



คานไม้ยางพาราลามิเนตเสริมกำลังด้วยพอลิเมอร์เสริมใยแก้ว Laminated Wood Beams Reinforced with Glass Fiber Polymer

อิมรอน หะยียูโซ๊ะ^{1*}, วันฉพร แมงสาโมง¹, ฮาซัน คอเต๊ะ¹
Imron Hayiyusoh^{1*}, Wannachaporn Mangsamong¹, Hasun Kodae¹

(Received: May 29, 2019; Revised: July 2, 2019; Accepted: July 18, 2019)

บทคัดย่อ

ไม้ประกอบลามิเนตเป็นวัสดุชนิดหนึ่งที่มีความนิยมนิยมและได้มีการยอมรับกันอย่างแพร่หลายทั้งในส่วนของการรับน้ำหนักและโครงสร้างรับน้ำหนัก การนำไม้ยางพารามาใช้งานโดยตรงอาจไม่สามารถใช้เป็นโครงสร้างรับน้ำหนักได้ การนำไม้มาประกอบลามิเนตและเสริมกำลังด้วยวัสดุพอลิเมอร์เสริมใยแก้วเป็นอีกหนึ่งแนวทางที่สามารถโครงสร้างรับน้ำหนักได้ อย่างไรก็ตามการใช้วัสดุพอลิเมอร์เพื่อเป็นวัสดุเพิ่มกำลังร่วมกับไม้ยางพาราสำหรับคานไม้ประกอบลามิเนตยังคงอยู่ในวงจำกัด พบงานวิจัยที่เกี่ยวข้องยังไม่เพียงพอที่จะนำไปประเมินพฤติกรรมและความสามารถในการรับแรงของโครงสร้าง งานวิจัยนี้จึงขอนำเสนอการประเมินพฤติกรรมการรับน้ำหนักของโครงสร้าง คุณสมบัติการรับแรงดัดของคานด้วยรูปแบบของการเสริมกำลังด้วยพอลิเมอร์เสริมใยแก้วที่แตกต่างกัน พร้อมกับการนำเสนอการวิเคราะห์ความเค้นที่จุดวิกฤต ความเค้นที่จุดแตกร้าว โมดูลัสยืดหยุ่น และหน่วยแรงเฉือนสูงสุด เพื่อใช้ในการประเมินค่ากำลังรับ โมเมนต์ดัดสูงสุด ผลการทดสอบได้วิเคราะห์นำไปสู่ความเข้าใจพฤติกรรมตลอดจนการประเมินประสิทธิภาพการรับน้ำหนักต่อไป

คำสำคัญ: คานไม้ลามิเนต พอลิเมอร์เสริมใยแก้ว ค่ากำลังรับ โมเมนต์ดัดสูงสุด

Abstract

Laminated wood is one of the most popular materials and is widely accepted in terms of structural member and non-structural member. Rubber wood beams could not directly use as structural member. Then, the rubber wood reinforcing with polymer materials and laminated wood beams can use as a structural member, however, these materials were used in a limit. There were little involved research and not enough to evaluate the behavior and ability of the structural strength capacity.

¹สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์

¹Civil Engineering, Faculty of Engineering, Princess of Naradhiwas University

*Corresponding Author: imron.hayiyusoh@gmail.com



This research presented assessment the structural load behavior and bending strength capacity properties of beams with different reinforcement of glass fiber and polymers, The fiber stress at proportional point, modulus of rupture, apparent modulus of elasticity, and maximum shear stress were tested to evaluate the maximum moment capacity. The results were analyzed to understanding the behavior of evaluating weight performance.

Keywords: Laminated beam, Glass fiber polymer, Maximum moment capacity

บทนำ

ในปัจจุบันความต้องการบริโภคสำหรับอุตสาหกรรมไม้ของประเทศไทยมีปริมาณสูงขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งวัสดุจำพวกไม้ท่อน ไม้แปรรูป ไม้อัดแผ่นบาง มีปริมาณการนำเข้าในปริมาณที่สูงขึ้น ส่วนอุตสาหกรรมการก่อสร้างยังขาดแคลนไม้เนื้อแข็ง อีกทั้งการนำไม้ไปประยุกต์ใช้ยังล่าช้ามาก การประยุกต์ไม้เนื้อแข็งด้วยการประกอบลามิเนต (Glued Laminated Lumber, Glulam) เพื่อใช้เป็นชิ้นส่วนที่ไม่รับน้ำหนักและรับน้ำหนัก โดยเฉพาะโครงสร้างหลัก (Primary) และโครงสร้างรอง (Secondary) อาทิเช่น เสา คาน พื้น โครงสร้างหลังคา ราวกันตก เป็นต้น (Seangatith, 2012) อย่างไรก็ตามการประยุกต์ใช้ดังกล่าวมีการใช้งานเฉพาะในต่างประเทศเท่านั้นเช่น ยุโรป อเมริกา ญี่ปุ่น สำหรับในประเทศไทยการประยุกต์ยังมีข้อจำกัดและอุปสรรคอย่างมาก ตั้งแต่ขาดแคลนไม้คุณภาพดี การขาดแคลนองค์ความรู้ ความเข้าใจของพฤติกรรมด้านวัสดุ และลักษณะการนำไปใช้งานที่ถูกต้อง การนำไม้มาประกอบลามิเนตมีแนวคิดพื้นฐานในการเลือกไม้ที่หาง่ายและมีจำนวนมากในท้องถิ่น และมีคุณสมบัติเชิงกลเพียงพอที่จะนำไปใช้งานได้ การประกอบไม้ลามิเนตนั้นจะประกอบด้วยวัสดุประสานในแนวนอนเส้น สามารถนำชิ้นไม้ที่สั้นและขนาดเล็กไปประกอบให้ได้ขนาดหน้าหน้าตัดและความยาวที่ต้องการ

ไม้ยางพารา (Para rubber wood) เป็นอีกทางเลือกสำหรับนำมาประกอบลามิเนต เนื่องจากมีจำนวนมากในประเทศ มีคุณสมบัติเป็นไม้เนื้อแข็งปานกลาง เนื้อไม้มีลวดลายสวยงาม เป็นไม้ที่มีคุณภาพทางกายภาพหลายประการ ใกล้เคียงกับไม้สัก ย้อมสีได้ ตกแต่งง่าย น้ำหนักเบา ทั้งมีราคาถูก เมื่อเปรียบเทียบกับไม้ชนิดอื่นด้วยองค์ประกอบ ด้านคุณสมบัติอันโดดเด่น หลายประการเช่นนี้ ไม้ยางพารา จึงเป็นที่รู้จัก และนิยมใช้แพร่หลายทั่วโลก ในเวลาอันรวดเร็ว ในชื่อของไม้สักขาว (White teak) ลักษณะการใช้งานตามขนาดของไม้ที่ได้ เป็น 3 ประเภท ดังนี้ ไม้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 นิ้วขึ้นไป สามารถนำไปใช้ผลิตไม้อัด (Veneer) ไม้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6-8 นิ้ว สามารถนำไปเลื่อยเป็นไม้แปรรูป



รูปขนาดต่าง ๆ ไม้ขนาดเล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง 2-6 นิ้ว นำไปใช้เป็นวัสดุก่อสร้าง ไม้พื้น และวัสดุคืบ เป็นต้น (Schober et al., 2015)

พอลิเมอร์เสริมใยแก้ว (glass fiber reinforced polymer, GFRP) เป็นวัสดุประกอบที่ประกอบด้วยเส้นใยแก้ว (Glass Fiber) ที่มีความสามารถรับแรงดึงสูง เส้นใยแก้วมีการสานกันตามลักษณะการใช้งาน มีคุณสมบัติทางกายภาพที่โดดเด่นหลายประการเชิงวิศวกรรมโยธาได้แก่ อัตราส่วนกำลังของวัสดุต่อน้ำหนักค่อนข้างสูง น้ำหนักเบา มีความต้านทานต่อการกัดกร่อนจากสภาวะแวดล้อมและสารเคมีได้ดี ต้องการการบำรุงรักษาน้อยและมีอายุการใช้งานที่ยาวนานสามารถออกแบบและผลิตให้เหมาะสมตามวัตถุประสงค์การใช้งานในแต่ละงานได้ โดยการเลือกชนิดของเรซิน เส้นใยและกำหนดทิศทางของการวางตัวของเส้นใย (Bank, 2010)

วัสดุประสานเป็นวัสดุที่จะส่งผลต่อประสิทธิภาพการรับน้ำหนักบรรทุกของของคานประกอบลามิเนตอย่างมาก โดยมีคุณสมบัติการยึดเหนี่ยวผิวหน้าของวัสดุสองชิ้นให้สามารถยึดติดกันได้โดยมีความแข็งแรงของวัสดุที่เชื่อมยึดกันเพียงพอต่อการนำไปใช้งาน โดยเฉพาะการถ่ายแรงเฉือนจากชิ้นไม้ประกอบลามิเนต นอกจากนี้วัสดุประสานยังมีความจำเป็นในการใช้เป็นสารเชื่อมยึดประกอบเครื่องใช้ในสำนักงาน เครื่องเรือน อุปกรณ์เฟอร์นิเจอร์ วัสดุตกแต่งบ้าน เป็นต้น (Useng, Saemasae, & Chehuseng, 2018) ผลิตภัณฑ์ไม้ต่าง ๆ เป็นผลิตภัณฑ์อีกชนิดหนึ่งที่ต้องใช้วัสดุประสานในการยึดติดเป็นส่วนใหญ่ เช่น เครื่องเรือนไม้ ทั้งประเภทเครื่องเรือนจากไม้จริง (solid wood) และจากไม้ประกอบ (wood composites) โดยเฉพาะอย่างยิ่งไม้ประกอบ เช่น แผ่นชิ้นไม้อัด แผ่นใยไม้อัด แผ่นไม้อัด แผ่นไม้บางประสาน และไม้ประสาน (Duerac, Mauseng, Binjema, & Hayiyusoh, 2016)

การศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมความแข็งแรงการค้ำของคานไม้ลามิเนตมีความยาวทั้งหมด 6000 มิลลิเมตร กว้าง 150 มิลลิเมตร และลึก 300 มิลลิเมตร โดยประกอบแผ่นไม้ 10 ชั้น แต่ละชั้นหนาประมาณ 30 มิลลิเมตร ใช้ไม้เนื้อแข็ง Keruing และ Resak ในประเทศมาเลเซียในการผลิต ผลการวิจัยพบว่าความสามารถในการต้านทานการค้ำของไม้ Keruing เท่ากับ 100 กิโลนิวตัน และไม้ Resak เท่ากับ 120 กิโลนิวตัน ดังนั้นการผลิตคานไม้ลามิเนตด้วยไม้เนื้อแข็งสามารถนำไปใช้งานสำหรับโครงสร้างได้ (WanMohamad, Razlan, & Ahmad, 2011)

ต่อมาได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับเรื่อง พฤติกรรมของคานไม้ลามิเนตที่ติดกาวตามแนวนานโดยใช้ไม้ยางพารา งานวิจัยนี้จะทดสอบการโค้งงอของไม้เนื้อแข็งกับไม้ลามิเนต ตัวทดสอบจะมีขนาดความยาว 900 มิลลิเมตร ความหนา 60 มิลลิเมตร และความกว้าง 40 มิลลิเมตร โดยการวางไม้ลามิเนตที่ต่างกัน โดยแบ่งเป็น 4 แบบเทียบกับตัวอย่างควบคุมแบบไม้ต้น ใช้กาวโพลีไวนิลอะซิเตท (PVAC) ผสมกับตัวทำให้แข็ง (Hardener) DORUS R 7357 ในอัตราส่วนร้อยละ 15 พบว่าค่าโมดูลัสแตกร้าว (MOR) เฉลี่ย



สูงสุด 70.35 เมกะปาสกาล ของกลุ่มตัวอย่างที่ความหนา 20 มิลลิเมตร ตามด้วย 69.14 เมกะปาสกาล ของตัวอย่างควบคุม และ 67.08 เมกะปาสกาล ของกลุ่มตัวอย่างที่ความหนา 10 มิลลิเมตร ส่วนค่า โมดูลัสยืดหยุ่น (MOE) ไม่มีความแตกต่างระหว่างกลุ่มทดลองกับตัวอย่างเทียบเทียบ ดังนั้นตัวอย่างที่มีความหนา 20 มิลลิเมตร จึงเป็นขนาดที่แนะนำ (Nadir & Nagarajan, 2014)

จากนั้นมีการพัฒนาศึกษาคานไม้ลามิเนตที่เสริมความแข็งแรงและความความต้านทานการตัดด้วยแผ่นคอมโพสิตพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้ว (GFRP) เทียบกับแผ่นคอมโพสิตพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอน (CFRP) ซึ่งคานไม้ลามิเนตทำโดยใช้ไม้ยางพารา ตัวอย่างทดสอบที่ใช้ 3 ชนิดด้วยกัน คือคานไม้ที่เสริมความแข็งแรงด้วยแผ่นคอมโพสิตพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้ว (GFRP) 1 ชั้น และ 2 ชั้น และคานไม้ที่เสริมความแข็งแรงด้วยแผ่นคอมโพสิตพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอน (CFRP) 1 ชั้นและ 2 ชั้น ผลจากการทดสอบพบว่าคานไม้ลามิเนตที่เสริมด้วยแผ่นคอมโพสิตพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้วและแผ่นคอมโพสิตพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนมีเปอร์เซ็นต์ความแข็งแรงและการต้านทานการตัดเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับคานที่ไม่เสริมใดๆ (Nadir, Nagarajan, Ameen, & Arif, 2016)

งานวิจัยนี้จึงขอเสนอการประเมินพฤติกรรมการรับน้ำหนักของโครงสร้าง คุณสมบัติการรับแรงดัดของคานด้วยรูปแบบของการเสริมกำลังด้วยพอลิเมอร์เสริมใยแก้วที่แตกต่างกัน พร้อมกับการนำเสนอการวิเคราะห์ความเค้นที่จุดปฏิภาค ความเค้นที่จุดแตกร้าว โมดูลัสยืดหยุ่น และหน่วยแรงเฉือนสูงสุด เพื่อใช้ในการประเมินค่ากำลังรับโมเมนต์ดัดสูงสุด ผลการทดสอบได้วิเคราะห์นำไปสู่ความเข้าใจพฤติกรรมตลอดจนการประเมินประสิทธิภาพการรับน้ำหนักต่อไป

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาสมบัติเชิงกลด้านการรับแรงดัดของคานไม้ยางพาราประกอบลามิเนตเสริมกำลังด้วยพอลิเมอร์เสริมใยแก้ว
2. ศึกษารูปแบบของการประกอบคานไม้ยางพาราประกอบลามิเนตที่เหมาะสมและประสิทธิภาพสูงสุด.

วิธีการวิจัย

ไม้ประกอบลามิเนต (Glulam) เป็นความก้าวหน้าของงานวิศวกรรมโยธา โดยอาศัยหลักการนำไม้หลาย ๆ ชั้นมาประกอบกัน โดยแต่ละชั้นต้องมีความหนาไม่เกิน 50 มม. (MS 544 Part3, 2001) เหมาะสมสำหรับการแปรรูปไม้ในอุตสาหกรรมก่อสร้าง โดยเฉพาะชิ้นส่วนที่เป็นโครงสร้างสำหรับการรับน้ำหนักบรรทุก ใช้วัสดุประสานสำหรับแปรรูปไม้ ให้มีขนาดเหมาะสม แข็งแรง และปลอดภัย



การประกอบลามิเนตยังสามารถผลิตได้ตามขนาดและรูปแบบที่ต้องการได้ อาทิเช่น คานตรง สามารถออกแบบและผลิตด้วยการประกอบชิ้นส่วนกันเป็นแนวตั้งพร้อมกับการอัดแรงด้วยแรงอัดที่ เพียงทำให้วัสดุประสานทำงานได้อย่างเต็มที่ ซึ่งวัสดุประสานนั้นคือปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อกำลังของ โครงสร้างนั้นโดยตรง

1. ไม้ยางพารา

ในงานวิจัยนี้ใช้การทดสอบคาน ตัวอย่างของคานที่นำมาทดสอบจะมีเพียงขนาดเดียว กว้าง 3 นิ้ว .ลึก 6 นิ้ว และยาว 1.5 เมตร. โดยก่อนที่จะนำมาประกอบชิ้นส่วนจะต้องมีการจัดกลุ่มชิ้นย่อยให้มี คุณสมบัติเชิงกลที่ใกล้เคียงกันที่สุดทำการตัดไม้หนา 1 นิ้ว ยาว 10 เมตร และหนา 1½ นิ้ว ยาว 1 เมตร แล้วนำเอาน้ำหนัก 10 กิโลกรัม วางลงที่กึ่งกลางชิ้นชิ้นส่วนย่อยที่มีความยาว 1 เมตร อ่านค่าการแอ่นตัว ที่ใกล้เคียงกันไม่เกินร้อยละ 10 เท่านั้น จากนั้นทำการตัดให้เหลือความยาว 0.3 เมตร เป็นชิ้นส่วนย่อย ขนาดตามที่ต้องการเพื่อประกอบลามิเนต จากนั้นจึงนำตัวอย่างไปอบที่อุณหภูมิ 70 - 75 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ดังภาพที่ 1 เพื่อต้องการไล่ความชื้นไปให้มีค่าไม่เกินร้อยละ 20 เพื่อประสิทธิภาพของการ ประสานของวัสดุประสาน (Nadir & Nagarajan, 2014) จากนั้นนำไปไสไม้อีกครั้งเพื่อปรับขนาดให้ได้ ตามที่ออกแบบดังภาพที่ 2



ภาพที่ 1 การอบตัวอย่างไม้



ภาพที่ 2 การไสไม้



2. พอลิเมอร์เสริมใยแก้ว

เส้นใยแก้วเป็นส่วนประกอบหลักที่ใช้รับแรงและเสริมความแกร่ง (stiffness) ตามทิศทางการวางตัวของเส้นใย เส้นใยแก้วมีคุณสมบัติเด่น คือ กำลังรับแรงดึงสูง ทนทานต่อสารเคมีไม่ดูดความชื้น และมีราคาต่ำกว่าเส้นใยประเภทอื่น (Bank, 2010) โดยทั่วไป ชนิดของเส้นใยแก้วที่ผลิตขึ้นมีหลายชั้นคุณภาพ ได้แก่

- 1) E-glass (electrical glass) มีคุณสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้า (electrical insulation)
- 2) S-glass (high-strength glass) มีคุณสมบัติกำลังรับแรงดึงและค่าโมดูลัสสูง
- 3) C-glass (corrosion glass) คือ เส้นใยแก้วที่ต้านทานการกัดกร่อนได้ดี
- 4) A-glass (window glass) คือ เส้นใยแก้วมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับ C-glass ส่วนมากนิยมใช้ทำวัสดุภายนอกผิว

คุณสมบัติของเส้นใยแก้วชนิดต่างๆ เพิ่มเติมดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของเส้นใยแก้วชนิดต่างๆ (Bank, 2006)

ชนิดเส้นใยแก้ว	ความหนาแน่น (g/cm ³)	กำลังรับแรงดึง (MPa)	โมดูลัสแรงดึง (GPa)	ความยืด (%)
E	2.57	3,400	72.5	2.5
S	2.47	4,600	88	3.0
C	2.46	2,350	74	2.5
A	2.46	2,760	73	2.5

สำหรับงานวิจัยนี้เลือกใช้ใยแก้วชนิด E มีกำลังรับแรงดึงเพียงพอสำหรับการนำไปเป็นวัสดุเสริมกำลังของคานได้ อีกทั้งมีราคาถูก และหาได้ง่ายในท้องถิ่น

3. วัสดุประสาน

สำหรับในงานวิจัยนี้เลือกใช้กาวลาเทกซ์ชนิดพิเศษ (PVAs) หรือกาวโพลีไวนิลอะซิเตดเป็นวัสดุประสานที่ให้กำลังการรับแรงเหนียวได้เหมาะสมสำหรับการประกอบไม้ เครื่องเรือน อุปกรณ์อื่น ๆ เกี่ยวกับไม้ โพลีไวนิลอะซิเตดนี้โดยจัดอยู่ในรูปอิมัลชัน จะแข็งตัวโดยการใช้ความร้อนบ้าง แต่ก็ยังคงอ่อนตัวที่อุณหภูมิสูง ๆ สามารถถูกปรับปรุงให้มีความหนืดสูงหรือต่ำ แข็งหรืออ่อนหยุ่นได้ (rigidify or flexibility) เป็นกาวที่มี 2 แบบ ที่ใช้ในงานไม้ คือ แบบไฮโมโพลีเมอร์ ซึ่งจะอ่อนตัวทันที



เมื่อได้รับความร้อน และแบบ โค-โพลีเมอร์จะใช้สารเร่งเพื่อการยึดเหนี่ยวจะทำให้มีความต้านทานความร้อนดีขึ้น

4. คานไม้ลามิเนต

การประกอบชิ้นงานสำหรับการทดสอบเพื่อหาค่ากำลังรับน้ำหนักด้วยการทดสอบแบบ 4 จุด ชิ้นไม้สำหรับการประกอบต้องอบเพื่อลดความชื้นที่ผิวไม้ ไม้แห้งเพื่อให้ผิวและขนาดของไม้ตามที่ต้องการ และมีการขัดด้วยกระดาษทรายให้สะอาดเรียบเพื่อประสิทธิภาพของวัสดุประสาน ส่วนพอลิเมอร์ใยแก้ว ต้องมีการตัดตามขนาดให้พอดีกับหน้าไม้ จัดวางให้ได้ตำแหน่งแล้วทาววัสดุประสานทุก ๆ หน้าผิวสัมผัส จากนั้นอัดประกอบด้วยแรงอัดที่จะทำให้ผิวหน้าไม้สัมผัสสนิทกันพอดีด้วยการให้เหล็กขนแน่นทั้ง 5 จุด ต่อความยาวคาน 1.5 ม. ทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมงแล้วมาถอดออก รายละเอียดดังภาพที่ 3

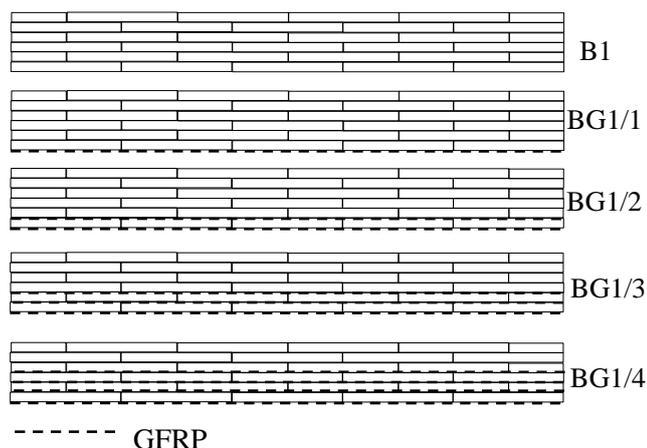


ภาพที่ 3 การเตรียมตัวอย่างก่อนไม้และการอัดประกอบไม้ยางพารา

รูปแบบการจัดเรียงของท่อนไม้ด้วยรูปแบบสลับพื้นปลา เนื่องจากรูปแบบการจัดเรียงแบบนี้จะให้กำลังการรับน้ำหนักได้เป็นอย่างดี อีกทั้งยังเป็นรูปแบบที่ง่ายต่อการประกอบชิ้นงานขึ้นมาอีกด้วย โดยมีรายละเอียดการประกอบไม้คานด้วยชิ้นไม้ขนาด กว้าง 3 นิ้ว .หนา 1 นิ้ว 300 มิลลิเมตร โดยประกอบกัน 6 ชั้น ดังนี้

- | | |
|----------|----------------------------------|
| 1. B1 | = ไม้เสริมกำลัง (ตัวอย่างควบคุม) |
| 2. BG1/1 | = GFRP 1 ชั้น |
| 3. BG1/2 | = GFRP 2 ชั้น |
| 4. BG1/3 | = GFRP 3 ชั้น |
| 5. BG1/4 | = GFRP 4 ชั้น |

โดยมีรูปแบบการจัดเรียงของท่อนไม้ดังภาพที่ 4

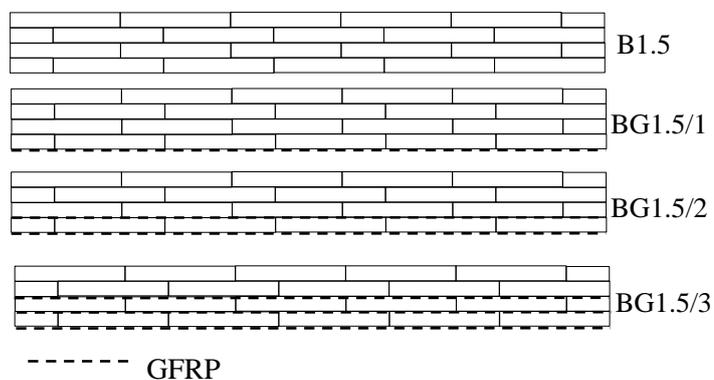


ภาพที่ 4 รูปการจัดเรียงของคานประกอบลามิเนตของไม้หนา 1 นิ้ว

ส่วนคานด้วยชิ้นไม้ขนาด กว้าง 3 นิ้ว .หนา 1½ นิ้ว 300 มิลลิเมตร โดยประกอบกัน 4 ชั้น ดังนี้

1. B1.5 = ไม้เสริมกำลัง (ตัวอย่างควบคุม)
2. BG1.5/1 = GFRP 1 ชั้น
3. BG1.5/2 = GFRP 2 ชั้น
4. BG1.5/3 = GFRP 3 ชั้น

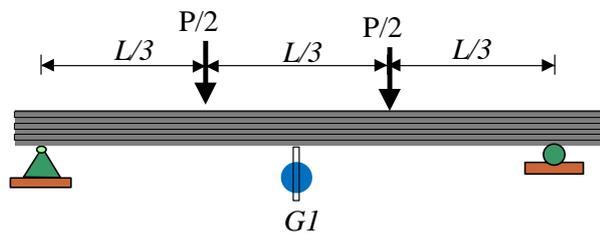
รูปแบบการจัดเรียงของคานไม้ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 รูปการจัดเรียงของคานประกอบลามิเนตของไม้หนา 1½ นิ้ว

5. การทดสอบกำลังรับแรงดัด

งานวิจัยที่ใช้การทดสอบแบบ 4 จุด ตามมาตรฐาน ASTM D198 อัตราเร็วของการทดสอบไม้เกิน 5 มม./นาทึ บันทึกลงน้ำหนักบรรทุกทุกที่กระทำและระยะแอนตัวที่เกิดขึ้นบริเวณกึ่งกลางคาน (G1) (ASTM D198.98, 2014) รายละเอียดดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 การทดสอบแรงดัดคานแบบ 4 จุด

6. สมการที่ใช้ในการคำนวณ

การทดสอบนั้นจะมีการคำนวณเพื่อหาคุณสมบัติเชิงกลของตัวอย่างทดสอบเพื่อสามารถอธิบายลักษณะพฤติกรรมของตัวอย่างทดสอบได้อย่างชัดเจนมากขึ้น ได้แก่ ความเค้นที่จุดปฏิบัติการ (Fiber stress at proportional limit) ดังสมการที่ 1 คือความเค้นสุดท้ายก่อนที่วัสดุจะมีการเสียรูปอย่างถาวร ความเค้นที่จุดแตกร้าว (Modulus of rupture) ดังสมการที่ 2 คือความเค้นสูงสุดที่โครงสร้างสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้ โมดูลัสยืดหยุ่น (Apparent modulus of elasticity) ดังสมการที่ 3 คือความแข็งแรงของวัสดุเพื่อต้านทานน้ำหนักบรรทุกกระทำ และหน่วยแรงเฉือนสูงสุด (Maximum Shear Stress) ดังสมการที่ 4 คือหน่วยแรงเฉือนสูงสุดที่เกิดขึ้น (ASTM D198.98, 2014) รายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ความเค้นที่จุดปฏิบัติการ (Fiber Stress at Proportional Limit)

$$\sigma_p = \frac{F_p l}{bd^2} \quad (1)$$

2. ความเค้นที่จุดแตกร้าว (Modulus of Rupture)

$$\sigma_R = \frac{F_{\max} l}{bd^2} \quad (2)$$

3. โมดูลัสยืดหยุ่น (Apparent Modulus of Elasticity)

$$E_{ap} = \frac{Fa}{4bd^3 \Delta} (3l^2 - 4a^2) \quad (3)$$

4. หน่วยแรงเฉือนสูงสุด (Maximum Shear Stress)

$$\tau_{\max} = \frac{3F_{\max}}{4bd} \quad (4)$$

เมื่อ σ_p คือความเค้นที่จุดปฏิบัติการ

σ_R คือความเค้นที่จุดแตกร้าว

E_{ap} คือ โมดูลัสยืดหยุ่น

τ_{\max} คือหน่วยแรงเฉือนสูงสุด



F_p คือน้ำหนักบรรทุกที่ขีดปฏิบัติ (จุดสุดท้ายที่ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกับการการแอ่นตัวเป็นเชิงเส้นและหน้าตัดคานเริ่มแตก)

F คือน้ำหนักบรรทุกใดๆ

F_{max} คือน้ำหนักบรรทุกสูงสุด

l คือระยะห่างระหว่างจุดรองรับ

b คือความกว้างของคาน

d คือความลึกของคาน

a คือระยะห่างของทั้งสองน้ำหนักบรรทุก ($l/3$)

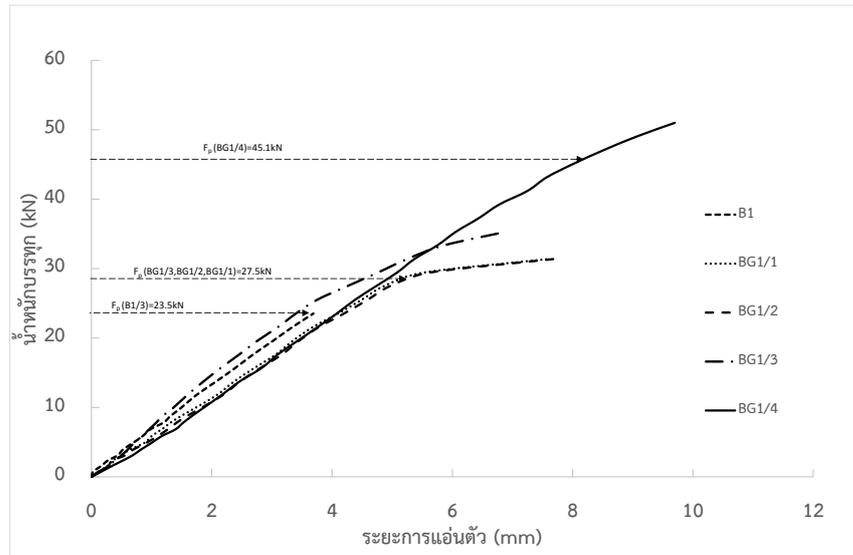
Δ คือระยะแอ่นตัวใดๆ ที่กึ่งกลางคาน

ผลการวิจัย

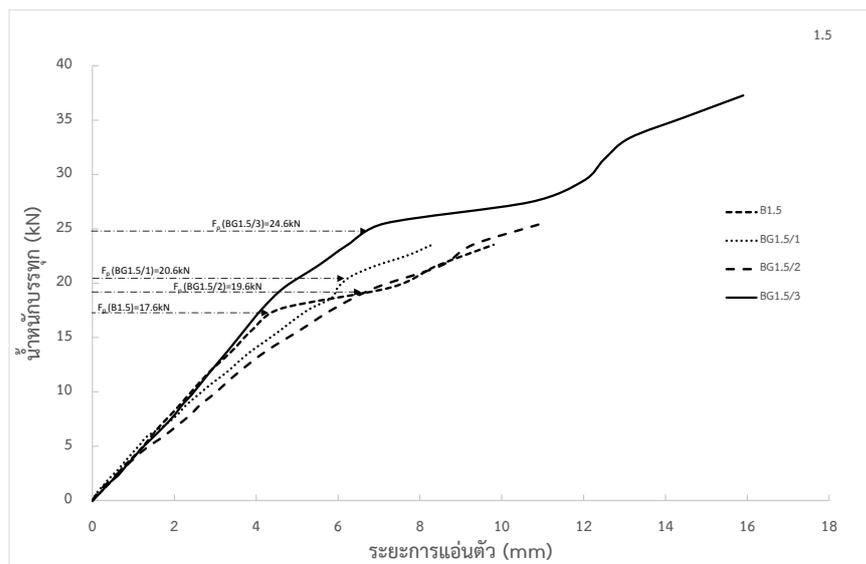
1. ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกระทำและระยะการแอ่นตัว

ผลการทดสอบเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกระทำและระยะการแอ่นตัวในแนวตั้งที่กึ่งกลางคานพบว่า การรับน้ำหนักบรรทุกตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งประมาณร้อยละ 80 ของกำลังรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุด ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับระยะโก่งตัวใกล้เคียงแบบเชิงเส้น หลังจากนั้นเริ่มมีการแตกร้าวบริเวณรอยต่อของชั้นไม่ทำให้ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกน้อยลง และมีการร้าวของวัสดุพอลิเมอร์เสริมใยแก้วในลำดับต่อไป นอกจากนี้การเสริมกำลังด้วยวัสดุพอลิเมอร์เสริมใยแก้วทำให้การรับน้ำหนักบรรทุกของคานหลังจากจุดปฏิบัติเพิ่มขึ้น

เมื่อเทียบผลการทดสอบของคานไม้ที่ประกอบด้วยท่อนไม้หนา 1 นิ้ว วางเรียงกับ 6 ชั้นพบว่า น้ำหนักบรรทุกที่จุดปฏิบัติสูงสุด 45.1 กิโลนิวตัน ของตัวอย่าง BG1/4 ส่วนตัวอย่าง B1 BG1/1 BG1/2 และ BG1/3 รับน้ำหนักที่จุดปฏิบัติได้ประมาณ 23-27 กิโลนิวตัน ส่วนน้ำหนักบรรทุกสูงสุดเท่ากับ 50 กิโลนิวตัน ของตัวอย่าง BG1/4 ส่วนตัวอย่าง BG1/1 BG1/2 BG1/3 รับน้ำหนักได้ประมาณ 30-35 กิโลนิวตัน และ B1 รับน้ำหนักเพียง 25 กิโลนิวตัน เท่านั้นรายละเอียดดังภาพที่ 7 ส่วนผลการทดสอบของคานไม้ที่ประกอบด้วยท่อนไม้หนา 1½ นิ้ว วางเรียงกับ 4 ชั้นพบว่า น้ำหนักบรรทุกที่จุดปฏิบัติสูงสุด 24.6 กิโลนิวตัน ของตัวอย่าง BG1.5/3 ส่วนตัวอย่าง BG1.5/2 BG1.5/4 และ B1.5 รับน้ำหนักจุดปฏิบัติได้ประมาณ 17-19 กิโลนิวตัน ส่วนน้ำหนักสูงสุดประมาณ 37 กิโลนิวตัน ของตัวอย่าง BG1.5/3 ส่วนตัวอย่าง BG1.5/2 BG1.5/4 และ B1.5 รับน้ำหนักได้ประมาณ 20-25 กิโลนิวตัน รายละเอียดดังภาพที่ 8



ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ของน้ำหนักบรรทุกกับระยะการแอ่นตัวของตัวอย่างคานด้วยท่อนไม้หนา 1 นิ้ว



ภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ของน้ำหนักบรรทุกกับระยะการแอ่นตัวของตัวอย่างคานท่อนไม้หนา 1½ นิ้ว

2. สมบัติเชิงกล

จากการทดสอบการต้านทานการตัดแบบ 4 จุด ของคานไม้ลามิเนตเสริมกำลังด้วยพอลิเมอร์เสริมใยแก้วพบว่า ผลการคำนวณสมบัติเชิงกลสำหรับท่อนไม้หนา 1 นิ้ว ความเค้นที่จุดปฏิกิริยาสูงสุดของตัวอย่างที่เสริมกำลังด้วยพอลิเมอร์เสริมใยแก้วเท่ากับ 29.44 เมกะปาสคาล ของตัวอย่างที่มีการเสริมกำลังแบบ 4 ชั้น (BG1/4) เมื่อเทียบกับรูปแบบการเสริมกำลัง 1 ชั้น 2 ชั้น 3 ชั้น และที่ไม่มีการเสริมกำลังมีค่าประมาณ 73% ค่าความเค้นที่จุดแตกร้าว ของตัวอย่างที่เสริมกำลังด้วยพอลิเมอร์เสริมใยแก้ว



4 ชั้นมีค่าสูงสุดเท่ากับ 29.44 เมกะปาสกาล เมื่อเทียบกับตัวอย่างอื่น ประมาณ 44% ส่วน โมดูลัสยืดหยุ่น มีค่าใกล้เคียงกันประมาณ 6 เมกะปาสกาล และหน่วยแรงเฉือนสูงสุดนั้นมีค่าไม่แตกต่างกันนัก รายละเอียดดังตารางที่ 2

ส่วนผลการคำนวณสมบัติเชิงกลสำหรับท่อนไม้หนา 1½ นิ้ว ความเค้นที่จุดปฏิกิริยาของตัวอย่างที่เสริมกำลังด้วยพอลิเมอร์เสริมใยแก้ว 3 ชั้น (BG1½/3) มีค่าสูงสุดเท่ากับ 16.0 เมกะปาสกาล เมื่อเทียบกับรูปแบบอื่น ๆ ค่าความเค้นที่จุดแตกร้าวเท่ากับ 24.32 เมกะปาสกาล สูงกว่ารูปแบบที่เสริมกำลัง 1 ชั้น 2 ชั้น และไม้เสริมกำลังประมาณ 52% ส่วน โมดูลัสยืดหยุ่นมีค่าใกล้เคียงกัน และหน่วยแรงเฉือนสูงสุดนั้นมีค่าสูงกว่าตัวอย่างอื่นเล็กน้อย รายละเอียดดังตารางที่ 3

ตารางที่ 2 สมบัติเชิงกลของตัวอย่างคานประกอบลามิเนตของท่อนไม้หนา 1 นิ้ว

	B1	BG1/1	BG1/2	BG1/3	BG1/4
σ_p (MPa)	15.36	17.92	17.92	17.92	29.44
σ_R (MPa)	15.36	20.48	20.48	23.04	33.28
E_{ap} (GPa)	6.15	6.33	6.56	6.24	6.30
τ_{max} (MPa)	1.57	2.09	2.09	2.35	3.40

ตารางที่ 3 สมบัติเชิงกลของคานประกอบลามิเนตของท่อนไม้หนา 1½ นิ้ว

	B1½	BG1½/1	BG1½/2	BG1½/3
σ_p (MPa)	11.52	13.44	12.80	16.00
σ_R (MPa)	15.36	15.36	16.64	24.32
E_{ap} (GPa)	4.30	4.66	4.17	3.60
τ_{max} (MPa)	1.57	1.57	1.70	2.49

3. ลักษณะการวิบัติ

ผลการทดสอบสังเกตพบว่าการวิบัติของรอยต่อของท่อนไม้และตำแหน่งของการเสริมกำลังด้วยวัสดุพอลิเมอร์เสริมใยแก้วมีผลโดยตรงต่อค่าการโก่งตัวและความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกภายใต้แรงดัดแบบ 4 จุด โดยคานไม้ยางพาราประกอบลามิเนตมีลักษณะการแตกร้าวและลักษณะการวิบัติคล้ายคลึงกันในแต่ละรูปแบบการประกอบ เมื่อคานไม้ยางพาราบน้ำหนักบรรทุกที่ค่าความเครียดใกล้เคียงจุดความเครียดปฏิกิริยาพบว่าท่อนคานด้านที่มีการรับแรงดัดจะเริ่มมีการแตกร้าวในส่วน



ของการรับแรงดึง และจากลักษณะการวิบัติของคานไม้ลามิเนตเสริมกำลังด้วยพอลิเมอร์เสริมใยแก้วพบว่า การรับน้ำหนักบรรทุกทุกของคานนั้นเพิ่มขึ้นตามปริมาณของวัสดุเสริมกำลัง ดังแสดงในภาพที่ 9



ภาพที่ 9 ลักษณะการวิบัติของคานไม้ของคานประกอบจากท่อนไม้หนา 1 นิ้ว (ซ้าย) และท่อนไม้หนา 1½ นิ้ว(ขวา)

อภิปรายผล

การออกแบบโครงสร้างสำหรับการรับน้ำหนักบรรทุกทุกของไม้ยางพาราประกอบลามิเนต และเสริมกำลังด้วยพอลิเมอร์เสริมใยแก้ว สำหรับตัวอย่างคานขนาดกว้าง 3 นิ้ว ลึก 6 นิ้ว และยาว 1.5 เมตร พบว่า รูปแบบการเสริมกำลัง 4 ชั้น (BG1/4) ที่ประกอบด้วยท่อนไม้หนา 1 นิ้ว สามารถต้านทานกำลังรับแรงดึงสูงสุด และอีกหนึ่งรูปแบบการทดสอบที่ความหนาของท่อนไม้ 1½ นิ้ว พบว่าที่รูปแบบการประกอบด้วยการเสริมกำลัง 3 ชั้น (BG1/3) สามารถต้านทานกำลังรับแรงดึงสูงสุด

สรุป

ผลการศึกษาการประกอบไม้ยางพาราที่เสริมกำลังด้วยพอลิเมอร์เสริมใยแก้วด้วยการทดสอบความต้านทานแรงดึงแบบ 4 จุดนั้นพบว่า ความเค้นที่จุดปฏิกิริยา ความเค้นที่จุดแตกร้าว โมดูลัสยืดหยุ่น และหน่วยแรงเฉือนสูงสุดมีเพียงพอสำหรับการนำไปใช้งานสำหรับโครงสร้างที่รับน้ำหนักไม่มากนัก และกำลังต้านทานแรงดึงนั้นจะมีค่าสูงขึ้นตามปริมาณจำนวนของวัสดุที่เสริมกำลัง ส่วนรูปแบบของการประกอบไม้ด้วยท่อนไม้หนา 1 นิ้วและเสริมกำลัง GFRP 4 ชั้น (BG1/4) จะให้กำลังรับน้ำหนักสูงสุด ส่วนรูปแบบของการประกอบไม้ด้วยท่อนไม้หนา 1½ นิ้วและเสริมกำลัง GFRP 3 ชั้น (BG1.5/3) จะให้กำลังรับน้ำหนักสูงสุดซึ่งเป็นรูปแบบที่เหมาะสมที่สุด มีความเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งานเป็นโครงสร้าง อย่างไรก็ตามยังมีปัจจัยอีกมากที่อาจส่งผลต่อกำลัง โดยกำลังอาทิเช่น การเตรียมตัวอย่างท่อนไม้ได้ขนาดไม่ผิดรูป การไสและขัดเรียบไม้ การอบไม้เพื่อลดความชื้น การประกอบด้วยการอัดแรง การเลือกวัสดุประสาน และการเลือกวัสดุเสริมกำลัง เป็นต้น



ข้อเสนอแนะ

จากข้อมูลผลการทดสอบนั้นยังสามารถพัฒนารูปแบบการประกอบชิ้นงานคานไม้ยางพาราที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการรับน้ำหนักบรรทุกด้วยการเปลี่ยนวัสดุประสานชนิดอื่นที่สามารถรับประสานระหว่างหน้าผิวสัมผัสได้อย่างดีขึ้น อาทิเช่น อีพ็อกซี่ เป็นต้น หรือการประสานในรูปแบบทางกลด้วยการเจาะยึดด้วยตะปูเป็นต้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับรูปแบบการประสานที่มีผลโดยตรงต่อการรับแรง และการเลือกใช้วัสดุเสริมกำลังชนิดอื่น ๆ ที่ผลต่อกำลังการรับแรงดิ่งที่ท้องคาน

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยนี้ขอขอบคุณทีมงานอาจารย์สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ นักศึกษาในสาขาวิชาวิศวกรรมโยธาที่ช่วยงานทดสอบ และทุนสนับสนุนการวิจัยและผลงานสร้างสรรค์ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ 2561 จนงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี

รายการอ้างอิง (References)

- ASTM D198-14. (2014). Standard Test Methods of Static Tests of Lumber in Structural Sizes. American Society for Testing and Materials.
- Bank A. (2010). The Pultex Pultrusion Design Manual of Standard and Custom Fiber Reinforced Polymer Structural Profiles. Pennsylvania.
- Bank L.C. (2006). Composites and Construction: Structural Design with FRP Materials. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Durae D., Mauseng M., Binjema P. & Hayiyusoh I. (2016). The Bending Behavior of Laminate Wood Beam. The 6th National Conference. Fatoni University, 1099-1110. (in thai)
- MS 544 Part3. (2001). Code of practice for structural use of timber Permissible stress design of glued laminated timber, Department of Standards Malaysia.
- Nadir Y. & Nagarajan P. (2014). The behavior of horizontally glued laminate beams using rubber wood. Construction and Building Materials, 55, 398–405.
- Nadir Y., Nagarajan P., Ameen M., & 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, 112, 547-555.



- Schober K. U., Harte A. M., Kliger R., Jockwer R., Xu Q. & Chen J.F. (2015). FRP reinforcement of timber structures. *Construction and Building Materials*, 97, 106 –118.
- Seangatith S. (2012). Development of Design Equations for Pultruded-Fiber Reinforced Plastic Having C-Section under Flexure with Simple and Fixed Supports, School of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Suranaree University of Technology. (in thai).
- Useng W., Saemasae W. & Chehuseng I. (2018). Study of Flexural Behavior of laminated rubber wood Beam Reinforced with Glass Fiber Reinforced Polyme. A Project of the Degree of Bachelor of Engineering in Civil Engineering, Faculty of Engineering, Princess of Naradhiwas University. (in thai).
- WanMohamad H. W., Razlan M. A., & Ahmad Z. (2011). Bending Strength Properties of Glued Laminated Timber from Selected Malaysian Hardwood Timber. *International Journal of Civil & Environmental Engineering*, 11(04), 7-12.