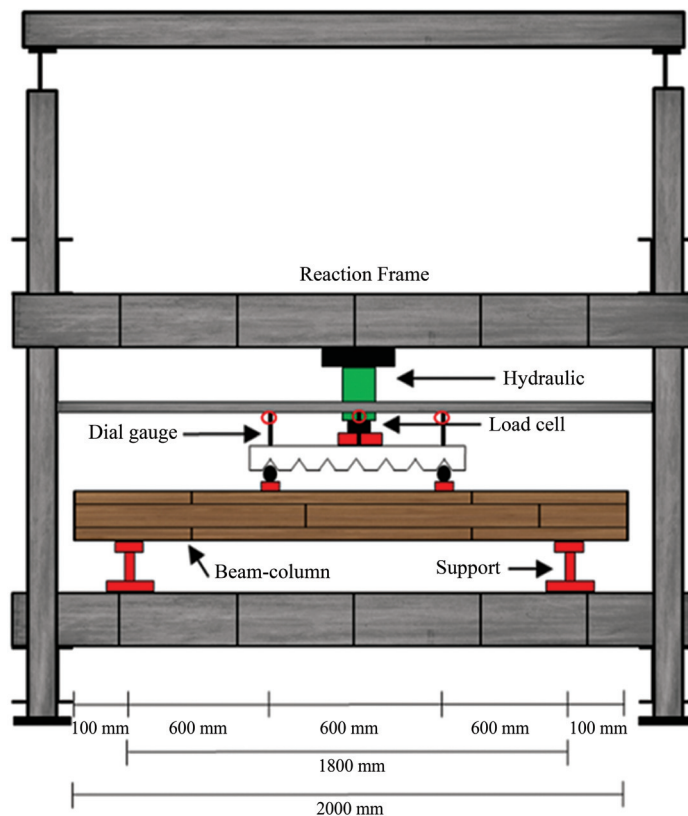
$$\theta_A = \theta_{A/C} = \left(\frac{1}{2} \times \frac{L}{3} \times \frac{PL}{6EI} \right) + \left(\frac{1}{2} \times \frac{L}{3} \times \frac{PL}{6EI} \right) \quad (1)$$

$$t_{C/A} = \left[\frac{1}{2} \times \frac{L}{3} \times \frac{PL}{6EI} \times \left(\left(\frac{1}{3} \times \frac{L}{3} \right) + \frac{L}{6} \right) \right] + \left(\frac{PL^2}{36EI} \times \frac{L}{12} \right) \quad (2)$$

$$\Delta_C = \frac{13PL^3}{1296EI} \quad (3)$$

$$\Delta_{MAX} = \Delta_C = \frac{13PL^3}{1296EI} \quad (4)$$

พฤติกรรมการแอ่นตัวเมื่อมีแรงภายนอกกระทำต่อโครงสร้างและโครงสร้างเกิดการแอ่นตัว ค่าการแอ่นตัวจะมีความสำคัญในการออกแบบโครงสร้าง วิศวกรผู้คำนวณออกแบบโครงสร้างจะต้องออกแบบให้โครงสร้างนั้นให้สามารถต้านทานแรงภายในที่เกิดขึ้นในชิ้นส่วนของโครงสร้างเนื่องจากแรงภายนอกที่มากระทำ นอกจากนั้นจะต้องทำการตรวจสอบด้วยการแอ่นตัวที่เกิดขึ้นมีการแอ่นตัวมากน้อยเพียงใด ถ้ามีการแอ่นตัวมาก อาจจะทำให้วัสดุแตกเสียหายได้ อีกทั้งอาจทำให้ผู้ใช้โครงสร้างนั้น ๆ เกิดความไม่สบายใจถึงแม้ว่าโครงสร้างดังกล่าวจะไม่วิบัติ พฤติกรรมการแอ่นตัวของคานขี้นตัวอย่างคำนวณหาค่าการแอ่นตัวที่เกิดขึ้นในคานช่วงเดียว โดยจะให้น้ำหนัก P ที่กระทำบนคานตรงกลางคานที่จุดระยะ L/3 [17] รายละเอียดดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 คานช่วงเดียวยรับน้ำหนัก 4 จุด [17]

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อการศึกษาพฤติกรรมการรับแรงคดของคานไม้ยางพาราหน้าตัดประกอบเสริมแรงด้วยเส้นไฟเบอร์ในตำแหน่งต่าง ๆ ของหน้าตัดคาน
2. เพื่อการศึกษาการวิบัติของคานไม้ยางพาราหน้าตัดประกอบเสริมแรงด้วยเส้นไฟเบอร์ในตำแหน่งต่าง ๆ ของหน้าตัดคาน

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. ไม้ยางพารา
ในงานวิจัยนี้ใช้การทดสอบตัวอย่างของคานไม้ประเภท RRIM 600 เป็นไม้ที่ผ่านการอบน้ำยาและอบแห้ง ขนาดที่นำมาใช้ในการทดสอบ กว้าง 50 มิลลิเมตร ลึก 25 มิลลิเมตร ยาว 1,000 มิลลิเมตร
2. เส้นไฟเบอร์กลาส
เส้นไฟเบอร์กลาสสำหรับงานวิจัยเลือกใช้เส้นไฟเบอร์กลาสเสริมพอลิเมอร์ (GFRP) ขนาด 6 มิลลิเมตร รายละเอียดดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 เส้นไฟเบอร์กลาสเสริมพอลิเมอร์

3. วัสดุยึดประสาน
สำหรับงานวิจัยนี้เลือกวัสดุยึดประสานระหว่างไม้กับไม้และวัสดุยึดประสานระหว่างไม้กับเส้นไฟเบอร์ (GFRP) โดยเลือกใช้กาวประเภท พอร์มาลดีไฮด์ กาวผงหรือคู้ด (Rock Wood Powder Glue)
4. คานไม้ยางพาราประกอบ
การประกอบชิ้นงานสำหรับการทดสอบเพื่อหาค่ากำลังรับน้ำหนักด้วยการทดสอบ 4 จุด นำมาประกอบกันโดยออกแบบให้จุดต่อของท่อนล่างสุดเป็นการเข้าไม้แบบปากร่องทางเหยี่ยว (Dovetail Wood Joint) และเจาะร่องท่อนไม้เพื่อเสริมเส้นไฟเบอร์ กำหนดรูปแบบจุดต่อและตำแหน่งของการเสริมเส้นไฟเบอร์ในแต่ละรูปแบบโดยใช้กาวผงหรือคู้ดในการประสาน ผสมกาวหรือคู้ด 2 ส่วน กับน้ำ 1 ส่วน โดยน้ำหนัก ค่อย ๆ เติมน้ำทีละน้อยคนให้เข้ากัน ใช้ทาลงบนวัสดุที่ต้องการเชื่อมเพียงด้านเดียวในอัตราส่วน 120 - 180 กรัม ต่อพื้นที่ผิว 1 ตารางเมตร ประกอบเข้าด้วยกันแล้วอัดด้วยปากกาจับยึดงานที่แรงอัด : 30,408 กิโลกรัม : ตารางเมตร ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จะใช้เวลา 4 ชั่วโมง แล้วทำการศึกษาพฤติกรรมการรับแรงคดและการวิบัติของคานไม้ยางพาราหน้าตัดประกอบเสริมแรงด้วยเส้นไฟเบอร์ในตำแหน่งต่าง ๆ ของหน้าตัดคานโดยมีการประกอบทิ้งไว้ 24 ชั่วโมงแล้วมาถอดออก รายละเอียดดังรูปที่ 4



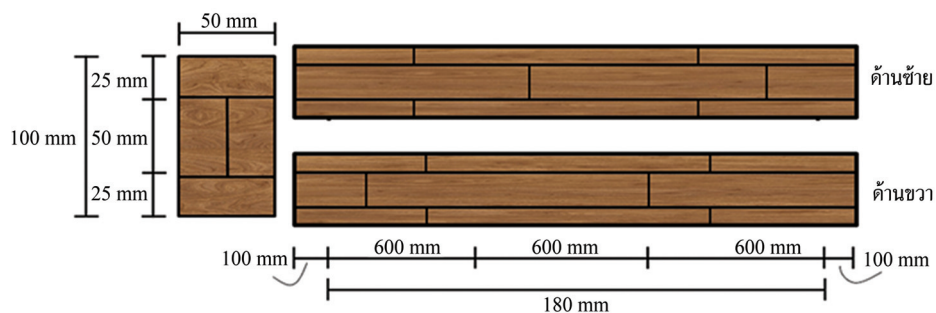
รูปที่ 4 การประกอบคานไม้ยางพารา

5. ตำแหน่งการเสริมเส้นไฟเบอร์กลาสในคานไม้ยางพารา

รูปแบบการเสริมเส้นไฟเบอร์ในคานไม้ยางพารา ได้มีการกำหนดสัญลักษณ์ขึ้นมาเพื่อแยกลักษณะหน้าตัดและตำแหน่งโดยมีรูปแบบข้อกำหนดสัญลักษณ์ดังนี้ P_CF_ โดยที่ P คือ ตำแหน่งการเสริมเส้นไฟเบอร์ (P0 คือ ไม่เสริมเส้นไฟเบอร์ P1 คือ เสริมเส้นไฟเบอร์ในตำแหน่งคิ้วล่าง P2 คือ เสริมเส้นไฟเบอร์ในตำแหน่งคิ้วบนและคิ้วล่าง P3 คือ เสริมเส้นไฟเบอร์ในตำแหน่งคิ้วล่างสุด) CF คือ จำนวนเส้นไฟเบอร์เสริมกำลัง (CF0 คือ ไม่เสริมเส้นไฟเบอร์ CF1 คือ เสริมเส้นไฟเบอร์จำนวน 1 เส้น CF2 คือ เสริมเส้นไฟเบอร์จำนวน 2 เส้น) โดยมีการเสริมเส้นไฟเบอร์ได้ รายละเอียดดังตารางที่ 2 และรูปที่ 5

ตารางที่ 2 ตำแหน่งการเสริมเส้นไฟเบอร์ในคานไม้ยางพาราหน้าตัดประกอบ

| คาน | การเสริมเส้นไฟเบอร์ (P) | | | | จำนวนเส้นไฟเบอร์ (CF) |
|----------|-------------------------|-------------|---------------|------------------|-----------------------|
| | ไม่เสริม (P0) | คิ้วบน (P1) | คิ้วล่าง (P2) | คิ้วล่างสุด (P3) | |
| P0-CF0 | | / | | | 0 |
| P1-CF1 | | | / | | 1 |
| P1,2-CF2 | | / | / | | 2 |
| P1-CF2 | | | / | | 2 |
| P3-CF1 | | | | / | 1 |

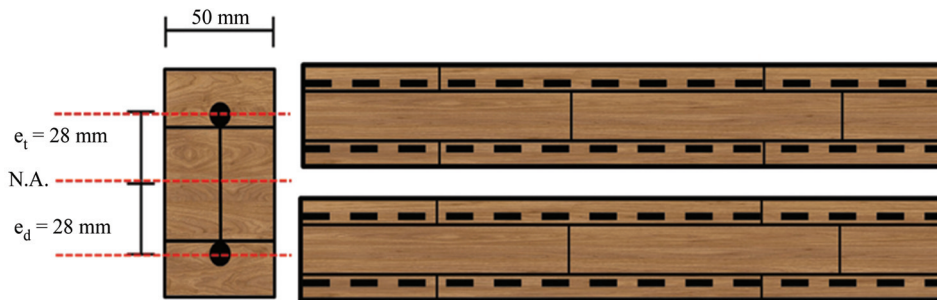


(ก) คานไม้ยางแบบไม่เสริมเส้นไฟเบอร์ (P0-CF0)

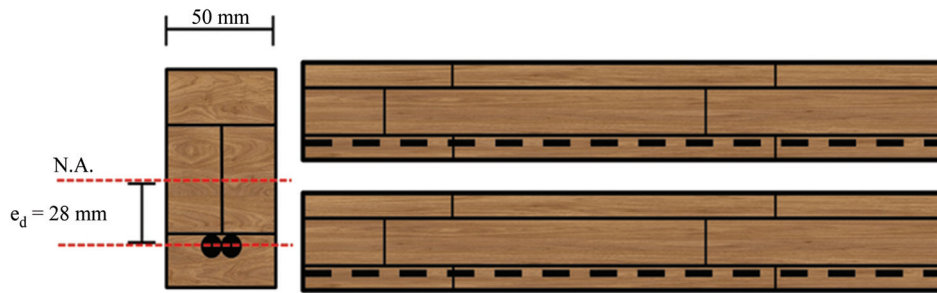
รูปที่ 5 ตำแหน่งการเสริมเส้นไฟเบอร์ในคานไม้ยางพารา



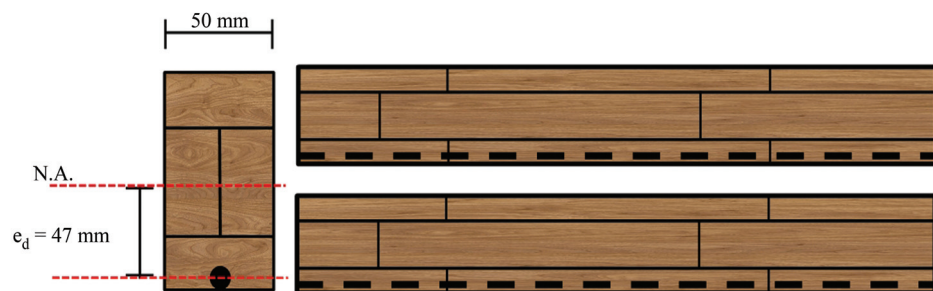
(ข) ตำแหน่งการเสริมเส้นไฟเบอร์ (P1-CF1)



(ค) ตำแหน่งการเสริมเส้นไฟเบอร์ (P1,2-CF2)



(ง) ตำแหน่งการเสริมเส้นไฟเบอร์ (P1-CF2)



(จ) ตำแหน่งการเสริมเส้นไฟเบอร์ (P3-CF1)

Beam cross-section, | Connection point, - - - Fiber

รูปที่ 5 ตำแหน่งการเสริมเส้นไฟเบอร์ในคานไม้ยางพารา (ต่อ)

ผลการวิจัย

1. ผลการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของไม้ยางพารา

ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของไม้ยางพารา RRIM600 มีค่าโมดูลัสการแตกหักและโมดูลัสความยืดหยุ่นสูงสุด ใกล้เคียงกับไม้เนื้อแข็ง การโค้งตัวของไม้ที่รับน้ำหนักมีแนวฉากกับแนวแกน การทดสอบเป็นไปตามมาตรฐานการทดสอบ (ASTM D 143) [18] โดยตัวอย่างของไม้ที่นำมาทดสอบมีความชื้นอยู่ระหว่างร้อยละ 10 - 14 และไม่มีตำหนิในเนื้อไม้ จึงทำให้ผลการทดสอบจากงานวิจัยดังกล่าวมีคุณสมบัติไม้ยางพาราสามารถนำไปประเมินวิเคราะห์การทดสอบคานไม้ได้ รายละเอียดดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของไม้ยางพารา [6], [19] - [20]

| ผลการทดสอบ | ไม้ยางพารา [ผู้วิจัย] | ไม้ยางพารา [6] | ไม้ยางพารา [19] | ไม้ยางพารา [20] |
|---|--------------------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| Natural Specific Gravity | 0.72 | - | 0.62 | 0.67 |
| Dry Specific Gravity | 0.66 | 0.56 | - | 0.55 |
| Moisture Content, % | 9.09 | 10.40 | 16.10 | 16.06 |
| Compression Parallel to Grain (N/mm ²) | 45.34 | 44.35 | 51.51 | 10.95 |
| Compression Perpendicular to Grain (N/mm ²) | 13.54 | 19.92 | 18.02 | 5.40 |
| Modulus of Rupture (N/mm ²) | 85.45 | 86.99 | 110.39 | 62.21 |
| Modulus of Elasticity (N/mm ²) | 4,886.47 | 8,273.20 | 10,458 | 7,160.89 |
| Shear Parallel to Grain (N/mm ²) | 11.75 | 17.28 | 20.65 | 17.28 |

2. ผลการทดสอบการรับกำลังต้านแรงเฉือนของวัสดุประสาน

จากการทดสอบคุณสมบัติการรับกำลังต้านแรงเฉือนของวัสดุประสานมีค่าความแข็งแรงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength) น้อยกว่าค่าการทดสอบการรับแรงเฉือนของไม้ (Shear Parallel to Grain) ค่าของผลการทดสอบ รายละเอียดดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุยึดประสาน

| Specimen | Shear Area (mm ²) | P_{max} (N) | Ultimate Shearing (N/mm ²) |
|----------------|----------------------------------|------------------|---|
| วัสดุยึดประสาน | 2,570.31 | 47,300.00 | 9.21 |

3. ผลการทดสอบกำลังรับการต้านแรงดึงของไฟเบอร์กลาส

ในการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของเส้นไฟเบอร์กลาสและผลของการทดสอบคุณสมบัติการรับกำลังต้านแรงดึงของเส้นไฟเบอร์กลาส ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการทดสอบทั้งหมดจะเป็นข้อมูลที่จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป รายละเอียดดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบคุณสมบัติกำลังต้านทานแรงดึงของเส้นไฟเบอร์กลาส

| Specimen | Proportional Limit (N/mm ²) | Yield Strength 0.1 % Offset (N/mm ²) | Tensile Strength (N/mm ²) | Modulus of Elasticity (N/mm ²) |
|-----------------|--|--|---|--|
| เส้นไฟเบอร์กลาส | 25,500 | 26,500 | 29,900 | 10,975 |

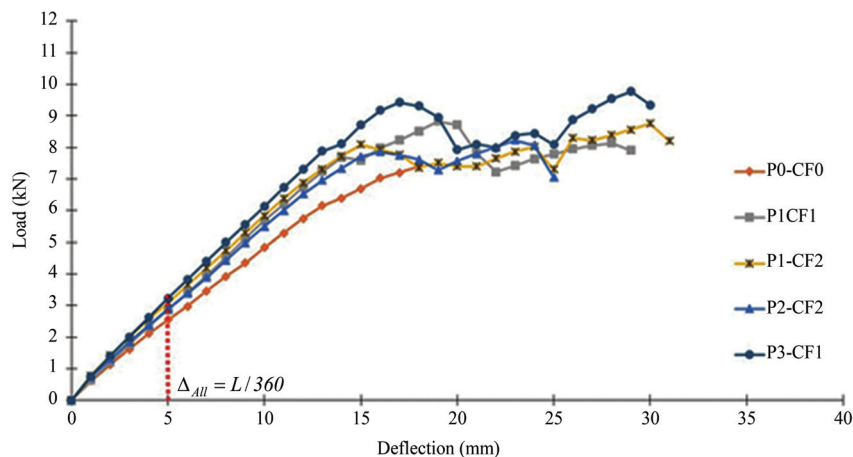
4. ผลการทดสอบการรับกำลังต้านแรงดึงของคานไม้ยางพาราหน้าตัดประกอบเสริมเส้นไฟเบอร์ ผลของการทดสอบเบื้องต้นของไม้ยางพาราจะได้ค่าความเครียดของไม้ ความเครียดของไฟเบอร์ โมดูลัสของไม้และไฟเบอร์ นำค่าที่ได้มาออกแบบการรับกำลังต้านแรงดึง รายละเอียดดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 การออกแบบคานไม้ยางพาราหน้าตัดประกอบ เสริมเส้นไฟเบอร์กลาสรับกำลังต้านแรงดึง

| Specimen | ES (N/mm ²) | EW (N/mm ²) | n (N/mm ²) | I (m ⁴) | M _{max} (N/m) | P _{max} (N/m) | Δ _{max} (mm) |
|----------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|
| P0-CF0 | 10,975 | 4,886.47 | 2.25 | 4.167×10 ⁻⁶ | 0.0144 | 2.013 | 5 |
| P1-CF1 | 10,975 | 4,886.47 | 2.25 | 5.297×10 ⁻⁶ | 0.0145 | 5.758 | 5 |
| P2-CF2 | 10,975 | 4,886.47 | 2.25 | 6.427×10 ⁻⁶ | 0.0145 | 6.986 | 5 |
| P1,2-CF2 | 10,975 | 4,886.47 | 2.25 | 6.427×10 ⁻⁶ | 0.0145 | 6.986 | 5 |
| P3-CF1 | 10,975 | 4,886.47 | 2.25 | 5.297×10 ⁻⁶ | 0.0145 | 5.758 | 5 |

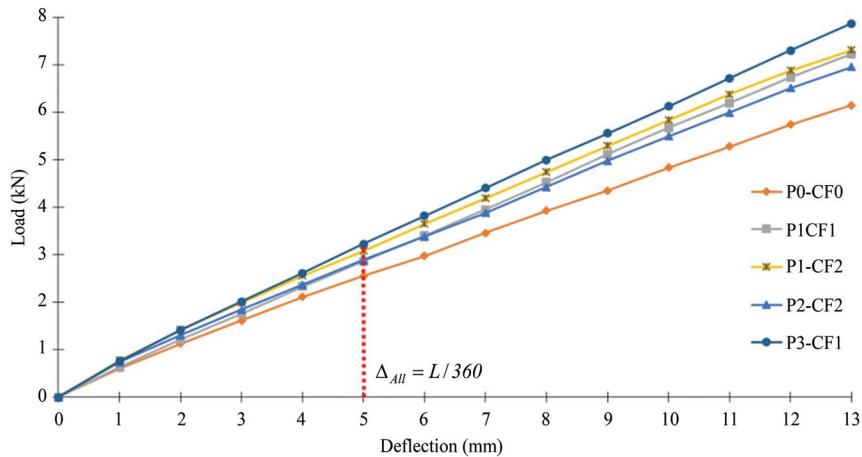
5. ความสัมพันธ์ของน้ำหนักบรรทุกกับการโก่งตัว

ผลการทดสอบกำลังการรับน้ำหนักของคานไม้ยางพาราพบว่า การเสริมเส้นไฟเบอร์ของ P3-CF1 จะรับน้ำหนักเฉลี่ยสูงสุดได้ 9.78 kN ซึ่งมากกว่าเฉลี่ยร้อยละ 32.16 เมื่อเทียบกับคานที่ไม่มีการเสริมเส้นไฟเบอร์ P0-CF0 การเสริมเส้นไฟเบอร์ของ P1-CF1 จะรับน้ำหนักเฉลี่ยสูงสุดได้ 8.82 kN ซึ่งมากกว่าเฉลี่ยร้อยละ 19.20 เมื่อเทียบกับคานที่ไม่มีการเสริมเส้นไฟเบอร์ P0-CF0 การเสริมเส้นไฟเบอร์ของ P1-CF2 จะรับน้ำหนักเฉลี่ยสูงสุดได้ 8.76 kN ซึ่งมากกว่าเฉลี่ยร้อยละ 18.38 เมื่อเทียบกับคานที่ไม่มีการเสริมเส้นไฟเบอร์ (P0-CF0) การเสริมเส้นไฟเบอร์ของ P2-CF2 จะรับน้ำหนักเฉลี่ยสูงสุดได้ 8.23 kN ซึ่งมากกว่าเฉลี่ยร้อยละ 11.22 เมื่อเทียบกับคานที่ไม่มีการเสริมเส้นไฟเบอร์ P0-CF รายละเอียดดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับระยะแอ่นตัว

ผลการทดสอบของคานไม้ที่ระยะการเปลี่ยนแปลงการเสียรูปที่พบว่า การเสริมเส้นไฟเบอร์ของตัวอย่าง P3-CF1 มีค่าเพิ่มขึ้นร้อยละ 25 ตัวอย่าง P1-CF2 มีค่าเพิ่มขึ้นร้อยละ 16.67 และตัวอย่าง P1-CF1, P2-CF2 มีค่าเพิ่มขึ้นร้อยละ 10 เมื่อเทียบกับคานไม้ยางพาราที่ไม่มีการเสริมเส้นไฟเบอร์ P0-CF0 และพบว่า การเสริมเส้นไฟเบอร์ของตัวอย่าง P1-CF1 มีค่าเทียบเท่ากับการเสริมเส้นไฟเบอร์ของตัวอย่าง P2-CF2 รายละเอียดดังรูปที่ 7



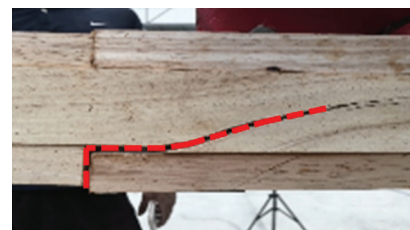
รูปที่ 7 การทดสอบน้ำหนักบรรทุกและระยะการแอ่นตัวที่ $\Delta_{All} = L/360$

6. ลักษณะการวิบัติของคานไม้

ผลการทดสอบสังเกตพบว่า มีลักษณะการวิบัติบริเวณรอยต่อของท่อนไม้และวิบัติตามแนวเส้นของไม้ตำแหน่งการเสริมเส้นกำลังด้วยเส้นไฟเบอร์และจุดต่อมีผลโดยตรงต่อการโก่งตัว และความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกทุกภายใต้แรงคดแบบ 4 จุด โดยคานไม้ยางพาราประกอบมีลักษณะการแตกร้าและลักษณะของการวิบัติคล้ายคลึงกันในแต่ละรูปแบบเมื่อคานไม้ยางพาราประกอบรับน้ำหนักบรรทุกที่มีค่าความเครียดใกล้ถึงจุดความเครียดปฏิกิริภาพพบว่า ท้องคานที่มีการรับแรงคดจะเริ่มมีการแตกร้าในส่วนการรับแรงคดและจากลักษณะการวิบัติของคานไม้ยางพาราประกอบเสริมกำลังด้วยเส้นไฟเบอร์พบว่า การรับน้ำหนักบรรทุกของนั้นเพิ่มขึ้นตามรูปแบบตำแหน่งของการเสริมเส้นไฟเบอร์ รายละเอียดดังรูปที่ 8

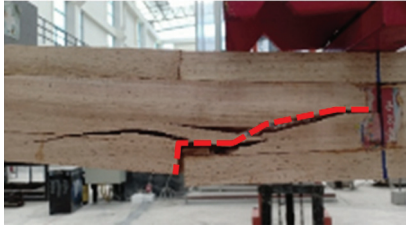


(ก) การวิบัติของคาน (P0-CF0)

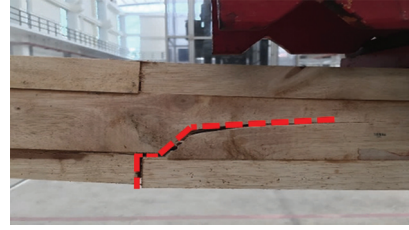


(ข) การวิบัติของคาน (P1-CF1)

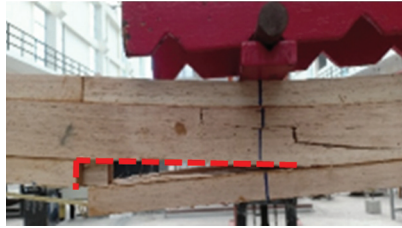
รูปที่ 8 ลักษณะการวิบัติของคานไม้



(ค) การวิบัติของคาน (P2-CF2)



(ง) การวิบัติของคาน (P1,2-CF2)



(จ) การวิบัติของคาน (P3-CF1)

รูปที่ 8 ลักษณะการวิบัติของคานไม้ (ต่อ)

การอภิปรายผล

จากการออกแบบโครงสร้างสำหรับการรับน้ำหนักบรรทุกทุกของไม้ยางพาราประกอบและเสริมกำลังด้วยเส้นไฟเบอร์ที่ตำแหน่งผิวล่างสุด P3-CF2 จะสามารถรับกำลังต้านทานแรงดัดเพิ่มขึ้นร้อยละ 25 ในช่วงการโก่งตัว L/360 และกำลังต้านทานแรงดัดมีค่าเพิ่มขึ้นร้อยละ 32.16 ซึ่งมีค่ามากที่สุดเมื่อเทียบกับคานไม้ยางพาราหน้าตัดประกอบที่ไม่เสริมกำลังด้วยเส้นไฟเบอร์

การเสริมกำลังด้วยเส้นไฟเบอร์ที่ตำแหน่งผิวล่างจำนวน 1 เส้น P1-CF1 มีผลให้คานไม้ยางพาราสามารถรับกำลังเพิ่มขึ้นร้อยละ 19.20 และการเสริมกำลังด้วยเส้นไฟเบอร์ที่ตำแหน่งผิวล่างจำนวน 2 เส้น P1-CF2 มีผลให้คานไม้ยางพาราสามารถรับกำลังเพิ่มขึ้นร้อยละ 18.38 เมื่อเทียบความแตกต่างระหว่างการเสริมเส้นไฟเบอร์จำนวน 1 เส้น และจำนวน 2 เส้น ในตำแหน่งผิวล่างของคานไม้ยางพาราเท่ากับร้อยละ 4.46

การเสริมกำลังด้วยเส้นไฟเบอร์ที่ตำแหน่งผิวล่างและตำแหน่งผิวบนจำนวนอย่างละ 1 เส้น P1,2-CF2 มีผลให้คานไม้ยางพาราสามารถรับกำลังเพิ่มขึ้นร้อยละ 11.22 เมื่อเทียบ P0-CF0 ที่ไม่มีการเสริมแรงด้วยเส้นไฟเบอร์พบว่า การเสริมแรงด้วยเส้นไฟเบอร์ในตำแหน่งผิวบนไม่มีผลต่อการรับกำลังของคานไม้ยางพารา

บทสรุป

ผลการศึกษาการประกอบคานไม้ยางพาราที่เสริมกำลังด้วยเส้นไฟเบอร์ด้วยการทดสอบความต้านทานแรงดัดแบบ 4 จุด นั้นพบว่าความเค้นที่จุดปฏิภาค ความเค้นที่จุดแตกกร้าว โมดูลัสยืดหยุ่นและหน่วยแรงเฉือนสูงสุดมีเพียงพอต่อการนำไปใช้งานสำหรับโครงสร้างที่รับน้ำหนักไม่มากนักและกำลังต้านทานแรงดัดนั้นจะมีค่าสูงขึ้นตามรูปแบบของการเสริมกำลังที่ตำแหน่งชั้นผิวล่างสุดของคาน P3-CF2 จากผลการทดสอบบริเวณตำแหน่งชั้นผิวล่างสุดจะทำให้กำลังรับน้ำหนักสูงสุดซึ่งเป็นรูปแบบที่เหมาะสมที่สุด มีความเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งานเป็นโครงสร้าง อย่างไรก็ตามยังมีปัจจัยอีกมากที่อาจจะส่งผลต่อกำลังโดยอาทิเช่น การเตรียมตัวอย่างท่อนไม้ได้ขนาดไม่ผิดรูป ประกอบด้วย การอัดแรง การเลือกวัสดุประสานและการเลือกวัสดุเสริมกำลัง เป็นต้น

ข้อเสนอแนะ

จากข้อมูลผลการทดสอบนี้ยังสามารถพัฒนารูปแบบการประกอบชิ้นงานของคานไม้ยางพาราที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการรับน้ำหนักบรรทุกทุกด้วยการเพิ่มวัสดุเสริมแรงหรือเปลี่ยนชนิดของวัสดุผสมที่สามารถรับประสานระหว่างหน้าพื้นผิวสัมผัสได้อย่างดีขึ้นเนื่องจากวิธีการประกอบไม้ยางพารา วัสดุที่ใช้ในการเสริมแรง และวัสดุประสาน หรือออกแบบจุดต่อแบบอื่น มีผลต่อการรับกำลังแรงดึงของคานไม้ยางพารา

กิตติกรรมประกาศ

บทความฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลือและการสนับสนุนเป็นอย่างดีจากทีมงานอาจารย์สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย นักศึกษาในสาขาวิชาวิศวกรรมโยธาที่ช่วยงานทดสอบจนงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี

References

- [1] Jarusombat, S., Weenin, T., and Piam-arun, A. (2009). **Innovation for Wood Utilization**. Department of Products Faculty of Forestry Kasetsart University
- [2] Rodbumrung, A., Suttiwattana, P., Netiworaruksa, B., Nakaravarayut, K., and Thongsanitgarn, P. (2020). A Study on Mechanical Properties of Fiberglass Mixed with Latex and Natural Fibers. **Udon Thani Rajabhat University Journal of Sciences and Technology**. Vol. 8, No. 2, pp. 133-144
- [3] National Economic and Social Development Council. (2021). **Total Products in Thailand in the 3rd**. National Accounts Division. Access (20 December 2021). Available (<https://www.nesdc.go.th>)
- [4] Plastics Institute of Thailand. (2019). **Report of Thai Rubber and Rubber Wood Products Industry**. Bangkok: Information Communication Center and Office of the Permanent Secretary, Ministry of Commerce
- [5] Seangatith, S. (2012). **Development of Design Equations for Pultruded-Fiber Reinforced Plastic Having C-Section Under Flexure with Simple and Fixed Supports**. Faculty of Engineering, Suranaree University of Technology. (in Thai)
- [6] Phumichai, T., Sungsing, K., Riyapan, J., and Phumichai, C. (2015). Chemical and Mechanical Properties in *Hevea brasiliensis*. **Thai Agricultural Research Journal**. Vol. 33, No. 2, pp. 144-158
- [7] Prachasaree, W., Samakrattakit, A., and Thongruang, W. (2010). **Performance Evaluation of FRR Reinforced Para-Wood Glued Laminate (Glulam) Beam Under Flexure**. **Research and Development Journal**. Vol. 21, No. 1, pp. 7-16
- [8] Spaun, F. D. (1981). Reinforcement of Wood with Fiberglass. **Forest Products Journal**. Vol. 13, No. 6, pp. 26-33
- [9] Mangsamong, W. and Kodae, H. (2018). **Study of Flexural Behavior of Laminated Rubber Wood Beam Reinforced with Glass Fiber Reinforced Ploy**. Degree of Bachelor Civil Engineering, Faculty of Engineering, Princess of Naradhiwas University

- [10] Sivadee. (2020). **TECH FOCUS USP Laser Fast Manufacturing of CFRP Parts**. Fraunhofer Institute for Laser Technology. Access (20 April 2020). Available (<http://toolmakers.co/production-cfrp-withlaser-usp>)
- [11] Bank. (2010). **The Pultex Pultusion Design Manual of Standard and Custom Fiber Reinforced Polymer**. Strutral Profiles Pennsylvania.
- [12] Urapeepatanapong, C. (1989). Production and Utilization of Rubber Wood in Thailand: II. Wood Utilization and Economic Aspects. **Thai Journal of Forestry (Thailand)**. Vol. 8, No. 3, pp. 257-268
- [13] Nadir, Y., Nagarajan, P., Ameen, M., and Arif, M. M. (2016). Flexural Stiffness and Strength Enhancement of Horizontally Glued Laminated Wood Beams with GFRP and CFRP Composite Sheets. **Construction and Building Materials**. Vol. 112, pp. 547-555. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2016.02.133
- [14] Lssa, C. and Kmeid, Z. (2005). Advanced Wood Engineering: Glulam Beam. **Construction and Building Materials**. Vol. 19, Issue 2, pp. 99-106. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2004.05.013
- [15] Astm International D143-94. (2000). **Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber**. West Conshohocken: Barr Harbor Drive, 2000
- [16] Sirisak, P. (2011). **Mechanics**. (Annual Report 3). Bangkok: Med Sai Printing
- [17] Hibbeler, R.c. (2011). **Mechanics of Materials Eight Edition United states of America**. The United States: Pearson Prentice Hall
- [18] American Society of Testing Materials ASTM D143. (2000). **Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber**. Drive, 2000
- [19] Sangsing, K., Phaenchana, P., Chaipanich, P., and Na Ranong, N. (2008). **Studies on Wood Production Lumber Recovery Quality and Wood Property of 4 Recommended Rubber Clones**. Eds. pp. 30-32 Surat Thani: Department of Agriculture
- [20] Thongkhaw, T. (2019). **Failure Behavior of Beam-Column Connections in Hybrid Rubber Wood-Steel Structure**. Master's Thesis Department of Civil Engineering Civil Engineering Rajamangala University of Technology Srivijaya