พฤติกรรมการดัดของคานไม้ประกอบอัดกาวจากไม้ยางพาราและไม้อัด

The Bending Behavior of Glulam Wood Beams Made of Rubberwood and Plywood

ทวีศักดิ์ ทองขวัญ[1,*] นันทชัย ชูศิลป์[2] เปรมณัช ชุมพร้อม[3] จุฑามาศ ลักษณะกิจ[4] และ อรุณ ลูกจันทร์[5]

[1,2,3,4,5] สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย จ.สงขลา

**Corresponding author; E-mail address: thaweesak.t@rmutsv.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาพฤติกรรมการรับน้ำหนัก และการแอ่นตัวของคานไม้ยางพาราประกอบ เสริมกำลังด้วยไม้อัด โดยนำไม้ยางพาราขนาด 5×2×50 เซนติเมตร มาจัดเรียงติดกัน เสริมกำลังด้วยไม้อัด 5x1x150 เซนติเมตร ที่ตำแหน่งกึ่งกลางของหน้าตัดคาน การจัดเรียงหน้าตัดมี 2 รูปแบบ คือ วางไม้แนวนอน (1) และวางไม้แนวตั้ง (2) ให้มีความกว้าง 5 เซนติเมตร ความหนา 4, 5, 8, 9 และ 10 เซนติเมตร และความยาว 150 เซนติเมตร เรียงประสานติดกันด้วย 2 วิธี คือ การใช้กาวเพียงอย่างเดียว และการใช้กาวร่วมกับตะปู เพื่อศึกษาพฤติกรรมการรับแรงดัดของคานไม้ประกอบโดยมีวิธีทดสอบแบบ 3 จุด ช่วงความยาวของฐานรองรับ 100 เซนติเมตร ตามมาตรฐาน ASTM D143 การแอ่นตัวในช่วงที่ยอมให้เท่ากับ L/360 หรือ 100/360 = 0.277 เซนติเมตร ผลการทดสอบพบว่าไม้ยางพาราประกอบเสริมกำลังด้วยไม้อัดทั้งสองรูปแบบรับน้ำหนักภายใต้แรงดัดได้สูงกว่าคานไม้ยางพาราประกอบที่ไม่มีการเสริมกำลัง คานไม้ประกอบที่ใช้กาวเป็นวัสดุประสานสามารถรับกำลังต้านทานแรงดัดสูงกว่าคานไม้ประกอบที่ใช้กาวร่วมกับตะปูเป็นวัสดุเชื่อมประสาน เนื่องจากไม้ยางพาราเป็นไม้เนื้ออ่อนมาก ทำให้กำลังต้านทานแรงเฉือนที่ผิวของตะปูได้น้อย ส่งผลให้กำลังรับแรงดัดของคานไม้ประกอบติดกาวร่วมกับตะปูมีค่าน้อยกว่าคานไม้ประกอบติดกาว

คำสำคัญ: คานไม้ประกอบอัดกาว, ไม้ยางพารา, ไม้อัด, แรงดัด, เสริมกำลัง

Abstract

This research is to study of load and deformation behavior of glulam wood beams made of rubberwood reinforced with a plywood. The rubberwood lumber size 5×2×50 cm, assemble with glue and reinforcing with plywood size 5×1×150 cm in the middle of section. Two forms of glulam wood beams were investigated experimentally comprising of stacking vertical form (1) and stacking horizontal form (2). The total by all patterns had the equally width of 5 cm, the thickness of beam had 4, 5, 8, 9 and 10 cm and length of 150 cm. Two methods of bonding wood beam consists of the glue only and the glue combined with nail. To take for study on bending behavior of glulam beam by using 3 point bending testing and using support length of 100 cm (ASTM D143). The deflection of beam equal to allowable deflection at L/360 or 0.277 cm. The result, It was found that the ultimate load acting on glulam wood beam reinforced with plywood were higher than that of glulam wood beam without reinforcement. The glulam beam fabricate with glue only had high bending strength more than Glulam beam fabricate with glue combined with nail. Because very soft wood properties of rubberwood had affect to low shearing strength for nail and cause for low bending strength of glulam beam fabricate with glue and nail.

Keywords: Glulam wood beams, Rubberwood, Plywood, Bending, Reinforced

1. คำนำ

ไม้เป็นวัสดุที่มีความสำคัญมากในงานอุตสาหกรรมการก่อสร้าง ตั้งแต่อดีตประชากรในประเทศไทยส่วนใหญ่ใช้ไม้ในการก่อสร้าง และนิยมใช้ไม้เนื้อแข็งในการก่อสร้าง ส่งผลให้ปริมาณความต้องการใช้ไม้มีเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้จำนวนทรัพยากรป่าไม้ของประเทศลดจำนวนลง จึงเริ่มที่จะนำไม้พืชเศรษฐกิจที่มีมากมาใช้ทดแทนไม้ในงานวิศวกรรมแต่จำเป็นต้องมีการพัฒนาคุณสมบัติ ด้วยการใช้ความแข็งแรงและคุณสมบัติเฉพาะของวัสดุที่แตกต่างกัน เพื่อความคุ้มค่าและมีความยั่งยืนอีกทั้งเป็นทางเลือกในการปรับปรุงประสิทธิภาพในการออกแบบอาคาร

ในหลายประเทศ โดยเฉพาะกลุ่มประเทศยุโรป อเมริกา ออสเตรเลีย และญี่ปุ่น ยังคงรักษาอุตสาหกรรมป่าไม้ไว้ได้อย่างเหนียวแน่นและสามารถทำเป็นสินค้าส่งออกไปยังประเทศอื่น ๆ ด้วย ทั้งที่ไม่ได้ใช้ไม้โครงสร้างที่เป็นไม้เนื้อแข็ง หากเป็นไม้ที่มีกำลังรับแรงลดลงตัดเป็นชิ้นขนาดเล็กแล้วประกอบเป็นโครงสร้างโดยใช้วัสดุยึดเหนี่ยวเพื่อเพิ่มกำลังรับแรง เช่น กาว ตะปู โดยมีชื่อเรียกว่า โครงสร้างไม้ประกับ หรือไม้ประกอบ (Glued Laminated Timber หรือ Glulam) ซึ่งสามารถนำมาใช้ได้ทั้งงานโครงสร้างและงานทั่วไป เช่น งานเครื่องเรือน งานตกแต่ง ซึ่งพบว่าอาคารโครงสร้างไม้จะให้ความรู้สึกอบอุ่น และสวยงามกว่าอาคารโครงสร้างคอนกรีตและอาคารโครงสร้างเหล็ก [1]

ไม้ประกอบอัดกาวเกิดขึ้นมาจากความต้องการปริมาณไม้ที่มีมากขึ้นในช่วงปลายศตวรรษที่ 19 จากสถานการณ์ดังกล่าวทำให้ไม้ที่มีขนาดหน้ากว้างเหลือน้อยลง ไม้จากสวนป่าอุตสาหกรรมที่มีลักษณะหน้าแคบใช้เวลาในการปลูกไม่เกิน 10 ปี ถูกนำมาใช้มากขึ้น ในประเทศไทยได้มีจุดเริ่มต้นจากการพัฒนา ไม้ทางเลือก เช่น ไม้ยางพารา ไม้สน มาใช้แทนไม้สัก ไม้เต็ง จากการศึกษาพบว่าพัฒนาการงานวิจัยไม้ประกอบอัดกาวในประเทศไทย มีความสอดคล้องกับ การพัฒนางานวิจัยไม้ประกอบอัดกาวในต่างประเทศ วิธีการที่ถูกวิจัยและพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง คือวิธีการประกอบไม้ในทางเรียงกัน ไม้ที่ถูกใช้ในวิธีการของไม้ประกอบกาวมากที่สุดคือ ไม้ยางพารา [2]

ไม้ยางพารา Para rubber wood หรือนิยมใช้ว่า Rubberwood หรือ Parawood หรือบางครั้งเรียกอย่างย่อว่า ไม้ยาง มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า Hevea brasiliensis ไม้ยางพาราได้ชื่อว่าเป็นไม้ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เนื่องจากไม้ยางพารานั้นได้มีการนำส่วนต่าง ๆ ของต้นมาใช้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่วนประกอบทั้งหมดสามารถนำมาใช้ได้ทุกส่วน ตั้งแต่น้ำยางของต้นไม้ จนถึงขั้นตอนสุดท้ายที่ตัดไม้แปรรูป โดยได้จากการแปรรูปต้นยางพาราที่มีอายุมาก ต้นแก่ โค่นแล้วมาแปรรูป ขนาดของไม้แปรรูป ที่ได้มีขนาดความยาวประมาณ 70 - 100 เซนติเมตร หรือเล็กกว่านั้น ไม้ยางพาราแปรรูปจึงมีขนาดสั้น คุณภาพของไม้ยางพาราจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมี ค่าความแข็งแรงเชิงกล และปัจจัยอื่น ๆ ของไม้ [3] ไม้มีสัดส่วนการกระจายตัวขององค์ประกอบหลักทางเคมีได้แก่เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และสารแทรกในปริมาณที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับความแตกต่างของสายพันธุ์ ระดับความสูง อายุ ชนิดไม้ และสภาพแวดล้อม

ปัจจุบันในอุตสาหกรรมไม้ยางพาราในการก่อสร้าง มีการนำไม้มาใช้เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดน้อยเมื่อเทียบกับไม้ประเภทอื่น เนื่องจากไม้ยางพาราจัดเป็นไม้เนื้ออ่อนคุณสมบัติในการรับน้ำหนักได้น้อยกว่าไม้เนื้อแข็งหรือเนื้อปานกลางประเภทอื่น อีกทั้งอิทธิพลของปริมาณความชื้น และความถ่วงจำเพาะมีความแตกต่างกันระหว่างสายพันธุ์อย่างมีนัยสำคัญ [4] เหตุนี้จึงนำไม้ยางพารา ที่สามารถหาได้ง่ายและช่วยส่งเสริมอุตสาหกรรมไม้ยางพารา มาพัฒนาให้มีคุณสมบัติการรับน้ำหนักที่สูงขึ้น โดยการเสริมกำลังให้กับไม้ด้วยวัสดุชนิดอื่นที่มีคุณสมบัติที่แข็งแรงมากกว่าผสมร่วมกันเป็นวัสดุเดียวกันสามารถใช้ทดแทนไม้เนื้อปานกลางและเนื้อแข็งได้ แผ่นไม้เทียมจึงเป็นอีกทางเลือกในการเสริมกำลังให้กับไม้ยางพารา

แผ่นไม้เทียมสามารถจำแนกได้เป็นแผ่นไม้อัด (Plywood) แผ่นใยไม้อัด (Fiberboard) และแผ่นชิ้นไม้อัด (Particle Board) [5] โดยไม้อัด (Plywood) ประกอบด้วยแผ่นไม้บาง ๆ ที่ทำจากการปอกและฝานไม้ แล้วนำมาอัดทับกันเป็นแผ่นโดยมีลักษณะการวางในทิศทางสลับกันด้วยกาว แผ่นที่อยู่ผิวด้านนอกจะเป็นผิวไม้บางที่ฝานเป็นแผ่นส่วนไม้ไส้ด้านในจะเป็นไม้ที่ได้จากการปอก ความหนามาตรฐานของไม้อัด มีตั้งแต่ 3.2, 4.0, 6.0, 10.0, 15.0 และ 20.0 มิลลิเมตร ส่วนขนาดของไม้อัดแบบมาตรฐานมีขนาด 4 x 8 ฟุต ราคาก็จะมีความแตกต่างเช่นกัน

ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดนำไม้ยางพารามาเพิ่มประสิทธิภาพและความสามารถในการใช้งานโดยทำเป็นวัสดุคานไม้ยางพาราประกอบร่วมกับไม้อัด ในการพัฒนา ศึกษา เปรียบเทียบลักษณะพฤติกรรม ของคานไม้ยางพาราประกอบเมื่อมีการเสริมกำลังด้วยไม้อัด ในรูปแบบต่าง ๆ เพื่อใช้เป็นคานไม้สำหรับงานโครงสร้างอาคารช่วยลดต้นทุนและการทำลายไม้ยางพาราทิ้งโดยสูญเปล่า

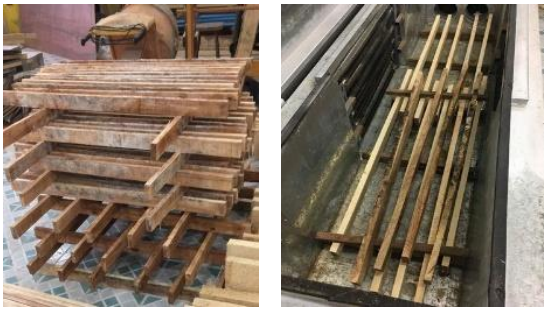
2. การดำเนินการศึกษา

2.1 วัสดุที่ใช้ในการศึกษา

วัสดุที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วย ไม้ยางพารา ไม้อัด และวัสดุประสาน (กาว) และตะปู สำหรับประกอบเป็นชิ้นส่วนคานไม้ประกอบ โดยมีรายละเอียดทั้งหมด ดังนี้

2.1.1 ไม้ยางพารา

ตัวอย่างไม้ยางพาราที่ใช้ในการทดสอบเป็นไม้ยางพาราที่มีอายุ 25 ปีขึ้นไป ที่ผ่านการแปรรูปจากโรงเลื่อยไม้ ขนาด 5×2×100 เซนติเมตร และทำการอบ เพื่อป้องกันเชื้อรา ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 การเตรียมตัวอย่างไม้ยางพารา

2.1.2 ไม้อัด

ตัวอย่างไม้อัด (Plywood) จากท้องตลาดทั่วไป ขนาด 120x240 เซนติเมตร นำมาตัดให้ได้ขนาดความกว้าง 5 เซนติเมตร หนา 1 เซนติเมตร ความยาว 150 เซนติเมตร เพื่อเสริมกำลังให้กับคานไม้ประกอบ ดังแสดงในรูปที่ 2

รูปที่ 2 การเตรียมตัวอย่างไม้อัด

2.1.3 วัสดุประสาน (กาว)

กาวผงสำหรับงานไม้ ที่มีสารยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ และสารเพิ่มแรงยึดเกาะ มีคุณสมบัติ กันน้ำ ทนต่อความร้อน และแรงกระแทก เป็นกาวที่มีลักษณะเป็นผง ใช้ผสมน้ำ แห้งเร็ว การยึดเกาะของกาวมีความทนทานและแข็งแกร่งกว่าตัวเนื้อไม้ สามารถนำไปกลึง ไส ตัดได้ กันน้ำ ไม่ขึ้นเชื้อรา ทนทานต่อน้ำมันและสารระเหย

รูปที่ 3 วัสดุประสาน (กาว)

วัสดุทั้งหมดจะจัดเตรียมในการประกอบเป็นคานประกอบ โดยทุกวัสดุจะผ่านการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นโดยใช้วัสดุอุปกรณ์ภายในห้องปฏิบัติการ สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย จังหวัดสงขลา

2.2 ตัวอย่างในการทดสอบ

2.2.1 การทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุ

การทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุ จะถูกประเมินในส่วนของลักษณะทางกายภาพ และทางกล โดยจะถูกทดสอบทั้งในรูปแบบ ของวัสดุในแต่ละประเภท และวัสดุที่ประกอบร่วมกันด้วย โดยมีรายละเอียดการทดสอบ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รายละเอียดการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุ

หัวข้อ	ขนาดของตัวอย่าง (กว้างxลึกxสูง), cm	รูปการทดสอบ
ทดสอบหาความถ่วงจำเพาะและหาปริมาณความชื้น	ไม้ยางพารา 5 x5 x 5 ไม้อัด 10 x10 x 1 ASTM D 2395 [6]	
การทดสอบการรับแรงอัดขนานเสี้ยนของไม้ยางพารา	5 x 5 x 20 ASTM D 143 [7]	
การทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดในแนวตั้งฉากเสี้ยนของไม้ยางพารา	5 x 5 x 20 ASTM D 143 [7]	
ทดสอบกำลังต้านทานแรงดัดของไม้ยางพารา	5 x 5 x 71 ASTM D 143 [7]	
กำลังต้านทานแรงเฉือนในแนวขนานเสี้ยนของไม้ยางพารา	5 x 5 x 5 ASTM D 143 [7]	
กำลังต้านทานแรงเฉือนของไม้ยางพารากับวัสดุเชื่อมประสาน	กาวติดไม้ [8]	

2.2.2 การทดสอบคานไม้ประกอบ

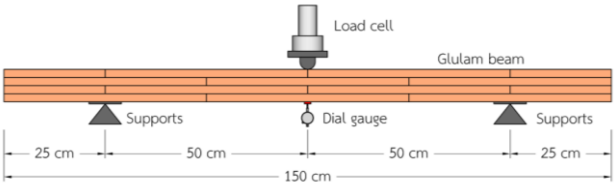
เตรียมตัวอย่างไม้ยางพาราขนาด 5×2×50 เซนติเมตร มาจัดเรียงให้มีความยาว 150 เซนติเมตร ในรูปแบบการวาง รูปแบบต่าง ๆ พร้อมทั้งเตรียมตัวอย่างไม้อัดขนาด 5x1x150 เซนติเมตร ในการเสริมที่ตำแหน่งกึ่งกลาง ในการยึดประสานจะใช้ 2 รูปแบบ คือ ยึดประสานด้วยกาว และยึดประสานด้วยตะปูร่วมกับกาว โดยรูปแบบและสัญลักษณ์ของการประกอบมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 2 และ 3

NPW คือ คานไม้ประกอบที่ใช้ไม้ยางพาราเพียงอย่างเดียว (No Plywood)
PW คือ คานไม้ประกอบที่ใช้ไม้ยางพาราร่วมกับไม้อัด (Plywood)
H คือ ประกอบคานโดยวางไม้แนวนอน (Horizontal)
V คือ ประกอบคานโดยวางไม้แนวตั้ง (Vertical)
G คือ กาวผง (Glue)
GN คือ กาวผงร่วมกับตะปู 1.5 นิ้ว (Glue+Nail)

จำนวนตัวอย่างในแต่ละรูปแบบจะประกอบและทดสอบ จำนวน 2 ชิ้นงาน เพื่อเปรียบเทียบหาค่าเฉลี่ย แต่หากการทดสอบใดพบว่าชิ้นงานมีความแตกต่างกัน ทั้งน้ำหนักกระทำการแอ่นตัว หรือพฤติกรรมการวิบัติ จะทำการประกอบชิ้นงานเพื่อทดสอบเพิ่มอีก 1 ชิ้นงาน

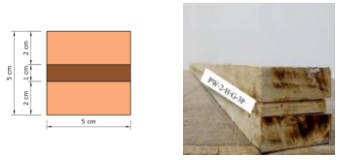
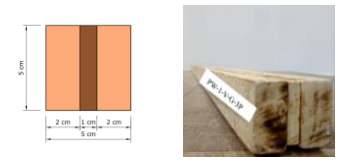
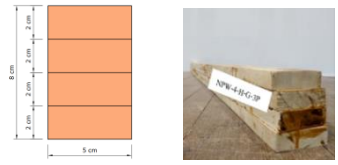
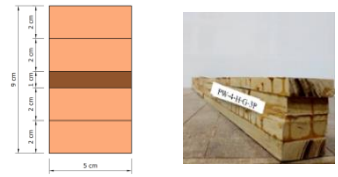
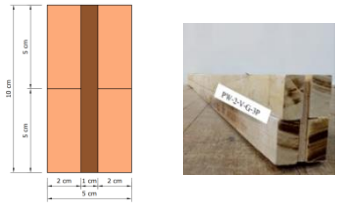
ตารางที่ 2 สัญลักษณ์และจำนวนชิ้นงานของคานไม้ประกอบจากไม้ยางพาราและไม้อัด

ลำดับ	สัญลักษณ์	จำนวนชั้นไม้ (ชั้น)	ความหนา (ซม.)	ความกว้าง (ซม.)	จำนวนชิ้นงาน (ชิ้น)
1	NPW-2-H-G	2	4	5	2
2	NPW-2-H-GN	2	4	5	2
3	PW-2-H-G	2	5	5	2
4	PW-2-H-GN	2	5	5	2
5	PW-1-V-G	1	5	5	2
6	PW-1-V-GN	1	5	5	2
7	NPW-4-H-G	4	8	5	2
8	NPW-4-H-GN	4	8	5	2
9	PW-4-H-G	4	9	5	2
10	PW-4-H-GN	4	9	5	2
11	PW-2-V-G	2	10	5	2
12	PW-2-V-GN	2	10	5	2



รูปที่ 4 ลักษณะการทดสอบกำลังต้านทานแรงดัดของคานไม้ประกอบ

ตารางที่ 3 สัญลักษณ์รายละเอียดของคานไม้ประกอบจากไม้ยางพาราและไม้อัด

สัญลักษณ์	รายละเอียดของคานไม้ประกอบจากไม้ยางพาราและไม้อัด
NPW-2-H-G NPW-2-H-GN	
PW-2-H-G PW-2-H-GN	
PW-1-V-G PW-1-V-GN	
NPW-4-H-G NPW-4-H-GN	
PW-4-H-G PW-4-H-GN	
PW-2-V-G PW-2-V-GN	

2.3 ขั้นตอนการดำเนินการ

ขั้นตอนในการดำเนินการเริ่มตั้งแต่การเตรียมตัวอย่างไม้ยางพาราโดยนำไม้ยางพาราแปรรูปให้ได้ขนาดกว้าง 5 เซนติเมตร หนา 2 เซนติเมตร ยาว 100 เซนติเมตร จากนั้นนำมาผึ่งเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดเชื้อราที่เนื้อไม้ยางพารา ขั้นตอนต่อไปนำมาอบในอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ประมาณ 24 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดเวลานำไม้ยางพาราที่ผ่านจากการอบมาไส้ให้ได้ขนาดอีกรอบ ดังแสดงในรูปที่ 5

รูปที่ 5 การเตรียมตัวอย่างไม้ยางพารา

นำไม้ยางพารามาประกอบขึ้นรูปเป็นคานไม้ประกอบจากไม้ยางพาราร่วมกับไม้อัด ซึ่งในการประกอบขึ้นรูปจะใช้วัสดุเชื่อมประสาน 2 ชนิด คือ ใช้กาวผงติดไม้ ในการเชื่อมประสาน และใช้กาวผงติดไม้ร่วมกับตะปูขนาด 1.5 นิ้ว บีบอัดคานไม้ประกอบจากไม้ยางพารากับไม้อัด และทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 6

รูปที่ 6 ตัวอย่างรูปแบบการประกอบเป็นคานไม้ประกอบ

นำคานไม้ประกอบจากไม้ยางพารากับไม้อัด มาทดสอบกำลังต้านทานแรงดัดด้วยเครื่องทดสอบ Universal Testing Machine โดยใช้การทดสอบแบบ 3 จุด และระยะห่างระหว่างจุดรองรับเท่ากับ 100 เซนติเมตร โดยมีน้ำหนักกระทำที่กึ่งกลางของจุดรองรับ ดังแสดงในรูปที่ 4 และรูปที่ 7

รูปที่ 7 ตัวอย่างการทดสอบกำลังต้านทานแรงดัดของคานไม้ประกอบ

2.4 การประเมินผลการทดสอบ

คานไม้ประกอบจากไม้ยางพารากับไม้อัด ผ่านการทดสอบกำลังต้านทานแรงดัด โดยบันทึกค่าน้ำหนักที่กระทำต่อคาน พร้อมทั้งระยะการแอ่นตัวของคานเมื่อมีแรงกระทำ โดยผู้วิจัยจะประเมินน้ำหนักที่กระทำต่อคาน ที่ระยะการแอ่นตัวไม่เกิน L/360 หรือ 100/360 = 0.277 เซนติเมตร ซึ่งอยู่ในช่วงน้ำหนักที่ขีดปฏิภาค ยังคงสามารถคืนตัวกลับได้ หลังจากได้น้ำหนักกระทำ และการแอ่นตัว ก็เปรียบเทียบค่าโมดูลัสแตกร้าว Modulus of rupture (MOR) [9]

$$MOR = \frac{3PL}{bd^2} \quad (1)$$

เมื่อ MOR คือโมดูลัสแตกร้าว (N/mm^2), P คือน้ำหนักกระทำต่อคานที่ระยะการแอ่นตัวต่าง ๆ (N), L คือ ระยะความยาวคานระหว่างจุดรองรับ (mm), b คือความกว้างของคานไม้ประกอบ (mm), d คือความลึกของคานไม้ประกอบ (mm)

การทดสอบจะถูกเปรียบเทียบกับทฤษฎีแรงดัดของคานรับน้ำหนักบรรทุก ที่เกิดการกระจายสม่ำเสมอ และเกิดการแอนตัวที่เรียกว่าการโกงตัวโดยทันที (Instantaneous Deflection) ดังแสดงในสมการที่ 2-3

$$\Delta = \frac{Px}{48EI}(3L^2 - 4x^2) \quad (2)$$

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

เมื่อ Δ คือระยะการแอ่นตัว (mm), P คือน้ำหนักกระทำต่อคานที่ระยะการแอ่นตัวต่าง ๆ (N), L คือระยะความยาวคานระหว่างจุดรองรับ (mm), E คือโมดูลัสยืดหยุ่น (N/mm^2), I คือโมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่ (mm^4), x คือระยะที่ตำแหน่งน้ำหนักกระทำถึงจุดรองรับ (mm), เมื่อตำแหน่ง x อยู่ตำแหน่งกึ่งกลางคานให้ใช้สมการที่ 3

ความแตกต่างของวัสดุ ของคานประกอบไม้ยางพารา เสริมกำลังด้วยไม้อัด ในการวิเคราะห์ต้องเปลี่ยนค่าโมดูลัสยืดหยุ่นให้เป็นชนิดเดียวกัน โดยวิธีการคำนวณดังแสดงในสมการที่ 4

$$n = \frac{E_{ply}}{E_{rumber}} \quad (4)$$

เมื่อ n คือ transformation factor, E คือค่าโมดูลัสยืดหยุ่นตามชนิดวัสดุ E_{ply} คือ ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของไม้อัด (N/mm^2) และ E_{rumber} คือ ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของไม้ยางพารา (N/mm^2)

3. ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล

3.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุ

ผลการทดสอบคุณสมบัติของไม้ยางพารา ไม้อัด และวัสดุยึดประสานตามวิธีการและมาตรฐานต่าง ๆ ที่กำหนดไว้ มีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4-6

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบหาความถ่วงจำเพาะและความชื้นของไม้ยางพาราและไม้อัด

Description	Rubber Wood	Rubber Wood*	Plywood
1.Natural Specific Gravity	0.57	0.67	0.56
2. Dry Specific Gravity	0.51	0.55	0.50
3. Absorption, %	20.25	20.24	13.87
4. Moisture Content, %	11.40	10.40	10.85

หมายเหตุ: Rubber Wood (ทวีศักดิ์ ทองขวัญ, 2562) [10]

จากตารางที่ 4 ผลการทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะธรรมชาติ และค่าความถ่วงจำเพาะแห้ง ของไม้ยางพารามีค่าใกล้เคียงกัน และมีค่าใกล้เคียงกับผลที่ใช้อ้างอิงในการเปรียบเทียบ ซึ่งจากผลการทดสอบ พบว่าไม้ยางพารา และไม้อัด จัดเป็นไม้เนื้ออ่อน จะมีค่าความถ่วงจำเพาะ อยู่ระหว่าง 0.56 - 0.87 ในส่วนของปริมาณความชื้นของไม้ ตามมาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง 1223-51 [11] ความชื้นของไม้เพื่อก่อสร้างต้องอยู่ระหว่างร้อยละ 7-14 ซึ่งไม้ทั้งสองชนิดทั้งไม้ยางพาราและไม้อัดมีค่าความชื้นอยู่ระหว่างค่าความชื้นตามมาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง 1223-51 [11]

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของไม้ยางพาราและไม้อัด

Description	Rubber Wood	Rubber Wood*	Plywood
1. Compression Parallel to Grain, (N/mm^2)	37.00	40.97	-
2. Compression Perpendicular to Grain, (N/mm^2)	5.09	5.40	-
3. Modulus of Rupture, (N/mm^2)	73.49	62.21	27.60
4. Modulus of Elasticity, (N/mm^2)	9,360	7,161	6,351
5. Shear Parallel to Grain (N/mm2)	1.18	1.45	-

หมายเหตุ: Rubber Wood (ทวีศักดิ์ ทองขวัญ, 2562) [10]

จากตารางที่ 5 เป็นผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของไม้ยางพาราซึ่งไม้ยางพาราจัดเป็นไม้เนื้ออ่อนตามคุณสมบัติเชิงกล และมีการเปรียบเทียบคุณสมบัติจากงานวิจัยอื่น โดยพบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนคุณสมบัติเชิงกลของไม้อัดจะมีค่าน้อยกว่าไม้ยางพารา แต่ข้อดีของไม้อัดจะไม่ยืดหรือหดตัวเมื่อมีความชื้น สามารถยึดประสานกับกาวได้ดี อีกทั้งการเสริมกำลังของคานประกอบด้วยไม้อัดจะเพิ่มโมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่ให้คานไม้ประกอบอีกด้วย ซึ่งผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลดังกล่าวนี้ จะใช้ในการวิเคราะห์เปรียบเทียบตามผลการทดสอบคานไม้ประกอบ ในรูปแบบต่าง ๆ ได้ต่อไป

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุยึดประสาน

Description	Shearing Strength (N/mm^2)
1. Shear Together with Wood Glue	7.20
2. Shear Together with Wood Glue and Nail	6.40
3. Nail Ø 4.88 mm	71.53

การทดสอบกำลังต้านทานแรงเฉือนระหว่างไม้ยางพารากับวัสดุเชื่อมประสาน พบว่าการใช้กาวผงยึดประสานมีค่าสูงกว่า การใช้ตะปูและกาวผงร่วมกัน แต่เมื่อเทียบการรับแรงเฉือนสูงสุด จะเห็นได้ว่าตะปูมีค่าสูงสุด แต่การทดสอบตัวอย่างที่ใช้กาวผงร่วมกับตะปู ไม่สามารถรับน้ำหนักได้มากกว่าการใช้กาวผงยึดประสาน โดยพบว่าการวิบัติของตัวอย่างเกิดขึ้นที่ตะปู มีการเสียรูป และเกิดการชะลูดที่พื้นที่ผิวของตะปู

3.2 ผลการทดสอบคานไม้ประกอบ

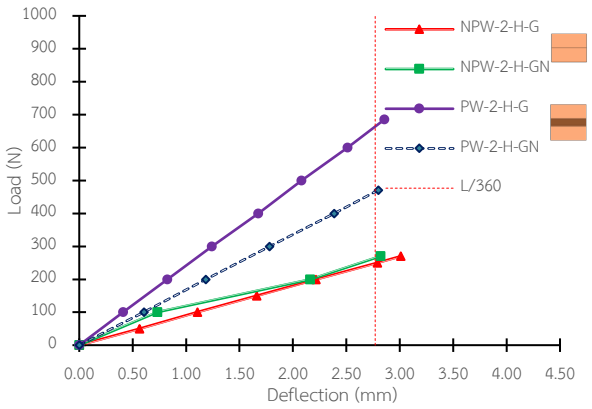
ผลการทดสอบคานไม้ประกอบจากไม้ยางพารากับไม้อัดจะแสดงเป็นรูปความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่กระทำกับการแอ่นตัว โดยการรับน้ำหนักจะขึ้นอยู่กับหน้าตัดของคานไม้ประกอบและวัสดุเชื่อมประสาน น้ำหนักที่กระทำ และการแอ่นตัวจะพิจารณาในช่วงของการแอ่นตัวที่ยอมให้ L/360 หรือ 100/360 = 0.277 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 8-11

จากรูปที่ 8 ผลที่ได้จากการทดสอบคานไม้ประกอบ NPW-2-H-G และ NPW-2-H-GN ที่ใช้วัสดุเชื่อมประสานกาว และ กาวร่วมกับตะปู ตามลำดับที่ระยะการแอ่นตัว 0.277 เซนติเมตร คานไม้ประกอบสามารถรับน้ำหนัก

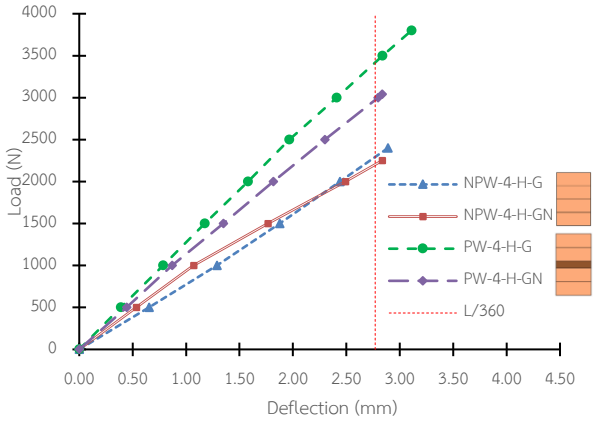
ได้ 240 และ 260 นิวตัน ตามลำดับ ซึ่งตัวอย่างคานไม้ประกอบที่ใช้กาวเป็นวัสดุเชื่อมประสานสามารถรับกำลังได้ใกล้เคียงคานไม้ประกอบที่ใช้กาวร่วมกับตะปูเป็นวัสดุเชื่อมประสาน

เมื่อมีการเสริมชิ้นส่วนไม้อัดบริเวณกึ่งกลางหน้าตัดคาน PW-2-H-G และ PW-2-H-GN ผลการทดสอบคานไม้ประกอบสามารถรับน้ำหนักได้ 660 และ 465 นิวตัน ตามลำดับ ซึ่งตัวอย่างคานไม้ประกอบที่ใช้กาวเป็นวัสดุเชื่อมประสานสามารถรับกำลังได้ดีกว่าคานไม้ประกอบที่ใช้ กาวร่วมกับตะปูเป็นวัสดุเชื่อมประสาน

ผลการเสริมชิ้นส่วนไม้อัดบริเวณกึ่งกลางคานทำให้สามารถต้านทานแรงดัดได้สูงขึ้น ร้อยละ 175 กรณีเชื่อมประสานด้วยกาว และ ร้อยละ 79 กรณีเชื่อมประสานด้วยกาวร่วมกับตะปู ทั้งหมดเมื่อเทียบกับคานไม้ประกอบไม้ยางพาราวางแนวนอน 2 ชั้น NPW-2-H แสดงให้เห็นว่าการเสริมชิ้นส่วนไม้อัดทำให้คานไม้ประกอบมีความแข็งแรงมากขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ อิมรอน หะยียูโซะ และคณะ (2563) [12] ที่ระบุว่ากำลังต้านทานแรงดัดนั้นจะมีค่าสูงขึ้นตามปริมาณจำนวนของวัสดุที่เสริมกำลัง



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำกับการแอ่นตัวของคานไม้ประกอบรูปแบบการวางไม้แนวนอน 2 ชั้น (at L/360)

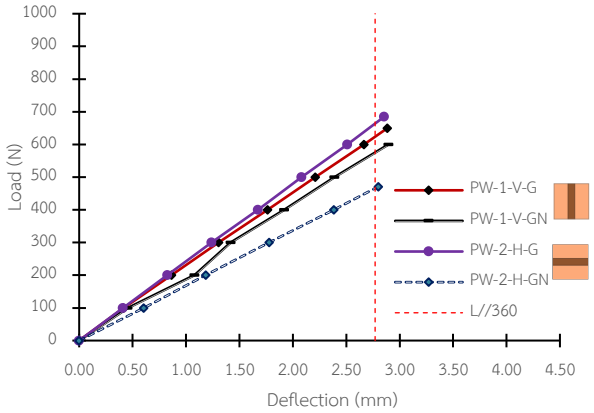


รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำกับการแอ่นตัวของคานไม้ประกอบรูปแบบการวางไม้แนวนอน 4 ชั้น (at L/360)

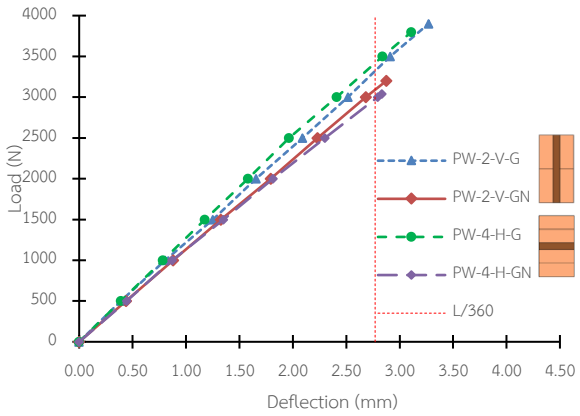
จากรูปที่ 9 เป็นผลที่ได้จากการทดสอบคานไม้ประกอบ NPW-4-H-G และ NPW-4-H-GN ที่ใช้วัสดุเชื่อมประสานกาว และกาวร่วมกับตะปู ตามลำดับ ที่ระยะการแอ่นตัว 0.277 เซนติเมตร คานไม้ประกอบสามารถรับน้ำหนักได้ 2,300 และ 2,200 นิวตัน ตามลำดับ ซึ่งตัวอย่างคานไม้ประกอบที่ใช้กาวเป็นวัสดุเชื่อมประสานสามารถรับกำลังได้ดีกว่าคานไม้ประกอบที่ใช้กาวร่วมกับตะปูเป็นวัสดุเชื่อมประสาน

เมื่อมีการเสริมชิ้นส่วนไม้อัดบริเวณกึ่งกลางหน้าตัดคาน PW-4-H-G และ PW-4-H-GN ผลการทดสอบคานไม้ประกอบสามารถรับน้ำหนักได้ 3,425 และ 2,975 นิวตัน ตามลำดับ ซึ่งตัวอย่างคานไม้ประกอบที่ใช้กาวเป็นวัสดุเชื่อมประสานสามารถรับกำลังได้ดีกว่าคานไม้ประกอบที่ใช้ กาวร่วมกับตะปูเป็นวัสดุเชื่อมประสาน

ผลการเสริมชิ้นส่วนไม้อัดบริเวณกึ่งกลางคานทำให้สามารถต้านทานแรงดัดได้สูงขึ้น ร้อยละ 49 กรณีเชื่อมประสานด้วยกาว และ ร้อยละ 35 กรณีเชื่อมประสานด้วยกาวร่วมกับตะปู ทั้งหมดเมื่อเปรียบเทียบกับคานไม้ประกอบไม้ยางพาราวางแนวนอน 4 ชั้น NPW-4-H แสดงให้เห็นว่าการเสริมชิ้นส่วนไม้อัดทำให้คานไม้ประกอบมีความแข็งแรงมากขึ้น โดยเฉพาะไม้ยางพารา ที่เหมาะสำหรับเสริมกำลังประกอบเป็นไม้ประกอบ [13]



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำกับการแอ่นตัวของคานไม้ประกอบรูปแบบการวางไม้แนวนอน 2 ชั้นและวางแนวตั้ง 1 ชั้น (at L/360)

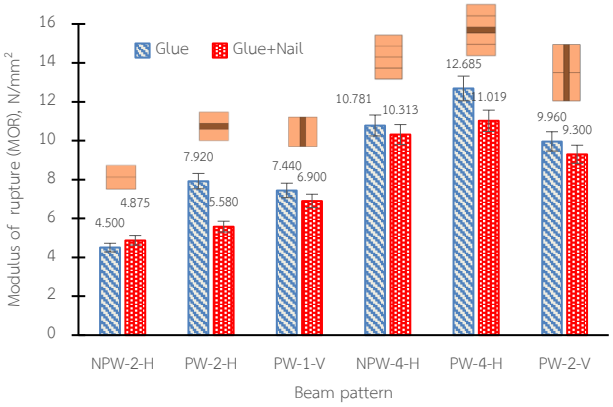


รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำกับการแอ่นตัวของคานไม้ประกอบรูปแบบการวางไม้แนวนอน 4 ชั้นและวางแนวตั้ง 2 ชั้น (at L/360)

จากรูปที่ 10 ผลการทดสอบกำลังดัดของคานไม้ประกอบไม้ยางพาราที่มีการเสริมไม้อัดบริเวณกึ่งกลางหน้าตัดคาน PW-1V-G ที่เชื่อมประสานด้วยกาว และ PW-1V-GN เชื่อมประสานด้วยกาวร่วมกับตะปู ทดสอบโดยการให้น้ำหนักจนถึงระยะการแอ่นตัว L/360 คือ 0.277 เซนติเมตร คานไม้ประกอบสามารถรับน้ำหนักได้ 620 และ 575 นิวตัน ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการยึดไม้ประกอบด้วยกาว มีประสิทธิภาพมากกว่าการยึดไม้ด้วยกาวร่วมกับตะปู และเมื่อเปรียบเทียบรูปแบบการวางของไม้พบว่า รูปแบบการวางที่จำนวนชั้นที่ไม่สูง และมีจำนวนชิ้นส่วนไม้น้อย ยังไม่ส่งผลต่อการรับน้ำหนักภายใต้แรงดัด ซึ่งจะเห็นได้จากผลการทดสอบ

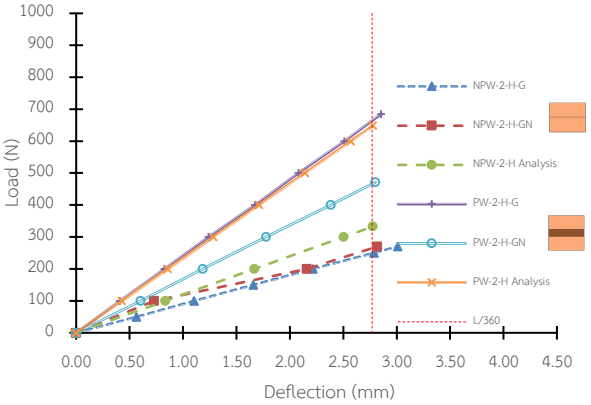
จากรูปที่ 11 ผลการทดสอบกำลังดัดของคานไม้ประกอบไม้ยางพาราที่มีการเสริมไม้อัดบริเวณกึ่งกลางหน้าตัดคาน PW-2V-G ที่เชื่อมประสานด้วยกาว และ PW-2V-GN เชื่อมประสานด้วยกาวร่วมกับตะปู ทดสอบโดยการให้น้ำหนักกระทำจนถึงระยะการแอ่นตัว L/360 คือ 0.277 เซนติเมตร คานไม้ประกอบสามารถรับน้ำหนักได้ 3,320 และ 3,100 นิวตัน ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการยึดไม้ประกอบด้วยกาว มีประสิทธิภาพมากกว่าการยึดไม้ด้วยกาวร่วมกับตะปู อีกทั้งการเพิ่มจำนวนชั้นความสูงของคาน ส่งผลให้ความต้านทานแรงดัดของคานสูงขึ้นด้วย และเมื่อเปรียบเทียบรูปแบบการวางของไม้พบว่า รูปแบบการวางไม้แบบแนวนอนสามารถรับน้ำหนักกระทำได้สูงกว่า คานที่วางไม้แบบแนวตั้งในทุกรูปแบบของการยึดประสาน ซึ่งจะเห็นได้จากผลการทดสอบ

การวิเคราะห์ผลการทดสอบจากน้ำหนักกระทำเทียบกับการแอ่นตัว ถูกคำนวณเป็นค่าโมดูลัสแตกร้าว Modulus of rupture (MOR) จากผลการวิเคราะห์พบว่า การเสริมชิ้นส่วนไม้อัดในทุกรูปแบบของคานประกอบทำให้ค่าโมดูลัสแตกร้าวของคานสูงขึ้น หากเทียบค่าโมดูลัสแตกร้าวในกรณีการยึดประสานพบว่า คานไม้ประกอบที่ยึดประสานด้วยกาว มีประสิทธิภาพมากกว่าการยึดด้วยกาวร่วมกับตะปู เนื่องจากไม้ยางพาราเป็นไม้เนื้ออ่อนมาก ทำให้กำลังต้านทานแรงเฉือนที่ผิวของตะปูได้น้อย ส่วนทิศทางของการวางไม้ประกอบ การวางไม้แบบแนวนอน มีค่าโมดูลัสแตกร้าวสูงกว่า รูปแบบการวางแนวตั้ง ดังแสดงในรูปที่ 12

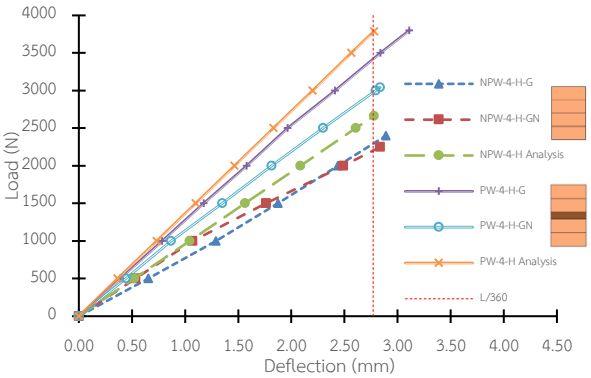


รูปที่ 12 ค่าโมดูลัสแตกร้าว (MOR) ของคานไม้ประกอบรูปแบบต่าง ๆ ที่ระยะการแอ่นตัว L/360

การเปรียบเทียบน้ำหนักกระทำและการแอ่นตัวกับการวิเคราะห์ โดยใช้ข้อมูลค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (E) จากการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุไม้ทั้งสองชนิด กรณีคานประกอบเป็นไม้ยางพาราทั้งหมด จะวิเคราะห์จากทฤษฎีการโก่งตัวจากสมการที่ 3 โดยใช้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (E) จากผลการทดสอบคุณสมบัติ และเมื่อมีการเสริมไม้อัดบริเวณกึ่งกลางหน้าตัดคานจะต้องเปลี่ยนค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของไม้อัดเป็นไม้ยางพารา (transformation factor E) จากสมการที่ 4 หลังจากนั้นวิเคราะห์ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่ แล้ววิเคราะห์น้ำหนักกระทำที่ระยะแอ่นตัว L/360 ตามทฤษฎีการโก่งตัวจากสมการที่ 3 เช่นเดิม โดยจะกำหนดสัญลักษณ์ (Analysis) ซึ่งบ่งบอกถึงผลที่ได้การจากการวิเคราะห์ ดังจะเห็นได้จากรูปที่ 13-16



รูปที่ 13 น้ำหนักกระทำกับการแอ่นตัวของคานไม้ประกอบเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ รูปแบบการวางไม้แนวนอน 2 ชั้น (at L/360)

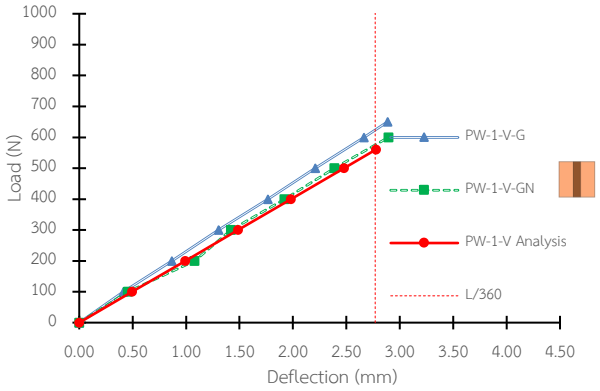


รูปที่ 14 น้ำหนักกระทำกับการแอ่นตัวของคานไม้ประกอบเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ รูปแบบการวางไม้แนวนอน 4 ชั้น (at L/360)

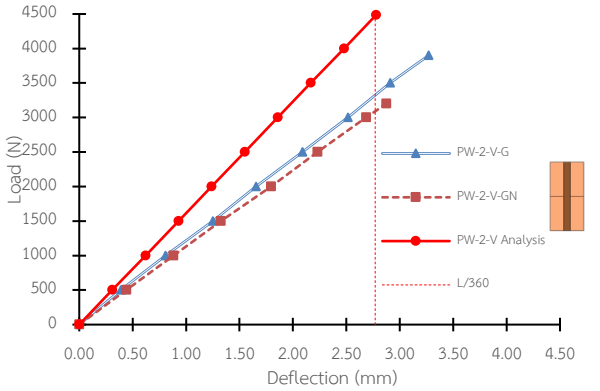
จากรูปที่ 13 และ 14 เป็นการวิเคราะห์คานไม้ประกอบรูปแบบที่มีทิศทางการวางไม้รูปแบบแนวนอนเทียบกับผลที่ได้จากการทดสอบ พบว่า รูปแบบคานไม้ประกอบที่ไม่มีการเสริมไม้อัด ประกอบไม้ 2 ชั้น NPW-2-H-G และ NPW-2-H-GN มีค่าความแตกต่างเมื่อเทียบกับผลการทดสอบ ร้อยละ 39 และ 28 รูปแบบการประกอบไม้ 4 ชั้น NPW-4-H-G และ NPW-2-H-GN มีค่าใกล้เคียงกับผลการทดสอบมากขึ้น โดยมีความแตกต่าง ร้อยละ 16 และ 21 และเมื่อมีการเสริมไม้อัดบริเวณกึ่งกลางหน้าตัดคาน พบว่า คานไม้รูปแบบ 2 ชั้น PW-2-H-G และ PW-2-H-GN มีค่าความแตกต่างเมื่อเทียบกับผลการทดสอบ ร้อยละ 2 และ 39 ซึ่งจะเห็นได้ว่ารูปแบบการยึด

ประสานด้วยกาวมีค่าใกล้เคียงกับผลการทดสอบ และเมื่อเพิ่มจำนวนชั้นของไม้ประกอบเป็น 4 ชั้น PW-4-H-G และ PW-4-H-GN มีค่าความแตกต่างเมื่อเทียบกับผลการทดสอบ ร้อยละ 11 และ 27 ตามลำดับ

จากรูปที่ 15 และ 16 เป็นการวิเคราะห์คานไม้ประกอบรูปแบบที่มีทิศทางการวางไม้รูปแบบแนวตั้งเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดสอบ พบว่ารูปแบบคานไม้ประกอบที่มีการเสริมไม้อัด โดยการประกอบวางไม้ 1 ชั้น PW-1-V-G และ PW-1-V-GN มีค่าใกล้เคียงกับผลการทดสอบ โดยมีค่าความแตกต่าง ร้อยละ 10 และ 3 และเมื่อเพิ่มจำนวนชั้นของไม้ประกอบเป็น 2 ชั้น PW-2-V-G และ PW-2-V-GN มีค่าความแตกต่างเมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดสอบ ร้อยละ 35 และ 45 ตามลำดับ



รูปที่ 15 น้ำหนักกระทำกับการแอ่นตัวของคานไม้ประกอบเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ รูปแบบการวางไม้แนวตั้ง 1 ชั้น (at L/360)



รูปที่ 16 น้ำหนักกระทำกับการแอ่นตัวของคานไม้ประกอบเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ รูปแบบการวางไม้แนวตั้ง 2 ชั้น (at L/360)

จากผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับผลการทดสอบ ค่ากำลังต้านทานแรงดัดจากการวิเคราะห์มีค่าสูงกว่าผลที่ได้จากการทดสอบจริงเล็กน้อย แสดงให้เห็นว่า การทดสอบถูกต้องตามมาตรฐาน และถูกต้องตามพฤติกรรมการดัดของคาน อีกทั้งผลจากการวิเคราะห์มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการคำนวณออกแบบได้ โดยค่าความต่างของข้อมูลจะใช้ค่าความปลอดภัย (Safety Factor) ในการใช้งานที่ยอมให้ แต่ข้อมูลทั้งหมดต้องคำนึงความถูกต้องของการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานประกอบด้วย

4. สรุปผลการวิจัย

จากการออกแบบและจัดทำคานไม้ประกอบจากไม้ยางพาราร่วมกับไม้อัด ได้ทำการทดสอบเพื่อศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของไม้ยางพารากับไม้อัด ศึกษาพฤติกรรมการรับน้ำหนักและการแอ่นตัวที่ระยะ L/360 เปรียบเทียบการรับน้ำหนักและการแอ่นตัวของคานไม้ประกอบจากไม้ยางพารากับไม้อัด เมื่อใช้วัสดุประสาน 2 ชนิด ได้แก่ กาว และกาวร่วมกับตะปู เพื่อศึกษาความเหมาะสมในการนำคานไม้ประกอบจากไม้ยางพารากับไม้อัด มาใช้ในงานโครงสร้างอาคาร สามารถสรุปได้ดังนี้

ผลการทดสอบคานไม้ประกอบไม้ยางพารา และคานประกอบไม้ยางพาราเสริมไม้อัดตำแหน่งกึ่งกลางหน้าตัดคาน พิจารณาน้ำหนักที่กระทำที่การแอ่นตัวที่ยอมให้ L/360 หรือ 100/360 = 0.277 เซนติเมตร พบว่าคานไม้ยางพาราประกอบเสริมกำลังด้วยไม้อัดทั้งรูปแบบการวางไม้แนวนอน และการวางไม้แนวตั้ง รวมถึงรูปแบบการยึดประสานโดยใช้กาว และใช้กาวร่วมกับตะปู สามารถรับน้ำหนักภายใต้แรงดัดได้สูงกว่าคานไม้ยางพาราประกอบที่ไม่มีการเสริมกำลัง

ผลการเปรียบเทียบคานไม้ประกอบที่ใช้กาวเป็นวัสดุประสาน กับคานไม้ประกอบที่ใช้กาวร่วมกับตะปูเป็นวัสดุประสาน พบว่าคานไม้ที่ใช้กาวเป็นวัสดุประสาน สามารถรับกำลังต้านทานแรงดัดได้สูงกว่า เช่นเดียวกันกับการเปรียบเทียบกำลังต้านทานแรงเฉือนไม้ยางพาราร่วมกับกาว และไม้ยางพาราร่วมกับกาวและตะปู พบว่าการประสานด้วยกาวสามารถทำให้คานมีความสามารถในการรับน้ำหนักได้ดีกว่า เนื่องจากไม้ยางพาราเป็นไม้เนื้ออ่อนทำให้ต้านทานแรงเสียดทานที่ผิวของตะปูได้น้อย

ค่าโมดูลัสแตกร้าว Modulus of rupture (MOR) จากผลการวิเคราะห์พบว่า การเสริมชิ้นส่วนไม้อัดในทุกรูปแบบของคานประกอบทำให้ค่าโมดูลัสแตกร้าวของคานสูงขึ้น หากเปรียบเทียบค่าโมดูลัสแตกร้าวในกรณีการยึดประสานพบว่า คานไม้ประกอบที่ยึดประสานด้วยกาว มีประสิทธิภาพมากกว่าการยึดด้วยกาวร่วมกับตะปู ส่วนทิศทางของการวางไม้ประกอบการวางไม้แบบแนวนอน มีค่าโมดูลัสแตกร้าวสูงกว่า รูปแบบการวางแนวตั้ง

ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับผลการทดสอบ โดยใช้ข้อมูลค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (E) จากการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุไม้ยางพารา และไม้อัด จากทฤษฎีการโก่งตัว เพื่อวิเคราะห์น้ำหนักกระทำที่ระยะแอ่นตัว L/360 จากผลการวิเคราะห์ค่ากำลังต้านทานแรงดัดมีค่าใกล้เคียงกับผลการทดสอบกำลังดัด แสดงให้เห็นว่า การทดสอบถูกต้องตามมาตรฐาน และถูกต้องตามพฤติกรรมการดัดของคาน อีกทั้งผลจากการวิเคราะห์มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการคำนวณออกแบบได้

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย จังหวัดสงขลา ในการเอื้อเฟื้อสถานที่ ห้องปฏิบัติการ สนับสนุนเครื่องมือในการทดสอบ ในการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] ปานวาด วรเสถียร และ ภูมิชาย พันธุ์ไพโรจน์ (2565). แนวทางการออกแบบเพื่อนำเสนอรูปแบบการจักสานของไทยเพื่อประยุกต์ใช้ไม้ยางพาราในการออกแบบสถาปัตยกรรมไทยร่วมสมัย. *วารสารวิจัยและสาระสถาปัตยกรรม/การผังเมือง,* ปีที่ 19, ฉบับที่ 1, หน้า 139-159.

[2] ศวิษฐ์ พิริยะสุรวงศ์ และ เทิดศักดิ์ เตชะกิจขจร (2563). พัฒนาการไม้ประกับกาวในประเทศไทย. *วารสารวิชาการการออกแบบสภาพแวดล้อม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่,* ปีที่ 7, ฉบับที่ 1, หน้า 136-155.

[3] Zobel, B.J. and J.P. Van Buijtenen (1989). Wood Variation Its Causes and Control. *Springer-Verlag*, Berlin, Heidelberg, Germany. pp. 363.

[4] ฐิตาภรณ์ ภูมิไชย์, กฤษดา สังข์สิงห์, จิรวัฒน์ ริยาพันธ์ และ เฉลิมพล ภูมิไชย์ (2558). คุณสมบัติทางเคมีและเชิงกลของไม้ยางพารา. *วารสารวิชาการเกษตร,* ปีที่ 33, ฉบับที่ 2, หน้า 144-158.

[5] ปิติณัตต์ ตรีวงศ์ (2555). การประยุกต์ใช้ไม้อัดเป็นฝ้าเพดานกันความร้อน. *วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม,* ปีที่ 8, ฉบับที่ 1, หน้า 79-84.

[6] ASTM D 2395 (2014). Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Wood and Wood-Based Materials, *ASTM International*.

[7] ASTM D 143 (2000). Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber, *ASTM International*.

[8] ASTM D 3528-96 (2008). Standard Test Method for Strength Properties of Double Lap Shear Adhesive Joints by Tension Loading, *ASTM International*.

[9] Ghaneh, M., Behbood, M. and Ghanbar, E. (2017). Glulam beam made from hydrothermally treated poplar wood with reduced moisture induced stresses. *Construction and Building Materials*, 135, pp. 386-393.

[10] ทวีศักดิ์ ทองขวัญ, นันทชัย ชูศิลป์ และ จรูญ เจริญเนตรกุล (2562). พฤติกรรมการวิบัติของจุดต่อระหว่างคานและเสาในโครงสร้างไม้ยางพาราผสมร่วมกับเหล็ก. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 24*, อุดรธานี, 10-12 กรกฎาคม 2562, หน้า 211 – 218.

[11] กรมโยธาธิการและผังเมือง (2551). มยผ. 1221-51 ถึง มยผ. 1227-51 มาตรฐานการทดสอบไม้. สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร กรมโยธาธิการและผังเมือง ถนนพระราม 6 แขวงสามเสนใน เขตพญาไท กรุงเทพฯ 10260.

[12] อิมรอน หะยียูโซะ, วนัชพร แมงสาโมง และ ฮาซัน คอแด๊ะ (2563). คานไม้ยางพาราลามิเนตเสริมกำลังด้วยพอลิเมอร์เสริมใยแก้ว.*วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์*, ปีที่ 12, ฉบับที่ 2, หน้า 67-81.

[13] Yashida, N. and Praveen N. (2014). The behavior of horizontally glued laminated beams using rubber wood. *Construction and Building Materials*, 55, pp. 398-405.