

การพัฒนาทำ Glued Laminated Timber (Glulam) จากเศษไม้สักสวนป่า The Development of Glued Laminated Timber (Glulam) from Teak Plantation

ทยิดา ถิ่นเขาค้อ^{1,*} ทรงกลด จารุสมบัติ¹ ดำรง พิพัฒน์วัฒนกุล¹
Tayida Thinkowtor^{1,2}, Songklod Jarusombuti¹, Damrong Pipatwattanukul¹

¹สาขาวิชาการบริหารทรัพยากรป่าไม้และสิ่งแวดล้อม คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

¹Department of Forest Management, Faculty of Forestry, Kasetsart University, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand

*Corresponding Author E-mail: tayida.th@ku.th

Received: 16-11-2024 Revised: 16-11-2025 Accepted: 17-11-2025

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้เป็นการพัฒนาทำ Glued Laminated Timber (Glulam) จากเศษไม้สักสวนป่าที่เหลือจากองค์การอุตสาหกรรมป่าไม้ของกระบวนการผลิตไม้สักสวนป่าแปรรูป อายุประมาณ 25-30 ปี ที่ไม่สามารถนำมาแปรรูปได้ตามที่ต้องการ ทำให้เศษไม้ที่เหลือกลายเป็นของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิต โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการพัฒนาทำ Glulam จากเศษไม้สักสวนป่าและคุณสมบัติเชิงกลของ Glulam รวมทั้งการเพิ่มมูลค่าของเศษไม้สักสวนป่าแปรรูปในการนำไปใช้ประโยชน์ทางด้านอุตสาหกรรมไม้ เพื่อให้การพัฒนาทำ Glulam จากเศษไม้สักสวนป่าเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีการทดสอบ 4 วิธีการ คือ การทดสอบแรงเฉือน (Shear tests) การทดสอบความต้านแรงดัด (Modulus of Rupture หรือ MOR) โมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity หรือ MOE) ตามมาตรฐาน ISO/TR 19623:2019 และการทดสอบการติดกาว (Adhesive tests) ตามมาตรฐาน EN 204:2001 ในกรรมวิธีการอัดประสานเศษไม้สักได้มีการเลือกใช้กาวโพลียูรีเทน (Polyurethane Adhesives; PU) มีคุณสมบัติความเหนียว ความหนาแน่นและยืดหยุ่นแต่ไม่หดตัว มีประสิทธิภาพในการยึดติดสูง แลกาวอิมัลชันโพลีเมอร์ไอโซไซยาเนต (Emulsion polymer isocyanate; EPI) มีคุณสมบัติการแข็งตัวที่รวดเร็วแม้อยู่ในสภาวะอุณหภูมิปกติ มีแรงยึดเกาะและทนทานสูง ซึ่งกาวทั้ง 2 ชนิด เป็นกาวที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในภาคอุตสาหกรรม การแปรรูปไม้สำหรับงานที่ใช้ภายนอกได้ เนื่องจากทนความร้อนได้ดี มีความทนทานต่อน้ำและความชื้น รวมทั้งเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ผลการทดสอบ พบว่า ค่าแรงเฉือน มีค่า 7.94 MPa และ 8.12 MPa ตามลำดับ ค่าความต้านแรงดัด มีค่า 53.03 MPa และ 64.44 MPa ตามลำดับ ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น มีค่า 9,476.41 MPa และ 9,659.61 MPa ตามลำดับ และการทดสอบการติดของกาว ไม่มีการเปลี่ยนแปลงสภาพไปจากเดิม ซึ่งค่าการทดสอบทั้ง 4 วิธีการ เป็นไปตามค่ามาตรฐาน จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า เศษไม้สักที่เหลือจากกระบวนการผลิตสามารถนำไปสู่การพัฒนาทำ Glued Laminated Timber (Glulam) ในการใช้ประโยชน์ด้านผลิตภัณฑ์ก่อสร้างสำหรับใช้เป็นงานโครงสร้างต่างๆ เพื่อเพิ่มมูลค่า และนำองค์ความรู้ที่ได้จากการวิจัยไปประยุกต์ หรือปรับปรุงผลิตภัณฑ์ในภาคอุตสาหกรรมไม้ในประเทศไทย เพื่อยกระดับการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าต่อไป

คำสำคัญ : Glued Laminated Timber (Glulam), ไม้สักสวนป่า, กาวโพลียูรีเทน, กาวอิมัลชันโพลีเมอร์ไอโซไซยาเนต, มาตรฐาน ISO/TR 19623:2019, มาตรฐาน EN 204:2001

ABSTRACT

This study focuses on the development of Glued Laminated Timber (Glulam) made from teak wood scraps sourced from a teak plantation forest. These are by-products left over from the teak processing operations of the Forest Industry Organization, which the wood, approximately 25-30 years old, that cannot be sawn into commercially required dimensions, constitute a significant waste stream within the production process. The objectives were to develop Glulam from teak wood scraps, evaluate the mechanical properties of the resulting products, and explore opportunities for value enhancement within the wood-processing industry. The study referred to four testing methods: shear tests, Modulus of Rupture (MOR) tests, Modulus of Elasticity (MOE) tests (according to ISO/TR 19623:2019 standard), and adhesive tests (according to EN 204:2001 standard). Polyurethane adhesives; PU, which demonstrates high toughness, dimensional stability, flexibility, and superior bonding performance, and Emulsion polymer isocyanate (EPI) adhesive, recognized for its rapid curing behavior at ambient temperature as well as its high bond strength and durability, were employed in the lamination process. Both adhesive systems are extensively utilized in exterior-grade wood-product

manufacturing due to their excellent thermal resistance, strong durability under water and moisture exposure, and environmentally benign attributes. The results showed shear strengths were 7.94 MPa and 8.12 MPa, Modulus of Rupture were 53.03 MPa and 64.44 MPa, and Modulus of Elasticity were 9,476.41 MPa and 9,659.61 MPa, respectively. Additionally, the result provide compelling evidence that teak residues, typically regarded as low-value waste materials, can be effectively transformed into structurally reliable Glulam products suitable for various construction applications. This valorization pathway not only enhances the economic utility of teak processing residues but also offers a scientifically grounded framework that can inform industrial practice and support the advancement of sustainable and resource-efficient wood-product manufacturing in Thailand.

Keyword: Glued Laminated Timber (Glulam), Teak wood plantation, Polyurethane adhesives (PU), Emulsion polymer isocyanate (EPI), ISO/TR 19623:2019 standard, EN 204:2001 standard.

1. บทนำ

ปัจจุบันไม้สักในประเทศไทยที่ตัดมาใช้ประโยชน์ล้วนเป็นไม้สักจากสวนป่าปลูกทั้งสิ้น สวนป่าหรืออุตสาหกรรมการปลูกสร้างสวนป่า (Forest plantation) เป็นแนวทางสำคัญในการเพิ่มพื้นที่ป่าที่เป็นพื้นที่ป่าเสื่อมโทรม ถูกทำลาย หรือถูกทิ้งไว้ว่างเปล่าเพื่อปลูกสร้างสวนป่าที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจ ทั้งไม้ท้องถิ่นและไม้ต่างถิ่นหลากหลายชนิด อีกทั้งลดปัญหาการขาดแคลนไม้ใช้สอยของประเทศ และชนิดไม้ที่มีบทบาทสูงมากในสังคมไทยมาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน คือ ไม้สัก จึงเริ่มมีการปลูกมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2449 ซึ่งถือเป็น การปลูกสร้างสวนป่าครั้งแรกของประเทศไทยสำหรับสวนป่าเศรษฐกิจส่วนใหญ่อยู่ภายใต้การดูแลขององค์การอุตสาหกรรมป่าไม้ (ออป.) ซึ่งเป็นภาครัฐวิสาหกิจ สังกัดกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ร่วมกับภาคเอกชน โดยมีภารกิจหลักในการปลูกสร้างสวนป่าเศรษฐกิจ และสนองนโยบายของรัฐในด้าน การอนุรักษ์ การฟื้นฟูป่า และการส่งเสริมด้านการปลูกป่า นอกจากนี้ยังมีวัตถุประสงค์ของการปลูกสร้างสวนป่าไม้สัก เพื่อเป็นแหล่งวัตถุดิบไม้ในภาคอุตสาหกรรมและเพื่อผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ [1] และในกระบวนการผลิตไม้สักสวนป่าแปรรูปนั้น พบว่า การใช้ประโยชน์จากไม้สักยังไม่คุ้มค่า เนื่องจากมีปริมาณเศษไม้เหลือทิ้งที่ไม่สามารถนำมาแปรรูปได้ตามที่ต้องการจากกระบวนการผลิต ทำให้เศษไม้ที่เหลือกลายเป็นของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิต [2] ซึ่งองค์การอุตสาหกรรมป่าไม้ (ออป.) ได้ให้ข้อกำหนดสำหรับไม้สักสวนป่าแปรรูป กล่าวคือ เศษไม้สักสวนป่าแปรรูป คือ เศษไม้แปรรูปที่มีขนาดเล็กที่เหลือจากการตัดแต่ง ซ่อมแซมตามปกติ หรือเศษไม้แปรรูปที่เหลือจากการซ่อมแซมไม้แปรรูปที่มีตำหนิที่ตัด แต่ง ซ่อมแซม ปรับปรุงคุณภาพต่อไม่ได้ และไม่สามารถจัดให้เป็นไม้แปรรูปได้ [3]

ไม้สัก หรือเรียกกันทั่วไปว่า Teak มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Tactona grandis* Linn.f. จัดอยู่ในวงศ์ Family Lamiaceae อันดับ Lamiales ไม้สักเป็นไม้ที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายทั่วโลก เนื่องจากเป็นไม้ที่มีค่าทางเศรษฐกิจสูง เนื้อไม้มีคุณสมบัติเฉพาะ จัดได้ว่าเป็นไม้ที่มีคุณภาพดีที่สุด เป็นไม้ที่มีสีสันและลวดลายธรรมชาติที่งดงามสีของเนื้อไม้จะเป็นสีน้ำตาลทองและมีลวดลาย

สีดำ จัดอยู่ในประเภทเนื้อไม้แข็งปานกลาง มีความหนาแน่น 642-650 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เนื้อของไม้สักค่อนข้างละเอียด มีเส้นตรง น้ำหนักเบา ทำให้ง่ายต่อการเลื่อย ไส ตบแต่ง และชักเงาได้ดี มีการนำไปใช้ประโยชน์มากมายหลายด้าน เช่น งานก่อสร้างหรือโครงสร้างบ้านเรือน หรือเฟอร์นิเจอร์ ประตู หน้าต่าง เติง ผลิตภัณฑ์แกะสลัก อีกประการหนึ่งที่เป็นจุดเด่นของไม้สักคือ เนื้อไม้สักจะมีน้ำมันหรือสารแทรกพิเศษ คือ สารเทคโตควิโนน (Tectoquinone) เป็นองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญที่ทำให้ไม้สักมีความทนทานตามธรรมชาติ มีความทนทานต่อการเข้าทำลายของปลวก มอด แมลง และมีฤทธิ์ต่อเชื้อราทำลายไม้ [4, 5]

กาวโพลียูรีเทน เป็นสารประกอบอินทรีย์ ซึ่งประกอบด้วย ไนโตรเจน คาร์บอน และออกซิเจนเป็นองค์ประกอบหลัก จึงทนรังสีอัลตราไวโอเลตจากแสงอาทิตย์ เป็นโพลีเมอร์ที่มีความหลากหลายมากที่สุด เนื่องจากมีความเหนียว ความหนาแน่นและยืดหยุ่นแต่ไม่หดตัว (Non-shrinking) มีประสิทธิภาพในการยึดติดสูงถูกนำมาใช้เพื่อยึดติดกับพื้นผิววัสดุเกือบทุกชนิดในอุตสาหกรรมก่อสร้าง หรือวัสดุหลายประเภท ทั้งไม้ โลหะ แก้ว ไฟเบอร์กลาสและพลาสติก เหมาะสำหรับงานที่รับแรงสูง โดยเฉพาะโครงสร้างอาคาร โรงงาน ทั้งภายนอกและภายใน มีคุณสมบัติการยึดติดที่แข็งแรง ทนต่ออุณหภูมิสูง มีความทนทานต่อน้ำสูง จึงสามารถใช้สำหรับงานที่ใช้ภายนอกได้ ทนต่อสารเคมีไม่ทำให้เกิดการกัดกร่อน อีกทั้ง สามารถแข็งตัวในอุณหภูมิห้องไม่จำเป็นต้องใช้ความร้อน และใช้เวลาในการแข็งตัวได้อย่างรวดเร็ว ปัจจุบันกาวโพลียูรีเทนได้รับความสำคัญมากขึ้นและถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวาง ถูกนำมาใช้แทนกาวจากปิโตรเคมีเนื่องจากกาวโพลียูรีเทนเกิดจากการสังเคราะห์จากชีวภาพ ทำให้มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย จำหน่ายง่าย ต้นทุนต่ำ และสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ เป็นการลดมลพิษให้น้อยที่สุด และกาวที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม [6, 7, 8]

กาวอิมัลชันโพลีเมอร์ไอโซไซยานาต (Emulsion polymer isocyanate; EPI) ได้รับการพัฒนาขึ้นครั้งแรกในประเทศญี่ปุ่นในช่วงต้นทศวรรษ 1970 และเป็นการพัฒนาการติดไม้ที่ปราศจากสารฟอร์มัลดีไฮด์ (Formaldehyde; CH₂O) จึงได้รับความนิยมและมีการใช้กันอย่างแพร่หลายในทวีปยุโรป สหรัฐอเมริกา และ

เอเชีย ในตลาดอุตสาหกรรมไม้ [9] กาวอีพ็อกซีโพลีเอสเตอร์ไอโซไซยาเนต เป็นระบบกาวไอโซไซยาเนตที่มีการกระจายตัวแบบสององค์ประกอบ (Two part) ประกอบด้วย อีพ็อกซีสูตรน้ำ ซึ่งเป็นโพลีเออร์กลุ่มไฮดรอกซิล เช่น โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA), โพลีไวนิลอะซิเตต (PVAc), เอทิลีนไวนิลแอลกอฮอล์ (EVA), ไวนิลอะซิเตต-อะครีเลตโคพอลิเมอร์โรซ์อีพ็อกซี (VAAC), อะคริลิก-สไตรีนอีพ็อกซี (AcSt) หรือสไตรีนบิวทาไดอีนลาเท็กซ์ (SBR) และไอโซไซยาเนตเป็นสารทำให้แข็ง หรือเป็นสารเร่ง เพื่อทำให้กาวแข็งตัว ซึ่งทำให้กาว EPI มีคุณลักษณะที่โดดเด่น คือ แรงยึดเกาะและทนทานสูง การแข็งตัวที่รวดเร็วแม้อยู่ในอุณหภูมิห้อง ทนความร้อนได้ดี มีความทนทานต่อน้ำและความชื้นได้ดี และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม จึงทำให้กาว EPI เป็นที่สนใจอย่างมากในอุตสาหกรรม การแปรรูปไม้และใช้กันอย่างแพร่หลาย เช่น ประตู หน้าต่าง แผ่นไม้อัด ไม้ปาร์เก้ โครงสร้างอาคาร เสา หรือสะพานไม้ สามารถทนทานต่อสภาพอากาศกลางแจ้งและชื้นได้ดี เหมาะสำหรับไม้ทุกประเภท ทั้งไม้แข็งและไม้อ่อน นอกจากนี้ยังเหมาะสำหรับไม้ที่มีความชื้นสูงอีกด้วย [10, 11, 12]

Glued Laminated Timber (Glulam) ภาษาไทยเรียกว่า โครงสร้างไม้ประกับหรือไม้ประสาน ได้รับการจดสิทธิบัตรครั้งแรกโดย Otto Hetzer วิศวกรชาวเยอรมันในปี ค.ศ. 1906 เป็นผลิตภัณฑ์ไม้ที่ผ่านกระบวนการเทคโนโลยีทางวิศวกรรมขั้นสูง มีกรรมวิธีการผลิตที่เป็นเอกลักษณ์ ซึ่งเกิดจากการนำไม้แปรรูปหลายๆ ชั้น ที่ผ่านการอบไม้ให้มีความชื้นของเนื้อไม้ที่เหมาะสมมา ยึดติดกันสนิทตามยาวหรือแนวเส้นของไม้ด้วยกาวที่มีแรงยึดสูงภายใต้แรงกด เพื่อให้เกิดเป็นไม้ประกอบขนาดใหญ่ จึงทำให้คุณสมบัติของ Glulam มีความหนาแน่นและความแข็งแรงทนทานกว่าผลิตภัณฑ์จากไม้ทั่วไป มีความสามารถด้านแรงดึงและแรงอัดสูง สามารถแปรรูปขึ้นในรูปแบบที่เป็นลักษณะโครงสร้างตรงหรือโค้งได้เกือบทุกรูปแบบ ใช้เป็นวัสดุก่อสร้างในส่วนประกอบของอาคารที่รับน้ำหนักโครงสร้างต่างๆ เช่น คานเสา ไม้พื้น ประตู และบันได แต่มีน้ำหนักเบากว่าวัสดุชนิดอื่นๆ เช่น เหล็ก และคอนกรีต และ Glulam เป็นวัสดุก่อสร้างที่สามารถปรับขนาดได้ตามต้องการ มีขั้นตอนการติดตั้งที่ไม่ยุ่งยากประหยัดเวลาในการติดตั้ง เนื่องจากไม่ต้องผ่านกระบวนการมากเหมือนอุตสาหกรรมก่อสร้างประเภทคอนกรีตเสริมเหล็ก มีคุณสมบัติทนต่อความชื้น ป้องกันและลดการทำลายของปลวกได้ดี เป็นวัสดุก่อสร้างที่เป็นฉนวนกันไฟได้ เนื่องจากในกระบวนการแปรรูปไม้มีกรรมวิธีช่วยยึดอายุการใช้งาน หรือการป้องกันรักษาเนื้อไม้ด้วยน้ำยาต่างๆ ได้อย่างดีเยี่ยม รวมถึงมีคุณสมบัติเฉพาะตัวในการดูดซับคาร์บอนตามธรรมชาติได้ ซึ่งต่างจากอุตสาหกรรมเหล็กและคอนกรีตที่มักจะปล่อยก๊าซคาร์บอนออกสู่ชั้นบรรยากาศ นอกจากนี้ Glulam เป็นผลิตภัณฑ์ก่อสร้างที่คงความงดงามดั้งเดิมของสีและลวดลายจากไม้ อีกทั้งยังเป็นผลิตภัณฑ์ก่อสร้างที่สามารถปลูกทดแทนใหม่ได้ จึงทำให้ Glulam กลายเป็นผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม [13, 14, 15, 16]

ไม้ ถือเป็นหนึ่งทางเลือกที่สำคัญในวัสดุก่อสร้างสถาปัตยกรรมที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากกระบวนการผลิตวัสดุที่มีขั้นตอนไม่ซับซ้อน ใช้พลังงานในการแปรรูปน้อยกว่าวัสดุก่อสร้างอื่น มีจัดการอย่างเหมาะสมในเรื่องของการปลูกและตัดทอน ทำให้ไม้เป็นวัสดุหมุนเวียนทางธรรมชาติ มีความสามารถในการกักเก็บคาร์บอน และเป็นวัสดุก่อสร้างชนิดเดียวที่สามารถนำมารีไซเคิลใช้ประโยชน์ใหม่ได้ ย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ อย่างไรก็ตามการนำไม้มาใช้ในงานอุตสาหกรรมไม้จำเป็นต้องคำนึงถึงคุณสมบัติทางกลศาสตร์ของไม้ที่จะนำมาก่อสร้างเพื่อให้โครงสร้างนั้นมีความปลอดภัยมากที่สุด รวมไปถึงกระบวนการป้องกันและรักษาเนื้อไม้ โดยการควบคุมความชื้นในเนื้อไม้ให้เหมาะสมอยู่ที่ประมาณร้อยละ 12 - 20 สำหรับในประเทศไทยบริเวณพื้นที่เปิดโล่งหรือมีอากาศถ่ายเทได้ดี จะมีอุณหภูมิประมาณ 28 - 29 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 77 - 78 ดังนั้น ปริมาณความชื้นในเนื้อไม้ที่เหมาะสมสำหรับนำไม้แปรรูปในไทยจึงอยู่ที่ ร้อยละ 15 [17]

การศึกษาครั้งนี้เพื่อมุ่งวัตถุประสงค์ การศึกษาการพัฒนาทำ Glued Laminated Timber (Glulam) จากเศษไม้สักสวนป่าที่เหลือจากกระบวนการผลิตไม้แปรรูปของภาคอุตสาหกรรมไม้ที่ไม่สามารถนำมาแปรรูปได้ตามที่ต้องการ จากประกอบกับวัตถุดิบที่เป็นไม้ซุงหรือไม้ท่อนเกิดการขาดแคลนและลดน้อยลงเรื่อยๆ เพื่อเป็นการยกระดับการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า และเพื่อการเพิ่มมูลค่าของเศษไม้สักสวนป่าในการนำไปผลิตเป็น Glulam รวมถึงการศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของ Glulam จากเศษไม้สักสวนป่า โดยใช้เทคโนโลยีมาช่วยในการสร้างงานนวัตกรรมจากเศษไม้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ถือเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง เพื่อให้เกิดประโยชน์ในภาคอุตสาหกรรมไม้ของประเทศไทยและนำไปสู่การพัฒนาที่ยั่งยืนต่อไป

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 อุปกรณ์

2.1.1 เศษไม้สักสวนป่า

เศษไม้สักแปรรูปจากองค์การอุตสาหกรรมป่าไม้จากกระบวนการผลิตไม้สักสวนป่าแปรรูป อายุประมาณ 25-30 ปี โดยมีความยาวประมาณ 300 มิลลิเมตร ความกว้างประมาณ 100 มิลลิเมตร และความหนาขนาด 20 มิลลิเมตร ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 เศษไม้สักสวนป่า

2.1.2 สารเคมี

1. กาวโพลียูรีเทน (Polyurethane adhesives; PU)
2. กาวอีมีลชันโพลีเมอร์ไอโซไซยาเนต (Emulsion polymer isocyanate; EPI)

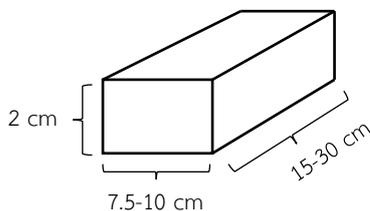
2.1.3 วัสดุและอุปกรณ์

1. โต๊ะเลื่อยอาร์มซอร์ว (Arm saw)
2. โต๊ะเลื่อยไฟฟ้า (Table saw)
3. เครื่องขัดไม้ (Wide belt sanding machine)
4. เครื่องไสไม้ (Planer Machine)
5. เครื่องอัดเย็น (Cold press machine)
6. ปากกาอัดไม้ (T-Bar Clamp)
7. เครื่องทดสอบสากล (Universal testing machine)
8. เครื่องทดสอบแรงเฉือน (Shear Tests Machines)
9. เครื่องต้ม (Boiling machine)

2.2 วิธีการ

2.2.1 วิธีการทำ Glued Laminated Timber (Glulam)

1. เตรียมเศษไม้สักสวนป่าจากกระบวนการผลิตไม้สักสวนป่าแปรรูป อายุประมาณ 25-30 ปี โดยตัดให้ความยาว (Cross section) ขนาด 300 มิลลิเมตร ด้วยโต๊ะเลื่อยอาร์มซอร์ว (Arm saw) ความกว้าง (Radial section) ขนาด 100 มิลลิเมตร และความหนา (Tangential section) ขนาด 20 มิลลิเมตร ดังภาพที่ 2 ด้วยโต๊ะเลื่อยไฟฟ้า (Table saw) ตามมาตรฐาน ASTM Standard D143



ภาพที่ 2 ชิ้นไม้สักสวนป่า

2. นำชิ้นไม้สักทั้งหมด เข้าเครื่องขัดไม้ (Wide belt sanding machine) เพื่อปรับระดับผิวของชิ้นไม้สักให้มีลักษณะเรียบสม่ำเสมอ ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 เครื่องขัดไม้ (Wide belt sanding machine)

3. วัดความชื้นของชิ้นไม้สัก ให้มีค่าความชื้นอยู่ที่ 8 - 15%

4. ใช้เครื่องเป่าลมทำความสะอาดเศษฝุ่นไม้ที่ชิ้นไม้สักให้เรียบร้อย โดยใช้กาวโพลียูรีเทน และกาวอีมีลชันโพลีเมอร์ไอโซไซยาเนต ทากาวที่หัวและท้ายของชิ้นไม้สัก ปริมาณกาวที่ใช้อย่างละ 0.4 กรัม แล้วประสานชิ้นไม้สักในทิศทางตามยาวให้มีความยาวอยู่ที่ 1,000 มิลลิเมตร (1 เมตร) ด้วยปากกาอัดไม้ (T-Bar Clamp) ทิ้งไว้ให้กาวเซ็ตตัวที่สภาวะอุณหภูมิปกติประมาณ 28 - 30 องศาเซลเซียส และมีอากาศถ่ายเทได้ดี เป็นเวลา 30 นาที และนำออกจากปากกาอัดไม้ ทิ้งไว้ที่สภาวะอุณหภูมิปกติ ประมาณ 28 - 30 องศาเซลเซียส และมีอากาศถ่ายเทได้ดี เป็นเวลาอีก 24 ชั่วโมง ดังภาพที่ 4

สูตรในการคำนวณ ปริมาณกาวที่ใช้ตามเอกสารของบริษัทจำหน่ายกาว

$$\frac{\text{พื้นที่ของชิ้นไม้สัก ตารางเมตร}}{\text{พื้นที่ 1 ตารางเมตร}} \times 200 \text{ กรัม (g)} = \text{ปริมาณกาวที่ใช้ กรัม (g)}$$

$$\text{โดย } \frac{(0.02 \times 0.1) \text{ ตารางเมตร}}{1 \text{ ตารางเมตร}} \times 200 \text{ กรัม (g)} = 0.4 \text{ กรัม (g)}$$

เมื่อ ความกว้างชิ้นไม้สัก = 20 มิลลิเมตร (mm)
ความยาวชิ้นไม้สัก = 100 มิลลิเมตร (mm)



ภาพที่ 4 ปากกาอัดไม้ (T-Bar Clamp)

5. เข้าเครื่องไสไม้ (Planer Machine) เพื่อขัดและปรับขนาดแผ่นไม้สักให้มีขนาดความกว้างประมาณ 100 มิลลิเมตร และความหนาประมาณ 20 มิลลิเมตร ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 เครื่องไสไม้ (Planer Machine)

6. นำแผ่นไม้สักที่ต่อประสานตามยาวที่ขัดผิวและปรับขนาดตามขนาดที่ต้องการเสร็จเรียบร้อยแล้ว ใช้เครื่องเป่าลมทำความสะอาดเศษฝุ่นไม้ที่แผ่นไม้สัก แล้วนำมาประกบซ้อนทับกันลักษณะทิศทางตามยาวของไม้ จำนวน 3 ชั้น โดยใช้กาวโพลียูรีเทน และกาวอิมัลชันโพลีเมอร์ไอโซไซยาเนต ปริมาณกาวที่ใช้อยู่ที่ 20 กรัมต่อชั้นด้วยเครื่องอัดเย็น (Cold press machine) ที่กำลังแรงอัด 10 โกลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เวลา 30 นาที ดังภาพที่ 6-7 จากนั้นนำ Glued Laminated Timber ออกจากเครื่องอัดเย็นทิ้งไว้ให้กาวเซตตัวที่สภาวะอุณหภูมิปกติ ประมาณ 28 - 30 องศาเซลเซียส และมีอากาศถ่ายเทได้ดี เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ดังภาพที่ 8

สูตรในการคำนวณ ปริมาณกาวที่ใช้ตามเอกสารของบริษัทจำหน่ายกาว

$$\frac{\text{พื้นที่ของชั้นไม้สัก ตารางเมตร}}{\text{พื้นที่ 1 ตารางเมตร}} \times 200 \text{ กรัม (g)} = \text{ปริมาณกาวที่ใช้ กรัม (g)}$$

โดย $\frac{(0.1 \times 1) \text{ ตารางเมตร}}{1 \text{ ตารางเมตร}} \times 200 \text{ กรัม (g)} = 0.4 \text{ กรัม (g)}$

เมื่อ ความกว้างชั้นไม้สัก = 100 มิลลิเมตร (mm)
ความยาวชั้นไม้สัก = 1,000 มิลลิเมตร (mm)



ภาพที่ 6 เครื่องอัดเย็น (Cold press machine)



ภาพที่ 7 Glued Laminated Timber (Glulam) จากเศษไม้สักสวนป่า ที่ใช้กาวโพลียูรีเทน (PU) และกาวอิมัลชันโพลีเมอร์ไอโซไซยาเนต (EPI)



ภาพที่ 8 Glued Laminated Timber (Glulam)

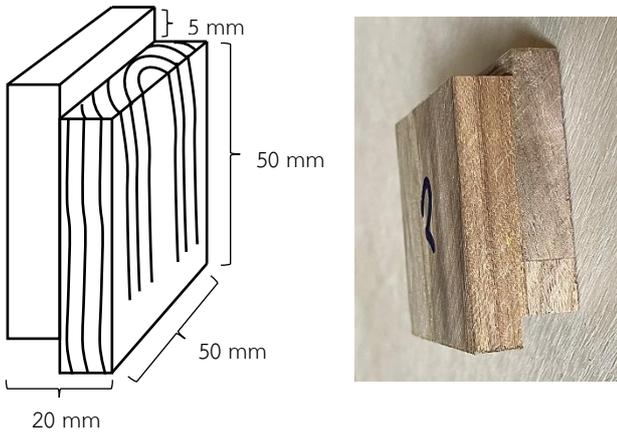
2.2.2 วิธีการทดสอบ

เตรียม Glued Laminated Timber (Glulam) ตัดชิ้นไม้ทดสอบแบบสุ่มจำนวน 3 ชั้น รวมทั้งสิ้น 18 ชิ้น และ 4 วิธีการทดสอบ โดยวิธีการทดสอบตามมาตรฐาน ISO/TR 19623:2019 และมาตรฐาน EN 204:2001 ภายในห้องควบคุมอุณหภูมิ 20±2 องศาเซลเซียส ดังตารางที่ 1

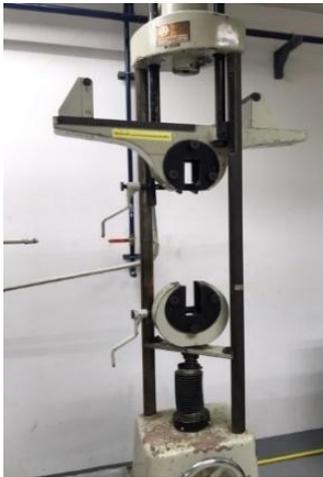
ตารางที่ 1 วิธีทดสอบและจำนวนตัวอย่างชิ้นไม้ทดสอบ

TEST	TREATMENT (Sample)	
	Polyurethane adhesives (PU)	Emulsion polymer isocyanate (EPI)
Shear tests	3	3
MOR and MOE tests	3	3
Adhesive tests	3	3
Total	18	

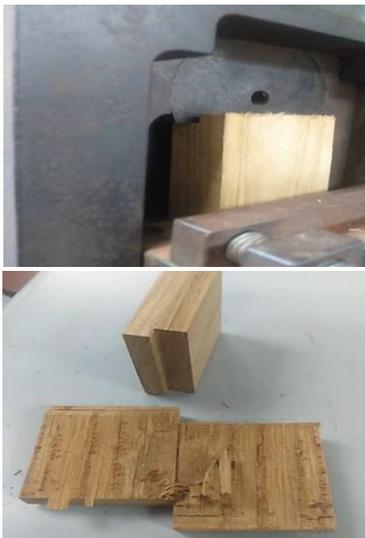
2.2.2.1. การทดสอบแรงเฉือน (Shear tests) ซึ่งแสดงความสามารถของไม้ในการต้านทานแรงที่จะทำให้ส่วนของหน้าตัดไม้ที่อยู่ในระนาบเดียวกับแนวแรงเลื่อนออกจากกัน ด้วยเครื่องทดสอบแรงเฉือน (Shear Tests Machines) และต้องอยู่ในห้องควบคุมอุณหภูมิ 20±2 องศาเซลเซียส ตามมาตรฐาน ISO/TR 19623:2019 ดังภาพที่ 9-11



ภาพที่ 9 ตัวอย่างชิ้นไม้ทดสอบเพื่อทดสอบแรงเฉือน (Shear tests)



ภาพที่ 10 เครื่องทดสอบแรงเฉือน (Shear Tests Machines)



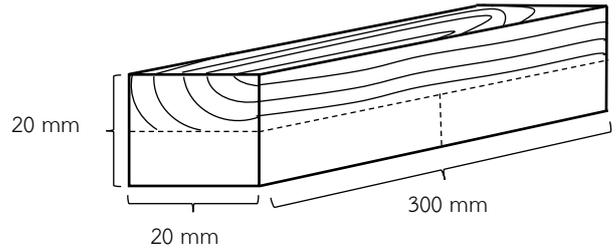
ภาพที่ 11 การเสียรูปหลังจากทดสอบแรงเฉือน (Shear tests)

2.2.2.2 การทดสอบความต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่น

1. ความต้านแรงดัด (Modulus of Rupture หรือ MOR) ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการต้านการแตกหัก หรือความ

แข็งแรง (Strength) ของไม้ โดยนำชิ้นไม้ทดสอบเข้าเครื่องทดสอบสากล (Universal testing machine) และต้องอยู่ในห้องควบคุมอุณหภูมิ 20 ± 2 องศาเซลเซียส ตามมาตรฐาน ISO/TR 19623:2019 ดังภาพที่ 12-14

2. มอดุลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity หรือ MOE) ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการต้านการโก่ง หรือความแข็งตึง (Stiffness) ของไม้ โดยนำชิ้นไม้ทดสอบเข้าเครื่องทดสอบสากล (Universal testing machine) และต้องอยู่ในห้องควบคุมอุณหภูมิ 20 ± 2 องศาเซลเซียส ตามมาตรฐาน ISO/TR 19623:2019 ดังภาพที่ 12-14



ภาพที่ 12 ตัวอย่างชิ้นไม้ทดสอบเพื่อทดสอบความต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่น



ภาพที่ 13 เครื่องทดสอบสากล (Universal testing machine)



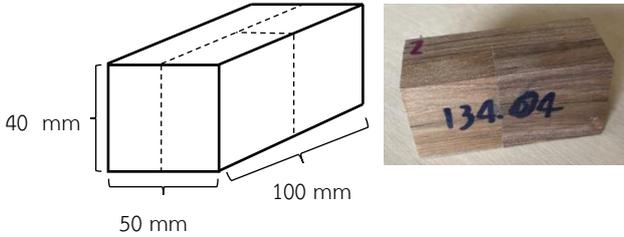
ภาพที่ 14 การเสียรูปหลังจากทดสอบความต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่น

2.2.2.3 การทดสอบการติดของกาว (Adhesive tests)

ซึ่งแสดงประสิทธิภาพในการยึดติดของกาววัสดุ ทำการทดสอบโดยนำชิ้นไม้ทดสอบที่อยู่ในสภาวะอุณหภูมิปกติเป็นเวลา 7 วันหลังจากแปรรูปเสร็จแล้ว ภายที่ 15 จากนั้นนำไปต้มในน้ำร้อน อุณหภูมิอยู่ที่ 100±3 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ดังภาพที่ 16 ต่อมานำไปแช่น้ำที่อุณหภูมิห้อง อุณหภูมิอยู่ที่ 23±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ดังภาพที่ 17 และนำชิ้นไม้ทดสอบขึ้นมาเพื่อสังเกตผล ตามมาตรฐาน EN 204:2001 ดังภาพที่ 18



ภาพที่ 17 ตัวอย่างชิ้นไม้ทดสอบแช่ในน้ำอุณหภูมิอยู่ที่ 23±2 °C.



ภาพที่ 15 ตัวอย่างชิ้นไม้ทดสอบเพื่อทดสอบการติดของกาว



ภาพที่ 16 ตัวอย่างชิ้นไม้ทดสอบต้มในน้ำร้อน อุณหภูมิอยู่ที่ 100±3 °C.



ภาพที่ 18 ลักษณะชิ้นไม้สักสวนป่าหลังจากทดสอบการติดของกาว

3. ผลการวิจัย

3.1 การทดสอบแรงเฉือน (Shear tests)

ผลการทดสอบแรงเฉือน (Shear tests) ของ Glued Laminated Timber (Glulam) จากเศษไม้สักสวนป่า เพื่อแสดงความสามารถของไม้ในการต้านทานแรงที่จะทำให้ส่วนของหน้าตัดไม้ที่อยู่ในระนาบเดียวกับแนวแรงเลื่อนออกจากกัน โดยแบ่งการทดสอบเป็น 2 กลุ่ม คือ Glued Laminated Timber (Glulam) จากเศษไม้สักสวนป่าที่ใช้กาวโพลียูรีเทน (Polyurethane Adhesives; PU) และ Glued Laminated Timber (Glulam) จากเศษไม้สักสวนป่าที่ใช้กาวอีพ็อกซีโพลีเมอร์ไอโซไซยาเนต (Emulsion polymer isocyanate; EPI) ตามมาตรฐาน ISO/TR 19623:2019 ดังตารางที่

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบแรงเฉือนของ Glued Laminated Timber (Glulam) จากเศษไม้สักสวนป่าที่ใช้กาวโพลียูรีเทน (PU) และกาวอีพ็อกซีโพลีเมอร์ไอโซไซยาเนต (EPI)

Condition	Sample No.	Size (mm.)		F _{max} (N)	Shear tests (MPa)	Average
		Width	Length			
Glulam using Polyurethane Adhesives (PU)	1	48.26	44.68	1720	7.82	7.94
	2	48.78	43.96	1510	6.90	
	3	49.48	46.50	2140	9.19	
Glulam using Emulsion polymer isocyanate (EPI)	1	49.48	41.46	1540	7.36	8.12
	2	49.16	45.24	2150	9.47	
	3	49.62	42.26	1610	7.52	

F_{max} = แรงกดสูงสุดที่วัดได้ หน่วยเป็น นิวตัน (N)

จาก ตารางที่ 2 ผลการทดสอบแรงเฉือน (Shear tests) ของ Glued Laminated Timber (Glulam) จากเศษไม้สักสวนป่าที่ใช้กาวโพลียูรีเทน (Polyurethane Adhesives; PU) พบว่า ค่าทดสอบแรงเฉือน มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 7.94 MPa และ Glulam จากเศษไม้สักสวนป่าที่ใช้กาวอีพ็อกซีโพลีเมอร์ไอโซไซยาเนต (Emulsion polymer isocyanate; EPI) พบว่า ค่าทดสอบแรงเฉือน มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 8.12 MPa

จากการเปรียบเทียบผลการทดสอบแรงเฉือน (Shear tests) ระหว่าง Glued Laminated Timber (Glulam) จากเศษไม้สักสวนป่าที่ใช้กาวโพลียูรีเทน (Polyurethane Adhesives; PU) และ Glulam จากเศษไม้สักสวนป่าที่ใช้กาวอีพ็อกซีโพลีเมอร์ไอโซไซยาเนต (Emulsion polymer isocyanate; EPI) พบว่า Glulam จากเศษไม้สักสวนป่าที่ใช้กาวอีพ็อกซีโพลีเมอร์ไอโซไซยาเนต (Emulsion polymer isocyanate; EPI) มีค่าการทดสอบแรงเฉือน (Shear tests) มากกว่าหรือมีความสามารถในการต้านทานแรงที่จะทำให้อ่อนของหน้าตัดไม้ที่อยู่ในระนาบเดียวกับแนวแรงเฉือนออกจากกันได้มากกว่า Glulam จากเศษไม้สักสวนป่าที่ใช้กาวโพลียูรีเทน (Polyurethane Adhesives; PU) และ ลักษณะความเสียหาย (Failure) ที่เกิดขึ้นของ Glulam ทั้ง 2 ชนิด โดยการยึดติดของกาวทำให้เนื้อไม้ฉีกติดมากับกาวเฉลี่ย

ประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ซึ่งไม้ทดสอบที่ถูกกาวติดเนื้อไม้ ทั้งนี้ ผลการทดสอบของกาวทั้ง 2 ชนิด ผ่านค่าการทดสอบตามมาตรฐาน ISO/TR 19623:2019

3.2 การทดสอบความต้านแรงดัด (Modulus of Rupture หรือ MOR) และมอดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity หรือ MOE)

ผลการทดสอบความต้านแรงดัด (Modulus of Rupture หรือ MOR) ของ Glued Laminated Timber (Glulam) จากเศษไม้สักสวนป่า เพื่อแสดงถึงความสามารถในการต้านการแตกหัก หรือความแข็งแรง (Strength) ของไม้ และผลการทดสอบมอดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity หรือ MOE) ของ Glued Laminated Timber (Glulam) จากเศษไม้สักสวนป่า เพื่อแสดงถึงความสามารถในการต้านการโก่ง หรือความแข็งตึง (Stiffness) โดยแบ่งการทดสอบเป็น 2 กลุ่ม คือ Glued Laminated Timber (Glulam) จากเศษไม้สักสวนป่าที่ใช้กาวโพลียูรีเทน (Polyurethane Adhesives; PU) และ Glued Laminated Timber (Glulam) จากเศษไม้สักสวนป่าที่ใช้กาวอีพ็อกซีโพลีเมอร์ไอโซไซยาเนต (Emulsion polymer isocyanate; EPI) ตามมาตรฐาน ISO/TR 19623:2019 ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบความต้านแรงดัด (MOR) และมอดูลัสยืดหยุ่น (MOE) ของ Glued Laminated Timber (Glulam) จากเศษไม้สักสวนป่าที่ใช้กาวโพลียูรีเทน (PU) และกาวอีพ็อกซีโพลีเมอร์ไอโซไซยาเนต (EPI)

Condition	Sample No.	Size (mm.)			F _{max} (kN)	MOR (MPa)	Average	MOE (MPa)	Average
		Width	Thickness	Length					
Glulam using Polyurethane Adhesives (PU)	1	20.34	20.30	284.20	1.26	64.34	53.03	9947.31	9476.41
	2	20.40	20.54	287.56	0.84	42.10		8271.47	
	3	20.46	20.54	287.56	1.05	52.66		10270.44	
Glulam using Emulsion polymer isocyanate (EPI)	1	20.36	20.64	288.96	1.29	64.63	64.44	10587.63	9659.61
	2	20.22	20.40	285.80	1.45	73.82		9428.88	
	3	20.40	20.34	284.76	1.08	54.86		8962.32	

F_{max} = แรงกดสูงสุดที่วัดได้ หน่วยเป็น กิโลนิวตัน (kN)

จาก ตารางที่ 3 ผลการทดสอบความต้านแรงดัด (Modulus of Rupture หรือ MOR) และมอดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity หรือ MOE) ของ Glued Laminated Timber (Glulam) จากเศษไม้สักสวนป่าที่ใช้กาวโพลียูรีเทน (Polyurethane Adhesives; PU) พบว่า ค่าการทดสอบความต้านแรงดัด (Modulus of Rupture หรือ MOR) มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 53.03 MPa และค่าการทดสอบมอดูลัส

ยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity หรือ MOE) มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 9476.41 MPa

ผลการทดสอบความต้านแรงดัด (Modulus of Rupture หรือ MOR) และมอดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity หรือ MOE) ของ Glued Laminated Timber (Glulam) จากเศษไม้สักสวนป่าที่ใช้กาวอีพ็อกซีโพลีเมอร์ไอโซไซยาเนต (Emulsion polymer isocyanate; EPI) พบว่า ค่าการทดสอบความต้านแรงดัด (Modulus of Rupture หรือ MOR) มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 64.44 MPa และค่าการทดสอบ

มอดุลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity หรือ MOE) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 9659.61 MPa

จากการเปรียบเทียบผลการทดสอบความต้านแรงดัด (Modulus of Rupture หรือ MOR) และมอดุลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity หรือ MOE) ระหว่าง Glued Laminated Timber (Glulam) จากเศษไม้สักสวนป่าที่ใช้กาวโพลียูรีเทน (Polyurethane Adhesives; PU) และ Glulam จากเศษไม้สักสวนป่าที่ใช้กาวอิมัลชันโพลีเมอร์ไอโซไซยาเนต (Emulsion polymer isocyanate; EPI) พบว่า Glulam จากเศษไม้สักสวนป่าที่ใช้กาวอิมัลชันโพลีเมอร์ไอโซไซยาเนต (Emulsion polymer isocyanate; EPI) มีค่าการทดสอบความต้านแรงดัด (Modulus of Rupture หรือ MOR) หรือมีความสามารถในการต้านการแตกหัก (ความแข็งแรง) มากกว่า Glulam จากเศษไม้สักสวนป่าที่ใช้กาวโพลียูรีเทน (Polyurethane Adhesives; PU) และค่าการทดสอบมอดุลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity หรือ MOE) หรือมีความสามารถในการ

การต้านการโค้ง (ความแข็งตึง) ของ Glulam จากเศษไม้สักสวนป่าที่ใช้กาวโพลียูรีเทน (Polyurethane Adhesives; PU) มากกว่า Glulam จากเศษไม้สักสวนป่าที่ใช้กาวอิมัลชันโพลีเมอร์ไอโซไซยาเนต (Emulsion polymer isocyanate; EPI) ทั้งนี้ ผลการทดสอบของกาวทั้ง 2 ชนิด ผ่านค่าการทดสอบตามมาตรฐาน ISO/TR 19623:2019

3.3 การทดสอบการติดของกาว (Adhesive tests)

ผลการทดสอบการติดของกาว เพื่อแสดงประสิทธิภาพในการยึดติดของกาวกับวัสดุ โดยแบ่งการทดสอบเป็น 2 กลุ่ม คือ Glued Laminated Timber (Glulam) จากเศษไม้สักสวนป่าที่ใช้กาวโพลียูรีเทน (Polyurethane Adhesives; PU) และ Glued Laminated Timber (Glulam) จากเศษไม้สักสวนป่าที่ใช้กาวอิมัลชันโพลีเมอร์ไอโซไซยาเนต (Emulsion polymer isocyanate; EPI) ตามมาตรฐาน EN 204:2001 ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบการติดของกาวของ Glued Laminated Timber (Glulam) จากเศษไม้สักสวนป่าที่ใช้กาวโพลียูรีเทน (PU) และกาวอิมัลชันโพลีเมอร์ไอโซไซยาเนต (EPI)

Condition	Sample No.	Size (mm.)			Adhesive tests
		Width	Thickness	Length	
Glulam using Polyurethane Adhesives (PU)	1	49.56	38.76	95.36	ไม่หลุด
	2	49.06	39.00	97.14	ไม่หลุด
	3	49.70	39.02	98.90	ไม่หลุด
Glulam using Emulsion polymer isocyanate (EPI)	1	48.86	39.84	96.48	ไม่หลุด
	2	49.46	39.74	95.96	ไม่หลุด
	3	49.38	39.48	97.08	ไม่หลุด

จาก ตารางที่ 4 ผลการทดสอบการติดของกาวของ Glued Laminated Timber (Glulam) จากเศษไม้สักสวนป่าที่ใช้กาวอิมัลชันโพลีเมอร์ไอโซไซยาเนต (Emulsion polymer isocyanate; EPI) พบว่า Glulam ไม่มีการเปลี่ยนแปลงสภาพไปจากเดิม และชั้นไม้กับชั้นกาวไม่แยกหลุดออกจากกัน

จากการเปรียบเทียบผลการทดสอบการติดของกาวระหว่าง Glued Laminated Timber (Glulam) จากเศษไม้สักสวนป่าที่ใช้กาวโพลียูรีเทน (Polyurethane Adhesives; PU) และ Glulam จากเศษไม้สักสวนป่าที่ใช้กาวอิมัลชันโพลีเมอร์ไอโซไซยาเนต (Emulsion polymer isocyanate; EPI) พบว่า Glulam ทั้ง 2 วิธีการ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงสภาพไปจากเดิม และชั้นไม้กับชั้นกาวไม่แยกหลุดออกจากกัน แสดงว่า กาวทั้ง 2 ชนิด มีประสิทธิภาพในการยึดติดของกาวและไม่สำหรับกระบวนการผลิต Glulam ได้เป็นอย่างดี

3.4 ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของ Glued Laminated Timber (Glulam) จากเศษไม้สักสวนป่า

ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของ Glued Laminated Timber (Glulam) จากเศษไม้สักสวนป่า ตามมาตรฐาน ISO/TR

19623:2019 เพื่อแสดง ที่จะนำมาใช้ประโยชน์ โดยมีการทดสอบ 3 วิธีการ คือ การทดสอบแรงเฉือน (Shear tests) การทดสอบความต้านแรงดัด (Modulus of Rupture หรือ MOR) มอดุลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity หรือ MOE) ดังตารางที่ 5

จาก ตารางที่ 5 การทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของ Glued Laminated Timber (Glulam) จากเศษไม้สักสวนป่า พบว่า

ค่าแรงเฉือน (Shear tests) ของ Glued Laminated Timber (Glulam) จากเศษไม้สักสวนป่าที่ใช้กาวอิมัลชันโพลีเมอร์ไอโซไซยาเนต (Emulsion polymer isocyanate; EPI) มีค่าแรงเฉือนสูงกว่า Glued Laminated Timber (Glulam) จากเศษไม้สักสวนป่าที่ใช้กาวโพลียูรีเทน (Polyurethane Adhesives; PU) และค่าแรงเฉือนของ Glulam ที่ใช้ กาวทั้ง 2 ชนิด เป็นไปตามมาตรฐาน ISO/TR 19623:2019 ทำให้มีความสามารถในการต้านทานแรงดัดที่ดีที่จะทำให้ ส่วนของหน้าตัดไม้และกาวที่อยู่ในระนาบเดียวกับแนวแรงเฉือนออกจากกัน หรือทนต่อการรับภาระงานที่เป็นแรงเฉือนในการใช้งานที่เกิดขึ้น

ค่าความต้านแรงดัด (Modulus of Rupture หรือ MOR) ของ Glued Laminated Timber (Glulam) จากเศษไม้สักสวนป่าที่ใช้กาวอีพอลิเมอร์ไอโซไซยาเนต (Emulsion polymer isocyanate; EPI) มีค่าความต้านแรงดัดสูงกว่า Glued Laminated Timber (Glulam) จากเศษไม้สักสวนป่าที่ใช้กาวโพลียูรีเทน (Polyurethane Adhesives; PU) และค่าความต้านแรงดัดของ Glulam ที่ใช้กาวทั้ง 2 ชนิด เป็นไปตามมาตรฐาน ISO/TR 19623:2019 ทำให้มีความสามารถในการต้านการแตกหักได้ดี และมีความแข็งแรง (Strength) ของไม้ในการนำไปใช้ประโยชน์

ค่ามอดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity หรือ MOE) ของ Glued Laminated Timber (Glulam) จากเศษไม้สักสวนป่าที่ใช้กาวอีพอลิเมอร์ไอโซไซยาเนต (Emulsion polymer isocyanate; EPI) มีค่ามอดูลัสยืดหยุ่นสูงกว่า Glued Laminated Timber (Glulam) จากเศษไม้สักสวนป่าที่ใช้กาวโพลียูรีเทน (Polyurethane Adhesives; PU) และค่ามอดูลัสยืดหยุ่นของ Glulam ที่ใช้กาวทั้ง 2 ชนิด เป็นไปตามมาตรฐาน ISO/TR 19623:2019 ทำให้มีความสามารถในการต้านการโก่ง หรือ

ความแข็งดิ่งได้ดี เนื่องจากคุณสมบัติของกาว EPI มีความหนาแน่นทนทานสูง และมีความเหนียวให้การยืดหยุ่นได้ดีไม่หดตัว (Non-shrinking)

ผลการทดสอบการติดของกาว ของ Glued Laminated Timber (Glulam) จากเศษไม้สักสวนป่าที่ใช้กาวอีพอลิเมอร์ไอโซไซยาเนต (Emulsion polymer isocyanate; EPI) พบว่า Glulam ไม่มีการเปลี่ยนแปลงสภาพไปจากเดิม และชั้นไม้กับชั้นกาวไม่แยกหลุดออกจากกัน แสดงว่า กาวทั้ง 2 ชนิดมีประสิทธิภาพในการยึดติดของกาวและไม้สำหรับกระบวนการผลิต Glulam ได้เป็นอย่างดี เป็นไปตามมาตรฐาน EN 204:2001 โดยมีระดับความทนทานอยู่ที่ D4 คือ สำหรับใช้งานภายในอาคารที่ต้องสัมผัสกับน้ำหรือสามารถถูกน้ำได้เป็นระยะเวลานานและบ่อยครั้ง ส่วนในการใช้งานภายนอกอาคารสามารถอยู่ในสภาพอากาศภายนอกได้ แต่ควรได้รับการป้องกันด้วยการเคลือบพื้นผิวไม้ที่เพียงพอด้วย

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของ Glued Laminated Timber (Glulam) จากเศษไม้สักสวนป่าตามมาตรฐาน ISO/TR 19623:2019 และมาตรฐาน EN 204:2001

Properties	Standard	Glulam strength class	Condition	
			Glulam using PU	Glulam using EPI
Shear tests (MPa)	ISO/TR 19623:2019	≥ 3.5	7.94	8.12
Modulus of Rupture; MOR (MPa)		≥ 20	53.03	64.44
Modulus of Elasticity; MOE (MPa)		≥ 8,600	9,476.41	9,659.61
Adhesive tests	EN 204:2001	D4	ไม่หลุด	ไม่หลุด

4. สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

การศึกษาการพัฒนาทำ Glued Laminated Timber (Glulam) จากเศษไม้สักสวนป่า แสดงให้เห็นว่า เศษไม้สักสวนป่าสามารถนำไปสู่การพัฒนาไปใช้ประโยชน์ผลิตเป็น Glulam ได้ โดยการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของ Glued Laminated Timber (Glulam) จากเศษไม้สักสวนป่า 4 วิธีการทดสอบ พบว่า ค่าแรงเฉือน (Shear tests) ที่ใช้กาวอีพอลิเมอร์ไอโซไซยาเนต (Emulsion polymer isocyanate; EPI) และกาวโพลียูรีเทน (Polyurethane Adhesives; PU) มีค่า 8.12 และ 7.94 ตามลำดับ ค่าความต้านแรงดัด (Modulus of Rupture หรือ MOR) ที่ใช้กาวอีพอลิเมอร์ไอโซไซยาเนต (Emulsion polymer isocyanate; EPI) และกาวโพลียูรีเทน (Polyurethane Adhesives; PU) มีค่า 64.44 และ 53.03 ตามลำดับ ค่ามอดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity หรือ MOE) ใช้กาวอีพอลิเมอร์ไอโซไซยาเนต (Emulsion polymer isocyanate; EPI) และกาวโพลียูรีเทน (Polyurethane Adhesives; PU) มีค่า 9,659.61 และ 9,476.41 ตามลำดับ ซึ่งผลการทดสอบทั้ง 3 วิธีการทดสอบ เป็นไปตามมาตรฐาน ISO/TR 19623:2019 และการทดสอบการติดของกาวที่ใช้กาวอีพอลิเมอร์ไอโซไซยาเนต (Emulsion polymer isocyanate; EPI) และกาวโพลียูรีเทน (Polyurethane Adhesives; PU) พบว่า Glulam ไม่มีการเปลี่ยนแปลงสภาพไปจากเดิม และชั้นไม้กับชั้นกาวไม่แยกหลุดออกจากกัน ซึ่งผลการทดสอบ เป็นไปตามมาตรฐาน EN 204:2001 เป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับเศษไม้สักสวนป่าจากกระบวนการผลิตไม้สักแปรรูปที่เหลือทิ้งจากการตัดความยาวส่วนเกิน หรือไม้ที่มีตำหนิของไม้สักแปรรูปและการนำไปใช้ประโยชน์ทางด้านอุตสาหกรรมไม้โดยเฉพาะสำหรับงานโครงสร้างต่างๆ ในการรับแรง เพื่อยกระดับการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า รวมไปถึงสามารถการนำผลวิจัยไปประยุกต์

เมอร์ไอโซไซยาเนต (Emulsion polymer isocyanate; EPI) และกาวโพลียูรีเทน (Polyurethane Adhesives; PU) มีค่า 9,659.61 และ 9,476.41 ตามลำดับ ซึ่งผลการทดสอบทั้ง 3 วิธีการทดสอบ เป็นไปตามมาตรฐาน ISO/TR 19623:2019 และการทดสอบการติดของกาวที่ใช้กาวอีพอลิเมอร์ไอโซไซยาเนต (Emulsion polymer isocyanate; EPI) และกาวโพลียูรีเทน (Polyurethane Adhesives; PU) พบว่า Glulam ไม่มีการเปลี่ยนแปลงสภาพไปจากเดิม และชั้นไม้กับชั้นกาวไม่แยกหลุดออกจากกัน ซึ่งผลการทดสอบ เป็นไปตามมาตรฐาน EN 204:2001 เป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับเศษไม้สักสวนป่าจากกระบวนการผลิตไม้สักแปรรูปที่เหลือทิ้งจากการตัดความยาวส่วนเกิน หรือไม้ที่มีตำหนิของไม้สักแปรรูปและการนำไปใช้ประโยชน์ทางด้านอุตสาหกรรมไม้โดยเฉพาะสำหรับงานโครงสร้างต่างๆ ในการรับแรง เพื่อยกระดับการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า รวมไปถึงสามารถการนำผลวิจัยไปประยุกต์

ปรับปรุงผลิตภัณฑ์ไม้ หรือมาประกอบการพิจารณาเลือกวัสดุที่เหมาะสมในการผลิต Glulam ต่อไป

ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

1. การนำเศษไม้ สักสวนป่าที่เหลือจากองค์การอุตสาหกรรมป่าไม้ของกระบวนการผลิตไม้สักสวนป่าแปรรูป มาพัฒนาไปใช้ประโยชน์ผลิตเป็น Glulam ได้ เป็นการเพิ่มมูลค่าและใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า สามารถนำงานวิจัยไปประยุกต์และพัฒนาผลิตภัณฑ์ไม้ประเภทอื่นที่มีความเหมาะสมและเกิดประโยชน์ต่อไปได้ แต่มีข้อจำกัดในคุณภาพและความแข็งแรงของเศษไม้สักที่ต่ำกว่าไม้สักแปรรูปทั่วไป

2. การทดสอบคุณสมบัติเชิงกล Glulam จากเศษไม้สักสวนป่า เพื่อทดสอบความแข็งแรง ความทนทาน และความเหมาะสมในนำไปใช้ประโยชน์ โดยผลการทดสอบผ่านค่ามาตรฐาน ISO/TR 19623:2019 และ EN 204:2001 สามารถนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ทางด้านอุตสาหกรรมแปรรูปไม้ได้เป็นอย่างดี

3. การเลือกนำมาใช้ในกระบวนการผลิต Glulam สามารถมาประกอบการพิจารณาเลือกวัสดุที่เหมาะสมในการผลิต Glulam หรือไม้ประเภทอื่นต่อไปได้

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยในครั้งต่อไป

การศึกษาต่อเกี่ยวกับความต้องการในตลาดของ Glulam รวมไปถึงต้นทุนการผลิต หรือเพิ่มเติมการเปรียบเทียบ Glulam จากเศษไม้ชนิดอื่น เพื่อเปรียบเทียบความแข็งแรง ความคุ้มค่า และความเหมาะสมในแง่ของการใช้ประโยชน์จากเศษไม้ให้สูงสุดต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะวนศาสตร์ (ภาควิชาวนผลิตภัณฑ์) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สนับสนุนเครื่องมือในการดำเนินการวิจัย

6. อ้างอิง

- [1] กันตพงศ์ เครือมา. การเจริญเติบโต ผลผลิต และความหลากหลายของชนิดไม้ต้นของสวนป่าไม้สักภายใต้อายุที่ต่างกันบริเวณสวนป่าขุนแม่คำมี จังหวัดแพร่ [วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการป่าไม้]. มหาวิทยาลัยแม่โจ้; 2564.
- [2] Chanpor Yiachongthor. การเพิ่มมูลค่าซีลี้อยไม้สักจากโรงเลื่อยในเมืองเชียงใหม่ แขวงหลวงพระบาง เป็นแผ่นปาร์ติเกิลเพื่อการผลิตเป็นเฟอร์นิเจอร์. [วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม]. มหาวิทยาลัยแม่โจ้; 2564.
- [3] องค์การอุตสาหกรรมป่าไม้. หลักเกณฑ์การจำหน่ายไม้สักสวนป่าแปรรูปองค์การอุตสาหกรรมป่าไม้ พ.ศ. 2563. [อินเทอร์เน็ต]. 2563. [สืบค้นเมื่อวันที่ 7 สิงหาคม 2567]. จาก <http://www.fio.co.th/fioWebdoc63/P630113-1.pdf>.

- [4] กรมป่าไม้. องค์ความรู้ไม้สักไทย. [อินเทอร์เน็ต]. 2556. [สืบค้นเมื่อวันที่ 5 กุมภาพันธ์ 2566]. จาก <http://forprod.forest.go.th/forprod/KM/PDF/teak.pdf>.
- [5] ทรรศนีย์ พัฒนเสรี. 2015. เทคโนโลยีโนนและลาปาคอลในไม้สักจากสวนป่าจังหวัดลพบุรี กาญจนบุรีและ สุโขทัย. [อินเทอร์เน็ต]. 2558. [สืบค้นเมื่อวันที่ 19 มกราคม 2567]. จาก http://forprod.forest.go.th/forprod/frsresearch/research_file_folder/Full_PDF_t1453694564.pdf.
- [6] Mishra D and Sinha VK. Eco-economical polyurethane wood adhesives from cellulosic waste: Synthesis, characterization and adhesion study. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 2010;30(1):47-54.
- [7] Gadhave RV, Mahanwar PA and Gadekar PT. Bio-Renewable Sources for Synthesis of Eco-Friendly Polyurethane Adhesives — Review. *Polymer Chemistry*, 2017;7(4):57-75.
- [8] Worabhorn Pathanatecha. A Study of Various Parameters Affecting Adhesion of Coatings to Metal Substrates. [Master's thesis, Department of Fibre and Polymer Technology]. KTH Royal Institute of Technology; 2019.
- [9] Grøstad K and Pedersen A. Emulsion Polymer Isocyanates as Wood Adhesive: A Review. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 2010;24(8-10):235-236.
- [10] Mills C. Determining the Resistance to Delamination of Wood Adhesives using a Vacuum Pressure Impregnation Method. [Bachelor's Thesis, Department of Laboratory Science] Tampere University of Applied Sciences; 2013.
- [11] Guo J, Hu H, Kefeng Z, et al. Revealing the Mechanical Properties of Emulsion Polymer Isocyanate Film in Humid Environments. *Polymers* 2018, 2018;10(652):1-3.
- [12] Özparpucu M, Sánchez-Ferrer A, Schuh M, et al. Acidic wood extractives accelerate the curing process of emulsion polymer isocyanate adhesives. *Applied Polymer Science*, 2022; 139(21):2.
- [13] Muraleedharan A and Reiterer SM. Combined glued laminated timber using hardwood and softwood lamellas. [Master's thesis, Faculty of Technology] Linnaeus University; 2016.
- [14] Hayder A, Haider A. and Haider Al-T. Experimental and theoretical investigation of the structural behavior of reinforced glulam wooden members by NSM steel bars and shear reinforcement CFRP sheet. [Internet]. 2023. [cited 2024 April 8]. Available from: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2505091/v1>.

- [15] Jacob J. Flexural Strengthening of Glued Laminated Timber Beams with Steel and Carbon Fiber Reinforced Polymers. [Master's thesis, Faculty of Structural Engineering] Chalmers university of technology; 2007
- [16] อาดีล นียมเดชา, นันทชัย ชูศิลป์ และจรูญ เจริญเนตรกุล. พฤติกรรมการวิบัติของคานไม้ยางพาราประกอบติดกาวยเสริมกำลังด้วยเส้นใยพอลิเมอร์. การประชุมวิชาการระดับชาติสหวิทยาการเอเชียอาคเนย์ 2563 ครั้งที่ 7; วันที่ 29-30 พฤษภาคม 2563; มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์. กรุงเทพฯ: 2563; น.3.
- [17] วุฒิพงศ์ ลิ้มปิศิลป์. การศึกษาการประยุกต์ใช้เศษไม้จากการแปรรูปกับสถาปัตยกรรมที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม. [วิทยานิพนธ์สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม]. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์; 2562.