



Failure Behavior of Para-Wood Glued Laminated (Glulam) Beam Reinforced with FRP

Adil Niyomdecha, Nuntachai Chusilp and
Charoon Charoennetkul

EasyChair preprints are intended for rapid dissemination of research results and are integrated with the rest of EasyChair.

March 6, 2020

พฤติกรรมการวิบัติของคานไม้ยางพาราประกอบติดกาวเสริมกำลังด้วยเส้นใยพอลิเมอร์ Failure Behavior of Para -Wood Glued Laminated (Glulam) Beam Reinforced with FRP

อาดิล นียมเดชา^{1*}, นันทชัย ชูศิลป์² และจรรยา เจริญเนตรกุล

¹อาดิล นียมเดชา สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย จังหวัดสงขลา 90000

²นันทชัย ชูศิลป์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย จังหวัดสงขลา 90000

จรรยา เจริญเนตรกุล สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย จังหวัดสงขลา 90000

*ติดต่อ: E-mail adilniyomdecha@gmail.com, เบอร์โทรศัพท์ 062-0846788, เบอร์โทรสาร 0-7432-4245

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาพฤติกรรมการรับน้ำหนัก การแอ่นตัว และการวิบัติของคานไม้ยางพาราประกอบติดกาวเสริมกำลังด้วยเส้นใยพอลิเมอร์ ซึ่งคานไม้ยางพาราประกอบติดกาวติดไม้ด้วยกัน 4 ชั้น มีขนาดความกว้าง 7.5 cm.หนา 14 cm. และยาว 200 cm. ระยะห่างระหว่างจุดรองรับ คือ 180 cm. ผลการทดสอบพบว่าคานไม้ยางพาราประกอบเสริมกำลังด้วยเส้นใยพอลิเมอร์ จำนวน 1 แผ่นที่ชั้นใต้ผิวคาน L1 สามารถรับน้ำหนักได้มากกว่าร้อยละ 51.62 ของคานไม้ยางพาราประกอบที่ไม่เสริมกำลังและมากกว่าร้อยละ 45.16 ที่เสริมกำลังในชั้นก่อนใต้ผิวคาน L2 เกิดการวิบัติที่แผ่นไม้บริเวณชั้นใต้ผิวคานแบบดึงขวางเสี้ยน และคานไม้ยางพาราประกอบที่เสริมกำลังด้วยเส้นใยพอลิเมอร์ จำนวน 2 แผ่น ที่ชั้นใต้ผิวคานและชั้นก่อนใต้ผิวคานเมื่อรับแรงกระทำเกินขีดจำกัดที่สามารถรับได้เกิดการวิบัติที่รอยต่อระหว่างแผ่นไม้รับน้ำหนักได้มากกว่าร้อยละ 27 ของคานไม้ยางพาราประกอบที่เสริมกำลังด้วยเส้นใยพอลิเมอร์ จำนวน 2 แผ่น ที่ชั้นก่อนใต้ผิวคานกับชั้นกลาง ก่อนเกิดการวิบัติ

คำหลัก: คานไม้ยางพาราประกอบ, ไม้ยางพารา, เสริมกำลัง , การวิบัติ

Abstract

This research is to study the load-bearing behavior, deflection and failure behavior of Para rubber wood glued laminated (Glulam) Beam, consisting of glued reinforcement with *fiber reinforced polymer* (FRP), Para rubber wood which are glued laminated beam, consisting of 4 layers of glue sticking together, with a width of 7.5 , 14 thick and 200 cm. long. The distance between the support points is 180 cm. The test results showed that the Para rubber wood glued laminated Beam (Glulam Beam) reinforce with sheet of *fiber reinforced polymer* (FRP) 1 layers at the surface under the beam L1 can receive weight better than the substrate under the beam surface, more than 51.62 percent of Glulam Beam unreinforced and more than 45.16 percent of reinforce L2 layers the failure happened Cross-Grain Tension at wood under surface of beam and Glulam are reinforced with 2 *fiber reinforced polymer* (FRP) at the surface under the beam and substrates under the beam surface. When the load exceeds the limit that can be received, the failure happened at joint between timber it is can be support more than 27 percent of the Glulam beam that are reinforced with 2 polymer fibers at the first layer under the beam and the middle before the failure

Keywords: Para rubber wood glued laminated (Glulam) Beam, Para rubber wood, reinforcement, failure

1. บทนำ

เนื่องจากปัจจุบันหลายประเทศรวมทั้งในประเทศไทยมีการก่อสร้างอาคารโดยใช้โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กเป็นจำนวนมาก ซึ่งต้องผ่านขบวนการออกแบบส่วนผสม ผสมคอนกรีต ลำเลียงคอนกรีตไปยังสถานที่ก่อสร้าง วางเหล็กเสริม เข้าแบบ เทคอนกรีต รวมถึงต้องคอยให้กำลังรับแรงอัดขึ้นถึงขีดกำลังที่สามารถรับน้ำหนักได้เพื่อเปิดให้ผู้คนสามารถใช้สอยได้นั้น ซึ่งเมื่อพิจารณาตามลำดับงานก่อสร้าง และราคาวัสดุแล้วต้องใช้เวลาในการดำเนินงานค่อนข้างมาก และราคาสูง อีกหนึ่งทางเลือกนอกจากคอนกรีตแล้ว สามารถใช้ไม้เนื้อแข็งเป็นโครงสร้างอาคารโดยทั่วไป

ไม้ยางพารา (Para Rubber Wood) เป็นไม้ประเภทเนื้ออ่อน แต่เมื่อผ่านขบวนการอบน้ำยาและอบแห้งแล้ว จะจัดได้ว่าเป็นไม้เนื้อปานกลางมีความคงทนและแข็งแรงเพิ่มขึ้น ในภาคใต้ของประเทศไทยชาวบ้านเกษตรกรในพื้นที่นอกเมืองส่วนใหญ่ได้มีการปลูกไม้ยางพารา กันอย่างแพร่หลายซึ่งเป็นไม้เศรษฐกิจ นิยมนำมาใช้ทำเฟอร์นิเจอร์ เนื่องจากมีสีสนที่สวยงามสามารถตกแต่งผิวได้ง่าย การหดตัวน้อย ส่งผลให้อุตสาหกรรมแปรรูปไม้ยางพาราเป็นที่นิยมและเป็นที่ต้องการของตลาดสูง และมีความต้องการที่จะพัฒนารูปแบบผลิตภัณฑ์ใหม่จากไม้ยางพารา

ในต่างประเทศมีการใช้ไม้ประกอบ (Glulam) เป็นไม้โครงสร้างประกอบที่ผ่านขบวนการ แปรรูป ปรับขนาด ประกอบ และบิ้อัดกาว ขั้นตอนการติดตั้ง ไม่ยุ่งยาก ไม่ต้องผ่านขบวนการก่อนนำไปใช้งานมากเหมือนโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก สามารถประหยัดเวลาในการติดตั้งให้อยู่ในสภาพพร้อมใช้สอยได้มากพอสมควร และราคาถูกกว่าเมื่อเทียบกับโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ในด้านอุตสาหกรรมการก่อสร้างพบว่าความต้องการที่จะนำไม้มาใช้งานซึ่งมีอัตราการขยายตัวเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ประเภท ไม้ท่อน ไม้แปรรูป และไม้แผ่นบาง อย่างไรก็ตามคุณสมบัติพื้นฐานของไม้ที่สำคัญบางประการ คือ เป็นวัสดุที่หาไม่ยากนัก สามารถปลูกทดแทนใหม่ได้ มีน้ำหนักเบา และมีความแข็งแรงในระดับดี จึงยังคงมีความนิยมใช้งานในด้านต่างๆ ซึ่งอุตสาหกรรมการก่อสร้างในต่างประเทศได้ประยุกต์ใช้งานไม้ในการผลิตไม้ประกอบลามิเนต Glue Laminaed Timber (Glulam) เพื่อใช้เป็นส่วนประกอบของอาคาร ที่

รับน้ำหนักของโครงสร้างต่างๆ ได้แก่ เสา คาน และพื้น ซึ่งมีการประยุกต์ใช้วัสดุเสริมกำลังในโครงสร้าง โลหะ แผ่นเหล็ก เส้นใยคาร์บอน เส้นใยแก้ว และเส้นใยพอลิเมอร์ เป็นต้น

ข้อจำกัดของการใช้โลหะเสริมกำลังในโครงสร้างไม้ คือ การเข้ากันยากระหว่างไม้กับวัสดุเสริมกำลัง และความแตกต่างในคุณสมบัติการขยายตัวเนื่องจากน้ำหนักและลักษณะความแข็งแรงระหว่างไม้กับโลหะที่เป็นวัสดุเสริมกำลังมีความแตกต่างกันมากซึ่ง เมื่อวัสดุรับน้ำหนักถึงจุดวิบัติ ส่งผลให้เกิดการแยกตัวระหว่างกันในแนวที่วัสดุทั้งสองชนิดยึดติดกัน

วิธีที่เป็นไปได้ในการหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าว คือ การใช้เส้นใยเสริมที่มีกำลังสูง FRP เพื่อเสริมแรงในชิ้นส่วนไม้ประกอบติดกาว (Glulam) รูปแบบใหม่ จากการเสริมแรงด้วยเส้นใย FRP ในไม้ประกอบติดกาวนี้ มีผลให้ทำให้ไม้มีความแข็งแรงขึ้น น้ำหนักเบา และมีขนาดเล็กกว่าชิ้นส่วนโครงสร้างไม้ทั่วไป โดยสามารถใช้ไม้ที่มีคุณภาพต่ำหรือไม่สามารถรับน้ำหนักได้มากนักได้ และช่วยให้ประหยัดค่าใช้จ่ายมากกว่าเดิม [1]

Dagher HJ, Kimball T, Abdel-Magid B, Shaler S, (1995) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการนำไม้มาใช้งานร่วมกับเส้นใยแก้ว FRP พบว่า การเสริมแรงในคานไม้ประกอบด้วยเส้นใยแก้ว FRP ประมาณ ร้อยละ 2 สามารถเพิ่มความแข็งแรงได้มากกว่าร้อยละ 50 [2]

Camille A. Issa., and Ziad Kmeid. (2004) ได้ศึกษาคุณสมบัติกำลังรับแรงดัดทางวิศวกรรมของคานไม้ประกอบ ชนิดไม่เสริมแรง กับ ชนิดเสริมแรงด้วยเส้นใย CFRP จากผลการทดลองพบว่าชนิดที่มีการเสริมแรงให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างจากคานไม้ชนิดที่ไม่เสริมแรง คือ การเสริมแรงในคานช่วยให้การวิบัติของคานจากการวิบัติแบบเปราะกลายเป็นวิบัติแบบเหนียวและช่วยให้สามารถรับน้ำหนักได้มากขึ้น [3]

จากงานวิจัยของ Hernandez และคณะ (1997) ได้ตรวจสอบกำลังรับแรงดัด และความแข็งแรงของคานไม้ประกอบ (Yellow poplar Glulam) เสริมแรงด้วย GFRP ร้อยละ 3 ชั้นหนึ่งถูกยึดติดกับคานด้านรับแรงดัดและอีกชั้นหนึ่งในด้านรับแรงอัด แต่มีรายงานว่า การเสริมแรงมีผลให้คานมีกำลังรับแรงดัดและความแข็งแรงสูงขึ้น คานที่

ผ่านการทดสอบเกิดการวิบัติอย่างรุนแรงในด้านที่คานรับแรงดึงและทำให้แผ่นไม้แยกออกจากกันกับเส้นใย [4]

ในประเทศไทยพบว่า การประยุกต์ใช้ไม้ประกอบลามิเนตยังมีข้อจำกัดและอุปสรรคค่อนข้างมากตั้งแต่การขาดแคลนไม้เนื้อแข็ง การขาดความรู้ความเข้าใจในด้านพฤติกรรม การรับน้ำหนักและคุณสมบัติอื่นๆ แนวคิดในการประยุกต์ใช้งานไม้ประกอบลามิเนตจำเป็นต้องวางอยู่บนพื้นฐานที่สามารถหาวัสดุได้ง่าย ขั้นตอนในการประดิษฐ์ไม่ยุ่งยาก หรือซับซ้อนมากนัก มีสมบัติเชิงกลดีพอที่จะนำมาทำการปรับปรุงประสิทธิภาพและคุณสมบัติให้ดีขึ้น อย่างไรก็ตามคานไม้ประกอบ (Glulam) มีการนำมาใช้งานจริงในต่างประเทศหลายแห่ง ซึ่งผู้ทำการวิจัยได้เล็งเห็นถึงความสำคัญถึงความเหมาะสมที่จะศึกษาเรื่อง คานไม้ยางพาราประกอบติดกาวเสริมกำลังด้วยเส้นใยพอลิเมอร์

2. วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

ในงานวิจัยประกอบด้วยรายการสำคัญหลักๆ ที่แสดงดังหัวข้อต่อไปนี้

2.1 ไม้ยางพารา

ไม้ยางพารา (Para rubber wood) หรือนิยมใช้ว่า rubber wood ในงานวิจัยนี้ใช้ไม้คุณภาพ AB ที่ผ่านการอบน้ำยาและอบแห้งแล้ว จาก บริษัทชัยรัตน์พาราวิูด จำกัด อำเภอรามัน จังหวัดยะลา

2.2. เส้นใยพอลิเมอร์เสริมกำลัง

เส้นใยพอลิเมอร์เสริมกำลัง (Fiber Reinforced Polymer) เป็นวัสดุคอมโพสิตประเภทพอลิเมอร์เสริมกำลังด้วยเส้นใยในรูปแบบต่างๆ ในงานวิจัยนี้ได้ใช้เส้นใยพอลิเมอร์ ประเภทเส้นใยแก้ว (Glass Fibers) ซึ่งนำมาถักทอให้เป็นแผ่นผืนผ้า ซึ่งเรียกว่าใยสานหรือผืนเส้นใย (Woven Rovings) ที่ใช้งานกันในด้านวิศวกรรมโยธา มีทิศทางการเรียงตัวของเส้นใยถักทอตั้งฉากกันเป็นมุม 0/90 องศา [5] โดยใช้เรซินอีพ็อกซีเป็นวัสดุประสานติดใยสานกับไม้ประกอบในโซนรับแรงดึงเพื่อเป็นการปรับปรุงการเสริมกำลังในคานไม้ประกอบ การนำไปเสริมกำลังในคานประกอบ ได้ทำการทดสอบเส้นใยแก้วพอลิเมอร์เสริมกำลัง เพื่อประเมินกำลังรับแรงดึง โมดูลัสยืดหยุ่น ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ACI 440.3R-04 เป็นมาตรฐานที่ได้รับการพัฒนาจาก ASTM D3039 ให้น้ำหนักคงที่ตามอัตราความเครียดในความยาวเกรงระหว่าง 0.17 ถึง 0.33

mm/s พร้อมบันทึกข้อมูล [6] (ในการดึงทดสอบไม่ได้ดึงเส้นใยล้วนๆ มีการเคลือบเส้นใยด้วยเรซิน)



รูปที่ 1 แผ่นเส้นใยพอลิเมอร์ที่ใช้ในงานวิจัย

2.3 กาวติดไม้

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้กาวผง รั้วคู้ด (Rock Wood Powder Glue) ยึดติดประกอบแผ่นไม้ การผสมกาวรั้วคู้ด ใช้อัตราส่วนผสม 1:1 โดยน้ำหนักผสมกับน้ำ 1 ส่วน ค่อยๆ เติมน้ำทีละน้อย คนให้เข้ากัน ใช้ทาวีสดุที่ต้องการเชื่อมเข้าด้วยกันเพียงด้านเดียว แต่ในงานวิจัยจะทาทั้งสองด้านของพื้นผิววัสดุเพื่อเป็นการช่วยในเรื่องการยึดเหนี่ยวของพื้นผิวสัมผัสประสานให้ยึดติดดียิ่งขึ้น

2.4 อีพอกซีเรซิน

อีพอกซีเรซิน (Epoxy Resins) หรือเรียกว่าเรซินอีพอกซี ในงานวิจัยนี้ได้ใช้อีพอกซีเรซินเป็นวัสดุเชื่อมประสานติดแผ่นเส้นใยพอลิเมอร์ กับชิ้นงาน ซึ่งต้องใช้ประเภท A และ B ผสมกันในสัดส่วน 2 : 1 แล้วคนประมาณ 5-10 นาที ก่อนที่จะนำไปติดชิ้นงาน

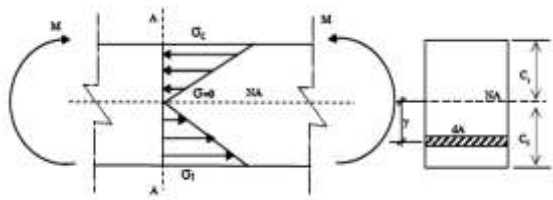


รูปที่ 2 เรซินอีพอกซีประเภท A และ B

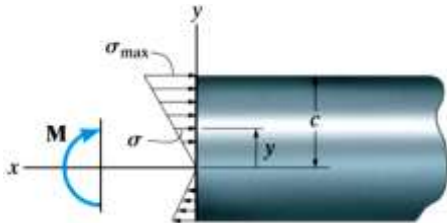
3. ทฤษฎีและรายละเอียดที่เกี่ยวข้อง

3.1 ทฤษฎีหน่วยแรงดัดในคาน

เมื่อคานรับแรงหรือน้ำหนักบรรทุกทุกภายนอกที่มากระทำ คานนั้นก็จะมีความเครียดเกิดขึ้นเพื่อต้านทานแรงหรือน้ำหนักบรรทุกทุกภายนอกเหล่านั้นซึ่งสามารถคำนวณและเขียนค่าแรงภายในที่เกิดขึ้นในรูปของแผนภาพของโมเมนต์ดัด และแผนภาพของแรงเฉือน ซึ่งหน่วยแรงที่เกิดจากแรงภายในคาน คือ หน่วยแรงดัดและหน่วยแรงเฉือน [7]



(a) การกระจายหน่วยแรงบนหน้าตัดคาน (b) หน้าตัดคาน



(c) เกิดหน่วยแรงสูงสุดที่ผิวบนคาน

รูปที่ 3 การเกิดหน่วยแรงในคาน

สมการที่ใช้หาหน่วยแรงสูงสุดที่เกิดขึ้นที่ผิวบนและผิวล่างของหน้าตัดคานในหน้าตัดคาน

$$\text{หน่วยแรงสูงสุดที่เกิดขึ้น ; } \sigma_{\max} = \frac{MC}{I} \quad (1)$$

โดยที่

σ_{\max} คือ หน่วยแรงตั้งฉากที่มากที่สุดที่เกิดขึ้นในส่วนที่เกิดขึ้นที่จุดบนพื้นที่หน้าตัดไกลจากแกนสะเทินมากที่สุด

M คือ โมเมนต์ดัดลัพท์ภายใน หากหาจากวิธีภาคโดยใช้สมการสมดุลและคำนวณรอบแกนสะเทินของหน้าตัด

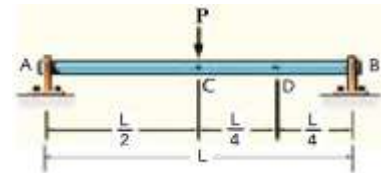
I คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่หน้าตัดคำนวณรอบแกนสะเทิน

C คือ ระยะตั้งฉากของแกนสะเทินไปถึงจุดไกลที่สุดจากแกนสะเทิน ที่ σ_{\max} กระทำ

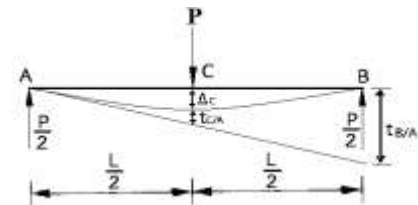
3.2 พฤติกรรมการแอ่นตัวของคาน

เมื่อมีแรงภายนอกมากระทำต่อโครงสร้างแล้ว โครงสร้างนั้นก็เกิดการแอ่นตัว ค่าการแอ่นตัวนี้จะมี ความสำคัญ สำหรับการออกแบบโครงสร้างวิศวกรผู้คำนวณออกแบบโครงสร้างจะต้องออกแบบให้โครงสร้างนั้น สามารถต้านทานแรงภายในที่เกิดขึ้นในชิ้นส่วนของ โครงสร้างอันผลเนื่องจากแรงภายนอกที่มากระทำ นอกจากนั้นจะต้องทำการตรวจสอบด้วยการแอ่นตัวที่เกิดขึ้นมีการแอ่นตัวมากน้อยเพียงใดถ้ามีการแอ่นตัวมาก อาจจะทำให้วัสดุตกแต่งเสียหายได้ อีกทั้งอาจทำให้ผู้ใช้

โครงสร้างนั้นๆเกิดความไม่สบายใจในการใช้อีกด้วย ถึงแม้ว่าโครงสร้างดังกล่าวจะไม่วิบัติก็ตามในหัวข้อนี้จะ ศึกษาพฤติกรรมการแอ่นตัวของคานขึ้นตัวอย่างพร้อม คำนวณหาค่าการแอ่นตัวที่เกิดขึ้น ซึ่งคานในที่นี้เป็น คานช่วงเดียวโดยจะให้น้ำหนัก P กระทำบนคาน ตรง กลางคาน 1 จุด ที่ระยะ L/2



รูปที่ 4 คานช่วงเดียวรับน้ำหนัก 1 จุด



รูปที่ 5 แผนภาพการแอ่นตัวของคาน

การหาค่าการแอ่นตัวที่เกิดขึ้นโดยวิธี Moment Area

เริ่มจากเทียบสมบัติสามเหลี่ยมคล้ายจะได้สมการ

$$\Delta_C = \frac{t_{B/A}}{2} - t_{C/A} \text{ จากนั้นหาระยะเชิงแบนและเส้นโค้งสัมผัส } t_{B/A} \text{ และ } t_{C/A} \text{ แล้วนำค่าที่คำนวณหา มาได้ไปแทนค่าในสมการ}$$

$$\text{จะได้ } \Delta_C = \frac{t_{B/A}}{2} - t_{C/A}$$

$$= \frac{PL^3}{16EI} - \frac{PL^3}{96EI}$$

$$= \frac{PL^3}{32EI} - \frac{PL^3}{96EI}$$

$$\Delta_C = \frac{PL^3}{48EI} \quad (2)$$

$$\text{โดยที่ } EI = \frac{PL^3}{48\Delta_C} \quad (3)$$

$$\text{และ } K = \frac{L^3}{48EI} \quad (4)$$

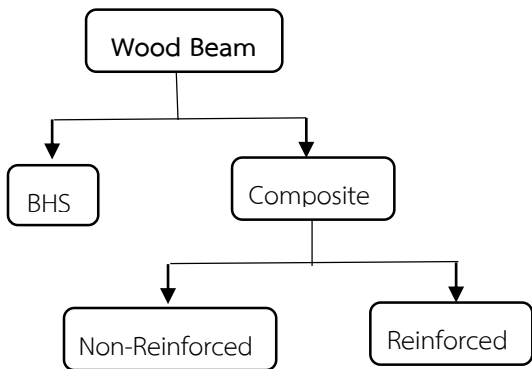
$$\text{ดังนั้น } \Delta_C = KP \quad (5)$$

∴ ระยะการแอ่นตัวสูงสุดเกิดขึ้นที่จุด C

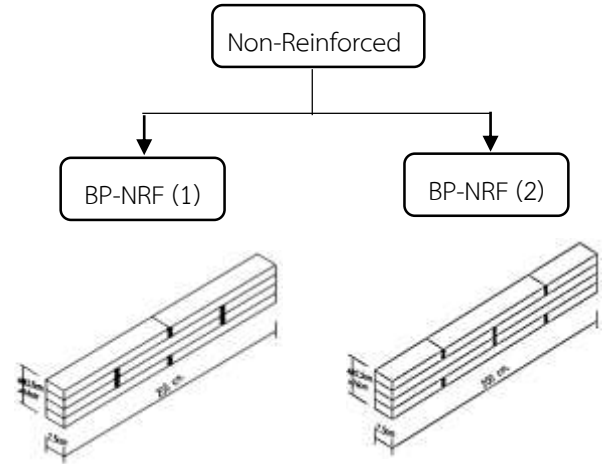
3.3 สัญลักษณ์ และรายละเอียดของคาน

ในการประกอบคานไม้ขึ้นตัวอย่างได้มีการกำหนดสัญลักษณ์ขึ้นมาเพื่อแยกประเภทและลักษณะต่างๆ โดยมีรูปแบบข้อกำหนดสัญลักษณ์ ดังนี้ A-B-C_D โดยที่ A คือ ไม้ที่ใช้ทำคาน, B คือ การเสริมกำลังด้วยวัสดุที่ใช้, C คือ จำนวนของวัสดุที่เสริมกำลัง, D คือ ชั้นที่เสริมกำลัง, คานไม้ยางพาราประกอบ(BP), คานไม้เนื้อแข็ง(ตะเคียนหิน) (BHS), ไม้เสริมกำลัง (NRF), เสริมกำลังด้วยแผ่นเส้นใยพอลิเมอร์ (FRP), ชั้นล่างสุดใต้ผิวคานที่เสริมกำลัง (L1), ชั้นก่อนถึงชั้นล่างสุดที่เสริมกำลัง (L2), ชั้นกลาง (L3)

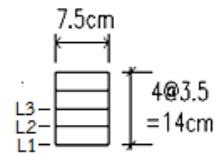
นอกจากปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาแล้ว เพื่อที่จะทำให้การประเมินประสิทธิภาพให้ได้ผลเสียครบถ้วน ในงานวิจัยนี้จึงจำกัดขอบเขตที่ทำการศึกษาให้อยู่เฉพาะรูปแบบที่น่าเสนอ คานขึ้นตัวอย่างที่ทำการศึกษาเพื่อเป็นการเปรียบเทียบ ประเมินกำลังรับน้ำหนัก พฤติกรรมการแอ่นตัว รูปแบบการวิบัติของคานไม้ยางพาราประกอบที่ไม่เสริมกำลังเทียบกับคานที่เสริมกำลังด้วยแผ่นเส้นใยพอลิเมอร์ และคานไม้ตะเคียนหินที่สามารถหาได้ในพื้นที่ ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ไม้ยางพาราแปรรูปเกรด AB ที่ผ่านการอบน้ำยาและอบแห้งโดยนำไม้มาแปรรูปปรับขนาดแต่งผิวอีกครั้งโดยแบ่งไม้เป็น 2 กลุ่มขนาดความยาว คือ กลุ่มความยาว 100 cm. และกลุ่มความยาว 50 cm. แล้วนำมาต่อ ในลักษณะต่อชนที่ปลายรอยต่อแบบฟัน (Finger Joint) เพื่อให้ได้คานไม้มีความยาวประมาณ 200 cm. สำหรับไม้ท่อนยางพาราที่ผ่านการประกอบโดยการต่อชนมาแล้ว จะถูกนำมาทำการประกอบขึ้นเป็นคานให้มีขนาด กว้าง 7.5 cm. หนา 14 cm. และยาว 200 cm. ทำการวางไม้ท่อนซ้อนกันแบบแซนวิช 4 ท่อนประกอบอัดกาวจนได้ขนาดความลึกของหน้าตัดดังรูปแบบคานดังรูปที่ 7 และ 8



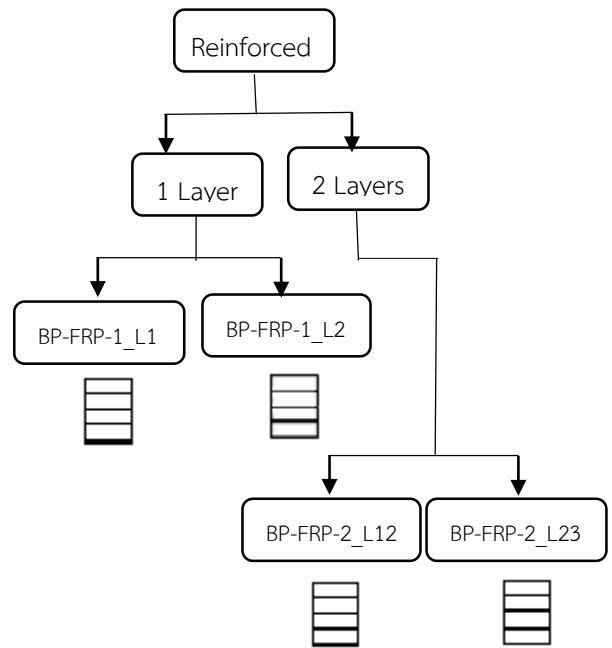
รูปที่ 6 ผังโครงสร้างคานที่ใช้ในงานวิจัย



รูปที่ 7 คานประกอบไม่เสริมกำลังรอยต่อแบบที่ (1) , (2)



รูปที่ 8 ขนาดหน้าตัดคานประกอบ



รูปที่ 9 ผังหน้าตัดคานประกอบที่เสริมกำลังด้วยแผ่นเส้นใยพอลิเมอร์

3.4 การทดสอบ

ในการทดสอบกำลังรับน้ำหนักของคานใช้มาตรฐานอ้างอิง ASTM D143 [8] ทำการปล่อยน้ำหนักที่จุดกึ่งกลางคาน 1 จุด บันทึกค่าน้ำหนักและการแอ่นตัวของคานที่เกิดขึ้นที่ระยะ L/360 และ L/180 ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 ทดสอบกำลังรับน้ำหนักของคาน

4. ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติของไม้

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบคุณสมบัติของไม้ยางพาราและไม้ตะเคียนหิน

ผลการทดสอบ	ไม้ยางพารา (ผู้วิจัย)	ไม้ยางพารา [4]	ไม้ตะเคียนหิน (ผู้วิจัย)	ไม้ตะเคียนหิน [4]
Natural Specific Gravity	0.66	0.62	0.93	0.88
Dry Specific Gravity	0.60	-	0.68	-
Moisture content, (%)	10.33	12	13.46	12
Modulus of elasticity (MPa)	9,360	10,458	15,634	16,180
Modulus of rupture (MPa)	83.64	110.39	132.21	158
Compression Perpendicular to grain (MPa)	48.56	51.51	57.96	66.6
Compression parallel to grain (MPa)	14.24	18.02	-	-
Shear parallel to grain (MPa)	16.32	20.65	15.64	19

4.2 ผลการทดสอบคานประกอบที่ไม่เสริมกำลัง

ข้อมูลผลการทดสอบคานไม้ยางพาราประกอบที่ไม่เสริมกำลังเทียบกับคานไม้ตะเคียนหินแสดงในตารางที่ 2 ตารางที่ 2 ผลการทดสอบคานไม้ยางพาราประกอบที่ไม่เสริมกำลังเทียบกับคานไม้ตะเคียนหิน

Code	Load at L/360 (kN)	Load at L/180 (kN)	$K = \frac{L^3}{48EI}$ (m/kN)	$EI = \frac{PL^3}{48\Delta_c}$ (kN.m ²)
BHS	7	14.7	0.6802×10^{-3}	178.61
BP-NRF (1)	5.8	12	0.8333×10^{-3}	145.8
BP-NRF (2)	5.8	12	0.8333×10^{-3}	145.8

จากผลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักของคานไม้ยางพาราประกอบที่ไม่เสริมกำลัง BP-NRF (1) BP-NRF (2) และคานไม้ตะเคียนหินBHS พบว่า แนวเส้นกราฟของ BP-NRF จะทับกัน บ่งชี้ว่ารูปแบบรอยต่อของคานไม้ประกอบไม่มีผลต่อการรับน้ำหนักพิจารณาที่ระยะการแอนตัวที่ L/360 และ L/180 ซึ่งเท่ากับ 5.8 kN และ 12 kN มีค่า $K = 0.8333 \times 10^{-3}$ m/kN และ $EI = 145.8$ kN.m² ส่วนคานไม้ตะเคียนหินรับน้ำหนักได้เท่ากับเท่ากับ 7 kN และ 14.7 kN

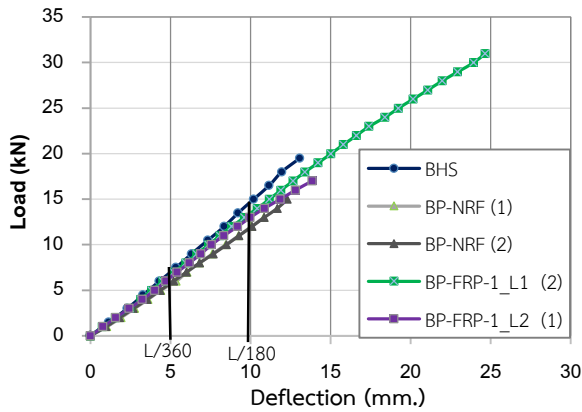
4.3 ผลการทดสอบคานประกอบที่เสริมกำลัง

4.3.1 ผลการทดสอบคานประกอบที่เสริมกำลังด้วยแผ่นเส้นใยพอลิเมอร์จำนวน 1 แผ่น

ข้อมูลผลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักของคานไม้ยางพาราประกอบที่เสริมกำลังด้วยแผ่นเส้นใยพอลิเมอร์ 1 แผ่น แสดงในตารางที่ 3 และรูปที่ 11

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบคานไม้ยางพาราประกอบที่เสริมกำลังด้วยแผ่นเส้นใยพอลิเมอร์ 1 แผ่น เทียบกับคานไม้ยางพาราประกอบ และคานไม้ตะเคียนหิน

Code	Load at L/360 (kN)	Load at L/180 (kN)	$K = \frac{L^3}{48EI}$ (m/kN)	$EI = \frac{PL^3}{48\Delta_c}$ (kN.m ²)
BHS	7	14.7	0.6802×10^{-3}	178.61
BP-NRF (1)	5.8	12	0.8333×10^{-3}	145.8
BP-NRF (2)	5.8	12	0.8333×10^{-3}	145.8
BP-FRP-1_L1(2)	6.78	13.8	0.72463×10^{-3}	167.67
BP-FRP-1_L2(2)	6.4	13	0.8333×10^{-3}	157.95



รูปที่ 11 ผลทดสอบคานที่เสริมกำลังด้วยแผ่นเส้นใยพอลิเมอร์ 1 แผ่น



รูปที่ 12 คานวิบัติแบบดึงขวางเส้น

จากผลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักของคานไม้ยางพาราประกอบที่เสริมกำลังด้วยแผ่นเส้นใยพอลิเมอร์ 1 แผ่น ประกอบด้วย BP-FRP-1_L1 (2) , BP-FRP-1_L2 (1) เทียบกับ BP-NRF (1),(2) และ BHS พบว่า การเสริมกำลังด้วยแผ่นเส้นใยพอลิเมอร์ สามารถรับกำลังได้มากกว่าคาน BP-NRF (1),(2) และBHS ซึ่งการเสริมกำลังด้วยแผ่นเส้นใยพอลิเมอร์ ที่ผิวล่างของคานชั้น L1 มีผลให้สามารถรับกำลังได้มากถึง 31 kN มากกว่า BP-NRF เทียบเป็นเปอร์เซ็นต์เท่ากับร้อยละ 51.62 และมากกว่า ร้อยละ 45.16 ที่เสริมกำลังในชั้น L2 เกิดการวิบัติแบบดึงขวางเส้น (Cross Grain Tension) ฉีกขาดเข้าหาแนวจุดต่อไม้กึ่งกลางคานดังรูปที่ 13 ส่วนแผ่นเส้นใยพอลิเมอร์ ไม่เกิดการฉีกขาดแต่อย่างใดลักษณะการวิบัติดังรูปที่ 14 มีการแอ่นตัวมากที่สุดเท่ากับ 24.65 mm. ส่วนการเสริมกำลังด้วยแผ่นเส้นใยพอลิเมอร์ ที่ชั้น L2 สามารถรับกำลังเท่ากับ 17 kN มากกว่า BP-NRF เทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ เท่ากับร้อยละ 11.76 เกิดการวิบัติแยกตัวของแผ่นไม้ชั้น L2 เนื่องจากกาวเชื่อมประสาน



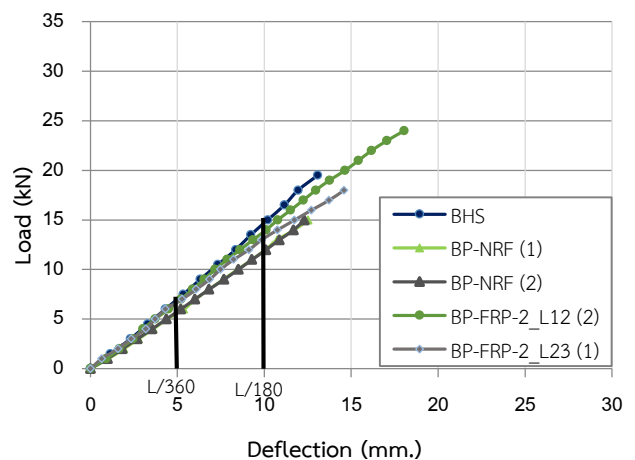
รูปที่ 13 ลักษณะการวิบัติของคาน

4.3.2 ผลการทดสอบคานประกอบที่เสริมกำลังด้วยแผ่นเส้นใยพอลิเมอร์จำนวน 2 แผ่น

ข้อมูลผลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักของคานไม้ยางพาราประกอบที่เสริมกำลังด้วยแผ่นเส้นใยพอลิเมอร์ 2 แผ่น แสดงในตารางที่ 4 และรูปที่ 14

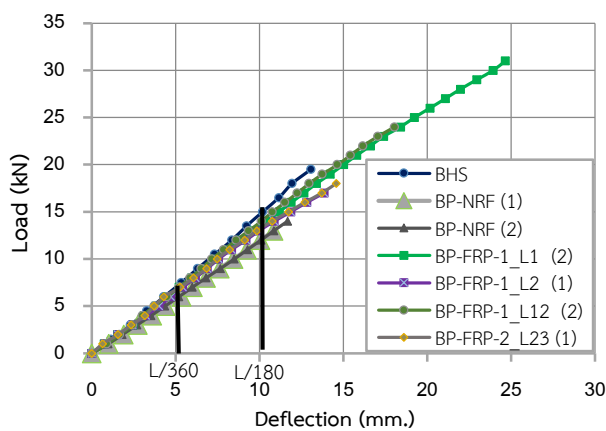
ตารางที่ 4 ผลการทดสอบคานไม้ยางพาราประกอบที่เสริมกำลังด้วยแผ่นเส้นใยพอลิเมอร์ 2 แผ่น เทียบกับคานไม้ยางพาราประกอบและคานไม้เนื้อแข็ง

Code	Load at L/360 (kN)	Load at L/180 (kN)	$K = \frac{L^3}{48EI}$ (m/kN)	$EI = \frac{PL^3}{48\Delta_c}$ (kN.m ²)
BHS	7	14.7	0.6802×10^{-3}	178.61
BP-NRF (1)	5.8	12	0.8333×10^{-3}	145.8
BP-NRF (2)	5.8	12	0.8333×10^{-3}	145.8
BP-FRP-2_L12 (2)	6.8	13.9	0.7194×10^{-3}	168.89
BP-FRP-2_L23 (1)	6.4	13.1	0.7633×10^{-3}	159.17



รูปที่ 14 ผลทดสอบคานประกอบเสริมกำลังด้วยแผ่นเส้นใยพอลิเมอร์ 2 แผ่น

จากผลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักของคานไม้ ยางพาราประกอบที่เสริมกำลังด้วยแผ่นเส้นใยพอลิเมอร์ 2 แผ่น ประกอบด้วย BP-FRP-2_L12 (2) , BP-FRP-2_L23 (1) เทียบกับ BP-NRF (1),(2) และ BHS พบว่าคาน BP-FRP-2_L12 (2) ที่เสริมกำลังด้วยแผ่นเส้นใยพอลิเมอร์ 2 แผ่น ที่ชั้น L1 และ L2 มีผลให้คานสามารถรับกำลังได้ถึง 24 kN มากกว่าร้อยละ 27 ของคาน BP-FRP-2_L23 (1) ที่เสริมกำลังชั้น L2 และ L3 ในขณะที่ BP-FRP-2_L23 (1) ซึ่งรับกำลังได้เท่ากับ 17.5 kN เกิดการวิบัติแยกตัวของไม้ ชั้นที่ L2 ที่บริเวณจุดกึ่งกลางของคาน ส่วนชั้น L3 และ L4 เกิดการแยกตัวของไม้เป็นแนวยาวไขว้ของคาน



รูปที่ 15 ผลทดสอบคานทั้งหมด

5. บทสรุป

ผลการศึกษาทดสอบกำลังรับน้ำหนักของคานไม้ ยางพาราประกอบติดกาวที่ไม่เสริมกำลัง และเสริมกำลัง ด้วยแผ่นเส้นใยพอลิเมอร์สามารถสรุปได้ดังรายการต่อไปนี้

- การเสริมกำลังด้วยแผ่นเส้นใยพอลิเมอร์ที่ผิวได้คานชั้น L1 มีผลให้คานสามารถรับกำลังได้มากกว่าร้อยละ 51.62 ของคานไม้ยางพาราประกอบที่ไม่เสริมกำลัง
- การเสริมกำลังด้วยแผ่นเส้นใยพอลิเมอร์ที่ชั้น L2 มีผลให้คานสามารถรับกำลังได้น้อยกว่าชั้น L1 เทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเท่ากับร้อยละ 45.16
- การเสริมกำลังด้วยแผ่นเส้นใยพอลิเมอร์ที่ชั้น L3 แทบไม่มีผลต่อการรับน้ำหนักของคานเนื่องจากชั้น L3 เนื่องจากอยู่ใกล้กับแนวแกนสะเทิน ซึ่งหน่วยแรงภายในแนวแกนสะเทินนั้นมีค่าเท่ากับศูนย์
- การเสริมกำลังด้วยแผ่นเส้นใยพอลิเมอร์จำนวน 2 แผ่น ที่ชั้นใต้ผิวคาน L1 และ L2 สามารถรับกำลังได้มากกว่าร้อยละ 27 ของคานที่เสริมกำลังที่ชั้น L2 กับ L3

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Jobin Jacob. (2007). **Flexural Strengthening of Glued Laminated Timber Beam with Steel and Carbon Fiber Reinforced Polymers**. Master's Thesis, Chalmers University of Technology, Sweden
- [2] Dagher HJ, Kimball T, Abdel-Magid B, Shaler S. **Behavior of FRP-Reinforced Glulam Beams**, Report to the United States Department of Agriculture and the National Science Foundation, Civil Engineering Department, University of Maine; 1995.
- [3] Camille A. Issa., and Ziad Kmeid. **Advanced Wood Engineering: Glulam Beams** Journal of Construction and Building Materials, 2004, pp. 99-106.
- [4] Hernandez, R., Davalos, J. F., Sonti, S. S., Kim, Y., and Moody, R. C. (1997). **Strength and Stiffness of Reinforced Yellow-Poplar Glued-Laminated Beams**. US Department of Agriculture, Forest Service, Forest Product Laboratory
- [5] มยพ. 1508-51. 2551. **มาตรฐานการเสริมกำลังโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวัสดุคอมโพสิตเสริมเส้นใย**. กรุงเทพฯ: กรมโยธาธิการและผังเมือง, 109 หน้า
- [6] ACI 440.3R-04 : **Guide Test Methods for Fiber-Reinforced Polymers (FRPs) for Reinforcing or Strengthening Concrete Structures**
- [7] สิริศักดิ์ ปโยธรสิริ. (2554). **กลศาสตร์วัสดุ**. (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: เม็ดทรายพรีนติ้ง
- [8] R.C. Hibbeler. 2011. **Mechanics of Materials Eightg Edition**. United States of America: Publisher pearson prentice hall, 883 pp.
- [9] American Society for Testing and Materials, "ASTM D 143 - 94 : Standard Methods of Testing Small Clear Specimens of Timber", in 1998 Annual Book of ASTM Star Vol.04.10 wood, Philadelphia, ASTM, pp. 22 - 52

ประวัติผู้เขียนบทความ



นายอาดิล นียมเดชา

สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
อ.เมือง จ.สงขลา ๙๐๐๐๐
สถานที่ติดต่อหมายเลขโทรศัพท์ ๐-๗๔๓๑-๗๑๖๘
โทรสาร ๐-๗๔๓๒-๔๒๔๕
โทรศัพท์ติดตามตัว ๐๖๒-๐๘๔๖๗๘๘
E-mail : adilniyomdecha@gmail.com



ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นันทชัย ชูศิลป์
สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
อ.เมือง จ.สงขลา ๙๐๐๐๐
สถานที่ติดต่อหมายเลขโทรศัพท์ ๐-๗๔๓๑-๗๑๖๘
โทรสาร ๐-๗๔๓๒-๔๒๔๕
โทรศัพท์ติดตามตัว ๐-๘๑๙๗๙-๖๘๕๙
E-mail : nuntachai.chusilp@gmail.com



รองศาสตราจารย์จรูญ เจริญเนตรกุล
สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
อ.เมือง จ.สงขลา ๙๐๐๐๐
สถานที่ติดต่อหมายเลขโทรศัพท์ ๐-๗๔๓๑-๗๑๖๘
โทรสาร ๐-๗๔๓๒-๔๒๔๕
โทรศัพท์ติดตามตัว ๐-๘๔๓๑๒-๔๔๗๗
E-mail : charoon2515@gmail.com