

คานไม้ประสานจากไม้สะเดาและไม้สะเดาเทียม
GLUE LAMINATED WOOD GIRDER FROM NEEM AND
AZADIRACHTA EXCELSA JACK JACOBS

สุภาวดี บุญยฉัตร
Supawadee Boonyachut

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
School of Architecture and Design, King Mongkut's University of Technology Thonburi

สัจจา บุญยฉัตร
Sutja Boonyachut

วินัย อวยพรประเสริฐ
Winai Ouypornprasert

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต
Faculty of Engineering, Rangsit University

สุชาติ ไทยเพชร
Suchart Thaipet

จารุณี วงศ์ข้าหลวง
Charunee Vongkaluang

สุวรรณ อ่าเผือก
Suwanna Umphauk

บุญส่ง สมเพาะ
Bounsong Sompoh

กรมป่าไม้
Department of Forestry

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มุ่งที่จะศึกษาให้เกิดการใช้เศษไม้ที่เหลือจากการแปรรูปมาประกอบเป็นไม้ประสานเพื่อใช้เป็นคานหลักในโครงสร้าง แต่ความน่าเชื่อถือในการใช้ไม้ชนิดใดเป็นองค์ประกอบโครงสร้างนั้น นอกจากจะขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของไม้ชนิดนั้น ๆ แล้วความทนทานของไม้ดังกล่าวยังเป็นข้อมูลประกอบที่สำคัญยิ่งซึ่งจะต้องนำมาพิจารณาร่วมด้วยทุกครั้ง ข้อมูลจากงานวิจัยของกรมป่าไม้ได้แสดงไว้อย่างชัดเจนว่าไม้ที่มีค่าความแข็งแรงสูงนั้นไม่จำเป็นจะต้องมีความทนทานและอายุใช้งานสูงด้วยเสมอไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งไม้โตเร็ว ซึ่งส่วนใหญ่จะถูกนำมาใช้ประโยชน์ในขณะที่ไม้เหล่านี้มีอายุไม่ถึง 10 ปี ยังไม่มีสารสกัดสะสมในเนื้อไม้มากพอที่ทำให้เนื้อไม้มีความทนทานต่อศัตรู

ทำลายไม้ การที่จะนำไม้ไปใช้ประโยชน์ไม่ว่าจะในลักษณะใด ๆ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องหาวิธีที่จะทำให้ไม้นั้นมีความทนทานต่อศัตรูทำลายไม้ให้ได้เสียก่อน จึงจะช่วยให้การใช้ไม้เป็นไปอย่างประหยัดและคุ้มค่าที่สุด แต่การศึกษาด้านความทนทาน ตลอดจนคุณสมบัติเชิงกล (mechanical properties) และคุณสมบัติเชิงกายภาพ (physical properties) ซึ่งเป็นข้อมูลพื้นฐานการใช้ประโยชน์ไม้ประสาน อวนนำยามืออยู่อย่างจำกัดมากจึงมีความสำคัญที่จะต้องศึกษาวิจัย

ผลการทดสอบความทนทานการใช้งานกลางแจ้งสัมพัสดินตามมาตรฐานกรมป่าไม้ และการรับแรงของคานไม้ประสานด้วยกาว Resorcinol Formaldehyde พบว่า ไม้สะเดามีความทนทานในการใช้งานกลางแจ้งสัมพัสดิน 6.7 ปี มีโมดูลัสยืดหยุ่นของการรับแรงดัด 113,720 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของการรับแรงอัด 72,909 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของการรับแรงดึง 104,975 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร การวิจัยนี้ประกอบคานไม้ประสานจากไม้สองชนิด คือนำไม้สนประดิษฐ์มาประสานไว้ด้านนอกคาน ทำให้คานไม้สะเดากับสนประดิษฐ์มีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของการรับแรงดัด 110,392 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร

ส่วน ไม้สะเดาเทียมมีความทนทานในการใช้งานกลางแจ้งสัมพัสดิน 4.5 ปี มีโมดูลัสยืดหยุ่นของการรับแรงดัด 89,479 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของการรับแรงอัด 37,822 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของการรับแรงดึง 70,561 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร เมื่อนำมาประกอบเป็นคานไม้ประสาน คานไม้สะเดาเทียมกับสนประดิษฐ์มีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของการรับแรงดัด 108,600 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร

น้ำหนักบรรทุกที่ทำให้คานไม้ประสานจากไม้สะเดา และไม้สะเดาเทียมเกิดการวิบัติเริ่มแรก (First Failure) ค่อนข้างสูงสามารถใช้เป็นคานได้ การใช้ซอฟต์แวร์ WCCAL ช่วยในการวิเคราะห์หาขนาดที่เหมาะสมในการใช้งานคานไม้ประสาน ได้ผลดังตาราง

ตารางที่ 1. เปรียบเทียบคุณสมบัติของคานไม้ประสานที่ทำการวิจัย

ชนิดไม้	ค่าความน่าจะเป็น วิบัติ (pf)	ความยาวคาน (ม.)	ความกว้างคาน (นิ้ว)	น้ำหนัก บรรทุก (กก./ม.)	ความลึกคาน ที่เหมาะสม (นิ้ว)
ไม้สะเดากับไม้สน ประดิษฐ์	10-4	6	คานคู่ขนาด 4 นิ้ว	330	20
ไม้สะเดาเทียมกับไม้สน ประดิษฐ์	10-4	6	คานคู่ขนาด 4 นิ้ว	300	18

หมายเหตุ: ในการหาขนาดที่เหมาะสมของคานไม้ประสานกำหนดให้

1. คานไม้สะเดาและสนประดิพัทธ์ รับตงขนาด 2 x 8 นิ้ว ความยาวตง 3 เมตร ระยะห่างระหว่างตง 0.3 เมตร พื้นหนา 1 นิ้ว
2. คานไม้สะเดาเทียมและสนประดิพัทธ์ รับตงขนาด 2 x 6 นิ้ว ความยาวตง 3 เมตร ระยะระหว่างตง 0.3 เมตร พื้นหนา 1 นิ้ว

ABSTRACT

This research is intended to study the possibility of using small pieces of wood as glue laminated girder. The reliability of structural wood elements depends not only on the strength of wood but also its durability. Department of forestry report shows that high strength wood does not necessary have high durability. Most fast growing woods used for commercial purpose are less than ten years old. They do not develop enough preventive against insects. Therefore it is mandatory to treat the wood in order to gain most economic value. However physical, mechanical, and durability properties of wood are quite scarce, thus intensive study is required.

Durability test result bases on Department of Forestry standard, and mechanical properties of glue laminated girder by Resorcinol Formaldehyde are as follow: Neem (*Azadirachta Indica* Var. *Siamensis*) durability is 6.7 years, modulus of elasticity in bending of wood is 113,720 kilogram per centimeter., modulus of elasticity in compression of wood is 72,909 kilogram per centimeter., modulus of elasticity in tension of wood is 104,975 kilogram per centimeter. This research use two kind of woods to make glue laminated girder by having *Casuarina Junghuhniana* Mig. as outer layers of beam. The test result of modulus of elasticity in bending of composite girder between Neem and *Casuarina Junghuhniana* Mig. is 110,392 kilogram per centimeter.

Azadirachta Excelsa Jack Jacobs durability is 4.5 year, modulus of elasticity in bending of wood is 89,479 kilogram per centimeter., modulus of elasticity in compression of wood is 37,822 kilogram per centimeter., modulus of elasticity in tension of wood is 70,561 kilogram per centimeter. The test result of modulus of elasticity in bending of composite girder between *Azadirachta Excelsa* Jack Jacobs and *Casuarina Junghuhniana* Mig. is 108,600 kilogram per centimeter.

Load at initial failure of composite glue laminated Neem and Casuarina Junghuhniana Mig. and Azadirachta Excelsa Jack Jacobs and Casuarina Junghuhniana Mig. are high enough to use as beam. Appropriate size of girder analyze by WCCAL software is shown in table below.

Table 1. Comparison of Tested Glue Laminated Girder

Specie	Failure Propability (pf)	Girder Length (m)	Girder Width (in)	Load (kg/m)	Girder Depth (in)
Neem and Casuarina Junghuhniana Mig.	10-4	6	2 - 4	330	20
Azadirachta Excelsa Jack Jacobs and Casuarina Junghuhniana Mig.	10-4	6	2 - 4	300	18

Remarks: Design Criteria

1. For Neem (Azadirachta Indica Var.Siamensis) and Casuarina Junghuhniana Mig. Girder, joist size 2 x 8 inch x 3 meter at 0.3 spacing, floor thickness 1 inch and
2. For Azadirachta Excelsa Jack Jacobs and Casuarina Junghuhniana Mig. Girder, joist size 2 x 6 inch x 3 meter at 0.3 spacing, floor thickness 1 inch

บทนำ

รัฐบาลได้ตระหนักถึงปัญหาที่เกิดขึ้นเนื่องจากการลดลงของพื้นที่ป่าไม้ จึงสนับสนุนการปลูกสวนป่าด้วยการออกพระราชบัญญัติสวนป่า พ.ศ. 2535 ซึ่งประกาศใช้ตั้งแต่วันที่ 1 มีนาคม 2535¹¹ และกำหนดเป้าหมายนโยบายและแผนการส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2540-2559 ให้มีพื้นที่ป่าเศรษฐกิจร้อยละ 20 เพื่อเพิ่มพื้นที่ป่าไม้ของประเทศซึ่งลดลงตั้งแต่ปี 2532 ซึ่งพื้นที่ป่าไม้ของประเทศไทยในเวลานั้นมีประมาณ 89.76 ล้านไร่ หรือประมาณ 28 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ประเทศ ลดลงจากปี 2504 ซึ่งพื้นที่ป่าของประเทศมีถึง 171.0 ล้านไร่ หรือ 53.33 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ประเทศ¹⁰ ในขณะที่มีประชากร 27 ล้านคนในปี 2534 พื้นที่ป่าไม้ได้ลดลงเหลือ 85.4 ล้านไร่ หรือ 26.64 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ประเทศ แต่จำนวนประชากรเพิ่มขึ้นมากถึง 57 ล้านคนในช่วงเวลาเพียง 2 ปี พื้นที่ป่าไม้ลดลง 1.36 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ประเทศ หรือประมาณ 4.36 ล้านไร่ จวบจนถึงปี 2536 ข้อมูลที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียมปรากฏว่าประเทศไทยมีพื้นที่ป่าไม้

เหลืออยู่ 83.4 ล้านไร่ หรือ 26.02 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ประเทศ ในขณะที่จำนวนประชากรเพิ่มขึ้นเป็น 58 ล้านคน (RFD, 1993)

การลดลงของพื้นที่ป่าไม้ และการที่รัฐบาลปิดป่าในเดือนมกราคม 2532 ทำให้ไม้ชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ในการก่อสร้างแต่เดิมมีราคาสูงขึ้น ประชาชนตามชนบทใช้ไม้จากสวนป่าและสวนผลไม้ทำประโยชน์ด้านต่าง ๆ ทั้งทางด้าน การก่อสร้าง เช่น วงกบ ประตู หน้าต่าง เฟอร์นิเจอร์ และเครื่องมือเครื่องใช้ต่าง ๆ หากนำไม้จากสวนป่าและสวนผลไม้ดังกล่าวมาแปรรูปจะได้ไม้แปรรูปประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ อีก 60 เปอร์เซ็นต์ กลายเป็นเศษไม้ หรือ ไม้ขนาดเล็ก ซึ่งแต่เดิมเศษไม้เหล่านั้นถูกใช้ประโยชน์ในการทำไม้ปาร์เก้ หรือทำพื้น ซึ่งไม่เกิดประโยชน์สูงสุดในเชิงพาณิชย์ หากนำเศษไม้ หรือ ไม้ขนาดเล็กหลาย ๆ แผ่นมาประกบติดกันด้วยกาวเป็นไม้ประสาน โดยให้เส้นไม้เรียงตัวขนานกัน และเลือกไม้ที่มีความแข็งแรงเหมาะสมไว้ตามตำแหน่งต่าง ๆ ของไม้ประสานเท่ากับสามารถควบคุมตำหนิในเนื้อไม้ได้ นอกจากนี้ยังสามารถควบคุมความชื้นและลดตำหนิหรือการบิดงอที่เกิดจากการอบและผึ่งไม้ได้มากขึ้น จึงทำให้ไม้ประสานมีความแข็งแรงกว่าไม้แปรรูปสามารถรับแรงกระแทกได้ดีกว่าไม้แปรรูปโดยทั่วไป โครงสร้างขนาดใหญ่ของไม้ประสานทำให้มีความทนทานต่อไฟมากกว่าคานหรือ โครงสร้างชิ้นเดียว นอกจากนี้ความต้านทานต่อความร้อนสูงทำให้การเผาไหม้เกิดช้าลง เป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มแก่วัสดุและได้ประโยชน์เชิงพาณิชย์เพิ่มมากขึ้น

วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. ศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตไม้ประสานจากไม้โตเร็วอบน้ำยา โดยใช้ไม้สะเดาและไม้สะเดาเทียม
2. ศึกษาคุณสมบัติเชิงกล คุณสมบัติทางกายภาพ และความทนทานของไม้ประสานอบน้ำยาในการนำไปใช้ประโยชน์เป็นคานหลักในโครงสร้าง

ขอบเขตของงานวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้จะทำการศึกษาวิจัยถึงความทนทาน รวมทั้งคุณสมบัติ 2 ด้าน คือ

1. คุณสมบัติเชิงกล อันประกอบด้วย
 - 1.1 แรงดัดประลัย (modulus of rupture)
 - 1.2 แรงอัด (compression)
 - 1.3 แรงเฉือน (shear)
 - 1.4 ความแข็ง (hardness) และ
 - 1.5 แรงดัด (bending)
2. คุณสมบัติเชิงกายภาพ คือความถ่วงจำเพาะ (specific gravity)

คำนิยาม

1. ไม้ประสาน (glued laminated) หมายถึง ไม้ท่อนที่ผลิตขึ้นโดยการนำไม้แผ่นแปรรูปหลาย ๆ แผ่น หรือเศษไม้ขนาดเล็กมาประกบติดกันด้วยกาว ในการประกบแผ่นไม้ต้องให้เส้นไม้เรียงตัวขนานกันในจำนวนชั้นตามมาตรฐานการใช้งาน (UBC-practical standard)
2. คานหลัก (girder) หมายถึง คานหลักที่รับน้ำหนักบรรทุกและน้ำหนักจรของอาคาร
3. ไม้อาบน้ำยา (treated wood) หมายถึง ไม้ที่ได้ผ่านกรรมวิธีให้มีสารเคมีในเนื้อไม้ เพื่อเพิ่มความทนทานต่อการเข้าทำลายของแมลงและเชื้อรา
4. สารป้องกันรักษาเนื้อไม้ (wood preservatives) หมายถึง สารประกอบทางเคมีซึ่งมีส่วนประกอบสำคัญ คือ สารป้องกันแมลง (insecticides agents) สารป้องกันเชื้อรา (fungicides agents) และสารที่ทำให้สารเคมีทั้งสองประเภทข้างต้นติดแน่นอยู่กับเนื้อไม้ (fixing agents)

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถเลือกไม้ประสานจากไม้โตเร็วอาบน้ำยามาใช้เป็นคานหลักในโครงสร้างไม้ได้อย่างปลอดภัยและเหมาะสม
2. บรรจุข้อมูลที่ได้ในธนาคารข้อมูลทางด้านวิศวกรรม และมาตรฐานการออกแบบทางด้านวิศวกรรมโยธา ซึ่งวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยมีนโยบายจัดตั้งขึ้นในปี 2543
3. เป็นแนวทางในการพัฒนาอุตสาหกรรมเกษตร
4. เป็นแนวทางในการส่งเสริมการเพิ่มมูลค่าของไม้โตเร็วในประเทศไทย
5. เป็นแนวทางในการส่งเสริมการเพิ่มพื้นที่ป่าเศรษฐกิจในประเทศ ตามเป้าหมายให้มีพื้นที่ป่าเศรษฐกิจ 20 เปอร์เซ็นต์ ในนโยบายและแผนการส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2540-2559

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

อุปกรณ์ที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูลการวิจัย ประกอบด้วย

1. ไม้สะเดา ไม้สะเดาเทียม และไม้สนประดิษฐ์ โดยไม้ที่เลือกมาทดสอบจะต้องมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลำต้นไม่ต่ำกว่า 12 นิ้ว ความสูงไม่ต่ำกว่า 8 เมตร และนำมาแปรรูปตามขนาดที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน American Society for Testing and Materials (ASTM) และเลือกเฉพาะส่วนที่อยู่ในสภาพที่เรียบร้อย ตรงไม่บิดงอ ไม่มีรอยแตก ไม่มีตาไม้ หรือผ่านการใช้งานมาก่อน
2. กาว Resorcinol Formaldehyde ผลิตโดยบริษัท ยูเอสพลายวู้ด ภายใต้เครื่องหมายการค้า “Welwood”

3. proving ring (อุปกรณ์วัดน้ำหนักกระทำ) ขนาด 10 ตัน
4. load cell (อุปกรณ์วัดค่าของน้ำหนักกระทำ และแปลงสัญญาณไปที่ data logger)

ขนาด 10 ตัน

5. เครื่องอ่านค่าจาก load cell (data logger)
6. โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ และเขียนแบบ
7. เครื่องวัดความชื้นในเนื้อไม้
8. เครื่องปอกฝานไม้
9. เครื่องอัดร่อน
10. เครื่องเลื่อยไม้ไฟฟ้า
11. เครื่องไสขนาด
12. เครื่องไสเพลาะ
13. เครื่องตัดซอยไม้ปรับมุม
14. เครื่องลอกบัว
15. เลื่อยวงเดือนมือถือ
16. ปากกาอัดไม้
17. แปรงทากาว
18. ทรายขี้
19. ภาชนะผสมกาว
20. ประแจอัดแรง
21. Dial Gauge (1 Div.=0.01 mm.)
22. Hydraulic

ขั้นตอนและวิธีการ

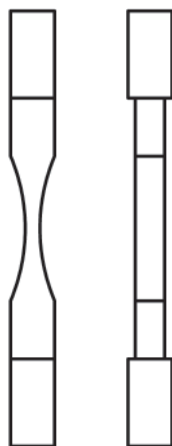
1. รวบรวม ศึกษาเอกสารและข้อมูลที่เกี่ยวข้อง
2. สํารวจ-คัดเลือกชนิดสารเคมีที่ใช้ในการป้องกันรักษาเนื้อไม้ ในการวิจัยนี้ใช้ Chromated Copper Arsenate หรือที่รู้จักกันทั่วไปว่า CCA เป็นตัวยาป้องกันรักษาเนื้อไม้ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในการอาบน้ำยาไม้ที่ใช้ในการก่อสร้างทั่วไป CCA เป็นเกลือเคมีละลายน้ำของทองแดง โครเมียม และสารหนู มีประสิทธิภาพสูงในการป้องกันรักษาเนื้อไม้จากปลวก มอด เพรียง และเห็ดรา ไม่ละลายน้ำ คงทนต่อการชะล้างได้ดี นอกจากนี้ยังสามารถตรึงเซลลูโลส และลิกนินในเนื้อไม้ในรูปของสารประกอบเชิงซ้อนที่มีเสถียรภาพสูง

3. ทดสอบคุณสมบัติความทนทานของไม้อาบน้ำยาในการใช้งานกลางแจ้งสัมผัสดินตามมาตรฐานกรมป่าไม้ โดยใช้ไม้ขนาด $1/2 \times 1/2 \times 3$ นิ้ว ความชื้นไม่เกิน 12 เปอร์เซ็นต์ อาบน้ำยา CCA เข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ มาทำการทดสอบคุณสมบัติความทนทานสำหรับการใช้งานกลางแจ้งสัมผัสดินตามมาตรฐานของกรมป่าไม้

4. ทดสอบและวิเคราะห์เชิงสถิติเกี่ยวกับคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของไม้และไม้ประสาน

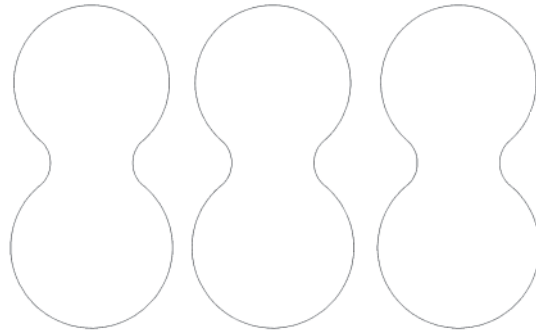
4.1 การทดสอบการรับแรงอัดในแนวขนานเสี้ยน ขนาดตัวอย่างที่ใช้สำหรับการทดสอบการรับแรงอัดตามมาตรฐาน ASTM คือ $1 \times 1 \times 4$ นิ้ว จำนวน 10 ตัวอย่างต่อไม้แต่ละชนิด

4.2 การทดสอบการรับแรงดึงในแนวขนานเสี้ยน รูปแบบของตัวอย่างสำหรับการทดสอบการรับแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM ดังภาพที่ 1 จำนวน 10 ตัวอย่างต่อไม้แต่ละชนิด



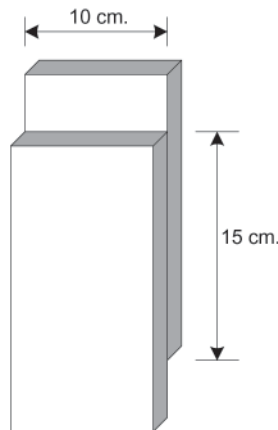
ภาพที่ 1. รูปแบบของตัวอย่างสำหรับทดสอบการรับแรงดึงในแนวขนานเสี้ยน

4.3 การทดสอบคุณสมบัติของกาว Resorcinol Formaldehyde โดยการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นโดยแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM โดยการผสมกาวที่อัตราส่วน Powder Catalyst : Liquid Resin เท่ากับ 1:7 โดยน้ำหนัก และหล่อกาวให้ได้ขนาดตามแบบหล่อชนิด briquet shape ดังภาพที่ 2 และทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ขนาด $1 \times 1 \times 1$ นิ้ว เพื่อหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นโดยแรงอัด การทดสอบคุณสมบัติของกาวในงานวิจัยนี้ได้รับความอนุเคราะห์จากสถาบัน Asian Institute of Technology (AIT)



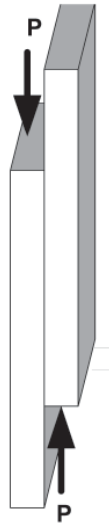
ภาพที่ 2. ตัวอย่างทดสอบชนิด briquet shape

4.4 การทดสอบการรับแรงเฉือนระหว่างไม้กับกาว โดยประกบอัดไม้แผ่นซึ่งมีความยาว 20 เซนติเมตร จำนวน 2 ชิ้นเข้าด้วยกัน โดยให้มีส่วนที่เหลื่อมกัน 5 เซนติเมตรหรือมีเนื้อที่ประสานกาว 15 เซนติเมตร (ดังภาพที่ 3) และใช้แรงอัดประสานขนาด 70 ปอนด์/ตารางนิ้ว ในการทดสอบการรับแรงเฉือน ใช้ตัวอย่างจำนวน 3 ตัวอย่างต่อไม้แต่ละชนิด



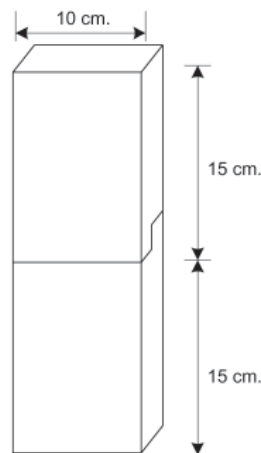
ภาพที่ 3. ตัวอย่างสำหรับการทดสอบการรับแรงเฉือน

เมื่อได้ตัวอย่างสำหรับการทดสอบการรับแรงเฉือนระหว่างไม้กับกาวแล้วให้วัดขนาดของตัวอย่าง และพื้นที่หน้าตัดของไม้บริเวณที่ติดกาว (พื้นที่รับแรงเฉือน) แล้วนำตัวอย่างไปทดสอบด้วยเครื่อง universal testing machine (ดังภาพที่ 4) บันทึกค่าแรงกดสูงสุดที่ทำให้ตัวอย่างเกิดการวิบัติ แล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าการรับแรงเฉือนระหว่างไม้กับกาว



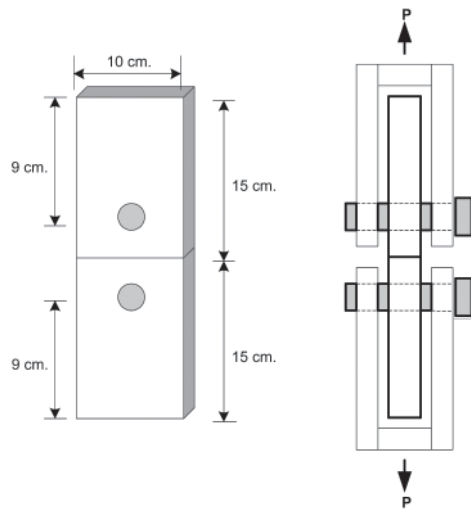
ภาพที่ 4. ลักษณะการทดสอบด้วยเครื่อง universal testing machine

4.5 การทดสอบการรับแรงดึงระหว่างไม้กับกาว โดยต่อชนปลายไม้ที่บากแล้วซึ่งมีความยาว 15 เซนติเมตร จำนวน 2 ชิ้นเข้าด้วยกัน (ดังภาพที่ 5) ด้วยกาวและแรงอัดประสานขนาด 70 ปอนด์/ตารางนิ้ว ในการทดสอบนี้ใช้ตัวอย่างจำนวน 3 ตัวอย่างต่อไม้แต่ละชนิด



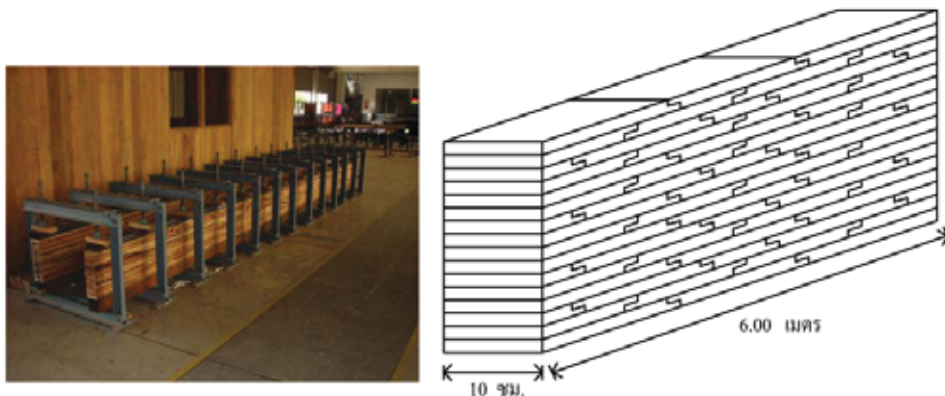
ภาพที่ 5. ตัวอย่างสำหรับการทดสอบการรับแรงดึง

เมื่อได้ตัวอย่างสำหรับการทดสอบการรับแรงดึงระหว่างไม้กับกาวแล้วให้วัดขนาดของตัวอย่าง และพื้นที่หน้าตัดของไม้บริเวณที่ติดกาว (พื้นที่รับแรงดึง) จากนั้นเจาะรูขนาด 3/4 นิ้ว จำนวน 2 รู ที่ระยะห่าง 9 เซนติเมตร จากปลายไม้ทั้งสองด้านเพื่อร้อยน็อตขนาด 3/4 นิ้ว สำหรับใช้ในการดึง (ดังภาพที่ 6) แล้วนำตัวอย่างไปดึงทดสอบด้วยเครื่อง universal testing machine บันทึกค่าแรงดึงสูงสุดที่ทำให้ตัวอย่างเกิดการวิบัติ แล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าการรับแรงดึงระหว่างไม้กับกาว



ภาพที่ 6. ลักษณะการดึงทดสอบด้วยเครื่อง universal testing machine

4.6 การทดสอบคานโดยอัดประสานไม้สะเดา ขนาด 1 x 4 นิ้ว x 2 เมตร จำนวน 14 ชั้น ด้วยไม้สนประติพัทธ์ที่ด้านนอกสุดทั้งสองด้านของคานรวมเป็น 16 ชั้น ให้มีความยาว 6 เมตร จำนวน 5 คาน และอัดประสานไม้สะเดาเทียม ขนาด 1 x 4 นิ้ว x 2 เมตร จำนวน 14 ชั้น ด้วยไม้สนประติพัทธ์ที่ด้านนอกสุดทั้งสองด้านของคานรวมเป็น 16 ชั้น ให้มีความยาว 6 เมตร จำนวน 5 คาน ด้วยปากกาอัดไม้ที่แรงอัดขนาด 70 ปอนด์/ตารางนิ้ว ด้วยกาว Resorcinol Formaldehyde (ดังภาพที่ 7)



ภาพที่ 7. ลักษณะการอัดประสานคานไม้สะเดาและไม้สะเดาเทียมประกบด้วยไม้สนประติพัทธ์ที่ด้านบนและด้านล่างของคานอย่างละหนึ่งชั้นรวม 16 ชั้น

5. วิเคราะห์ความน่าเชื่อถือเชิงโครงสร้างของคานหลักในโครงสร้างไม้ประสานตัวอย่าง
6. เสนอระดับความเสี่ยงที่ยอมรับได้สำหรับองค์ประกอบต่าง ๆ ในโครงสร้างอาคารและขนาดที่เหมาะสมของไม้สะเดา และไม้สะเดาเทียม เพื่อการใช้งานทางสถาปัตยกรรม และวิศวกรรม
7. จัดทำรายงานผลการวิจัย และเผยแพร่ผลงานวิจัย

ผล

การวิจัยนี้ทำการทดสอบความทนทานของเนื้อไม้ คุณสมบัติของกาว Resorcinol Formaldehyde และท้ายสุดทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของคานไม้ ผลจากการทดสอบสามารถสรุปได้ว่า ไม้สะเดามีความทนทานของเนื้อไม้ในการใช้งานกลางแจ้งสัมผัสดิน 6.7 ปี ไม้สะเดาเทียมมีความทนทานของเนื้อไม้ในการใช้งานกลางแจ้งสัมผัสดิน 4.5 ปี และไม้สนประดิษฐ์มีความทนทานของเนื้อไม้ในการใช้งานกลางแจ้งสัมผัสดิน 4.6 ปี

กาว Resorcinol Formaldehyde มีคุณสมบัติในการรับแรงอัด 633.85 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร การรับแรงดึง กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร โมดูลัสยืดหยุ่นของการอัด 6,701.92 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร โมดูลัสยืดหยุ่นของการดึง 86,500 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร

การทดสอบคุณสมบัติของไม้เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานในการแบ่งช่วงความแข็งแรงของไม้ ที่กรมป่าไม้กำหนดจากไม้ตะเคียนทอง (*Hopea odorata* Roxb.) ที่ความชื้น 12 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นไม้เนื้อแข็ง มีความแข็ง 625 กิโลกรัม ความแข็งแรงของเนื้อไม้ (โมดูลัสแตกหัก) 1,172 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร สรุปได้ว่าไม้สะเดาเป็นไม้เนื้อแข็ง มีความแข็ง 768 กิโลกรัม ความแข็งแรงของเนื้อไม้ 1,011 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร ไม้สะเดาเทียมเป็นไม้เนื้ออ่อน มีความแข็ง 262 กิโลกรัม ความแข็งแรงของเนื้อไม้ 523 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร และไม้สนประดิษฐ์เป็นไม้เนื้อแข็ง มีความแข็ง 1,084 กิโลกรัม ความแข็งแรงของเนื้อไม้ 1,418 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร

การทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของไม้และกาวตามขั้นตอนและวิธีการตามมาตรฐาน ASTM สรุปได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1. ผลการทดสอบคุณสมบัติของไม้ที่ใช้ในการทดสอบคานไม้ประสาน

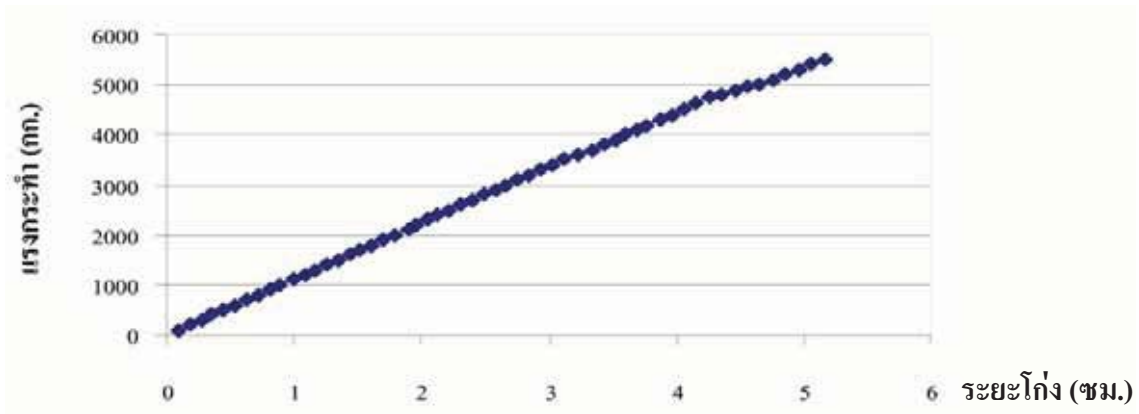
ชนิดไม้	การรับแรงอัด ในแนวขนาน เสี้ยน (กก./ตร.ซม.)	การรับแรงดึง ในแนวขนาน เสี้ยน (กก./ตร.ซม.)	การรับแรง เฉือน (กก./ตร.ซม.)	การรับแรง เฉือนระหว่าง ไม้กับกาว (กก./ตร.ซม.)	การรับแรงดึง ระหว่าง ไม้กับกาว (กก./ตร.ซม.)
ไม้สะเดา	484.7	1,183.5	113.6	43	41.85
ไม้สะเดาเทียม	285.74	1,025.88	107.46	26.25	40.97
ไม้สนประดิษฐ์	559.66	1,830	177.1	57.46	51.93

การทดสอบคานไม้ประสานจากไม้สะเดา และไม้สะเดาเทียม ใช้กาว Resorcinol Formaldehyde เป็นกาวประสานไม้ที่แรงอัดขนาด 70 ปอนด์/ตารางนิ้ว ด้วยปากกาอัดไม้ โดยในการทดสอบนี้ นำไม้สนประดิษฐ์มาประกบที่ด้านบนและด้านล่างของคานจำนวนหนึ่งชั้น เนื่องจากค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่ได้จากการทดสอบคานไม้ประสานจากไม้ทุเรียน และไม้มะม่วงป่าค่อนข้างต่ำ จึงปรับวิธีการทดสอบโดยการนำไม้ที่มีค่าโมดูลัสค่อนข้างสูง (ไม้สนประดิษฐ์) มาประสานร่วมกับไม้ที่มีค่าโมดูลัสต่ำกว่า (ไม้สะเดา ไม้สะเดาเทียม) ซึ่งทำให้ได้คานไม้ประสานที่มีค่าโมดูลัสสูงขึ้น สามารถรับน้ำหนักได้เพิ่มขึ้น และยังสามารถนำไปใช้กับโครงสร้างที่มีช่วงกว้างมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับค่าโมดูลัสของคานไม้ที่ประกอบจากไม้โมดูลัสต่ำเพียงชนิดเดียว (การทดลองด้วยไม้ทุเรียน และไม้มะม่วงป่า) การทดสอบนี้ใช้คานไม้ประสานจำนวนอย่างละ 5 คาน โดยให้น้ำหนักกระทำแบบ 2 จุด โดยแบ่งระยะของคานไม้ประสานออกเป็นสี่ส่วนเพื่อคานน้ำหนักลงที่จุดแบ่งด้านปลายสองจุด การทดสอบคานไม้ประสานได้ผลดังตารางที่ 2

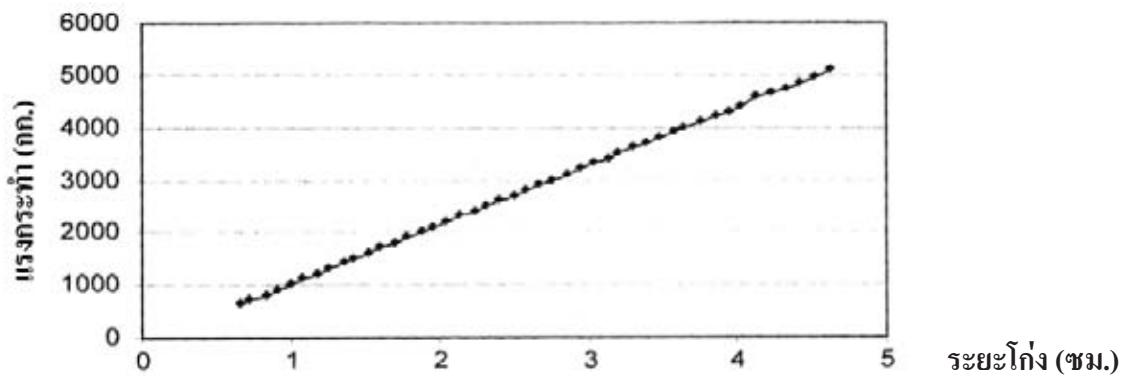
ตารางที่ 2. ผลการทดสอบคานไม้ประสานจากไม้สะเดา และไม้สะเดาเทียม เปรียบเทียบกับคานไม้ประสานจากไม้โมดูลัสต่ำเพียงชนิดเดียว

ชนิดไม้	น้ำหนักบรรทุกที่เกิดการวิบัติเริ่มแรก (First failure) (kg)	หน่วยแรงดึงของคานไม้ประสาน (ksc)	โมดูลัสยืดหยุ่นของคานไม้ประสาน (ksc)
ไม้สะเดากับไม้สนประดิษฐ์	4,970	256.6	110,392
ไม้สะเดาเทียมกับไม้สนประดิษฐ์	4,000	364	108,600
ไม้ทุเรียน	497.19	36.8	76,443.23
ไม้มะม่วงป่า	709.8	58.71	78,347.49

ลักษณะการวิบัติของคานไม้ประสานจากไม้สะเดาและไม้สนประดิษฐ์ และคานไม้ประสานจากไม้สะเดาเทียมและไม้สนประดิษฐ์ โดยส่วนใหญ่เป็นการวิบัติระหว่างผิวล่างถึงชั้นที่ 5 ของคานซึ่งเกิดจากกำลังรับแรงดึงระหว่างไม้กับกาว ช่วงที่กราฟเป็นเส้นตรงจะเป็นช่วงยืดหยุ่นของคานไม้ประสานแบบที่มีความยืดหยุ่นเป็นเส้นตรง (linear elastic material) จนถึงจุดแตกหักจึงเป็นการวิบัติแบบทันที ดังภาพที่ 8 และภาพที่ 9



ภาพที่ 8. ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักรวมทุกกับระยะการโค้งของคานไม้ประสานจากไม้สะเดาและไม้สนประดิพัทธ์



ภาพที่ 9. ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักรวมทุกกับระยะการโค้งของคานไม้ประสานจากไม้สะเดาเทียมและไม้สนประดิพัทธ์

การเปรียบเทียบระยะ โคง่จากการทดสอบที่มีการวิบัติเริ่มแรกกับระยะ โคง่จากการคำนวณ และระยะ โคง่ที่ยอมให้ ($L/360$) ของคานไม้ประสานจากไม้สะเดาและไม้สะเดาเทียม ซึ่งเท่ากับ 1.64 เซนติเมตร พบว่าระยะการ โคง่ของคานไม้ประสานจากไม้สะเดาที่เกิดการวิบัติเริ่มแรกและระยะ โคง่ที่ได้จากการคำนวณมีค่ามากกว่าระยะการ โคง่ที่ยอมให้สำหรับการใช้งาน (1.64 เซนติเมตร) เฉลี่ย 2.5 เท่า (4.1 เซนติเมตร) และสำหรับคานไม้ประสานจากไม้สะเดาเทียมเฉลี่ย 2.1 เท่า (3.34 เซนติเมตร) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับคานไม้ประสานจากไม้ชนิดเดียว (ไม้ทุเรียน ไม้มะม่วงป่า) จะเห็นว่าคานไม้ประสานจากไม้สะเดาและไม้สนประดิพัทธ์ และคานไม้ประสานจากไม้สะเดาเทียม และไม้สนประดิพัทธ์สามารถรับน้ำหนักได้มากขึ้น สังเกตได้จากความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกที่ทำให้คานไม้ประสานจากไม้สองชนิดเกิดการวิบัติเริ่มแรกมากกว่าคานไม้ประสานจาก

ไม้ชนิดเดียว แต่ในการใช้งานหลังจุดที่การโก่งตัวมากกว่าการโก่งตัวที่ยอมให้ ทำให้การใช้คานไม้ประสานจากไม้สะเดาและไม้สะเดาเทียมไม่ค่อยปลอดภัย แต่คานยังสามารถรับน้ำหนักได้ต่อไปอีก

อย่างไรก็ตาม การใช้ไม้ที่มีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นน้อย (ไม้สะเดาเทียม) มาประสานไว้ตรงกลางพบว่าค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคานไม้ประสานเพิ่มขึ้น แต่ถ้าเลือกใช้ไม้ที่มีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นสูง (ไม้สะเดา) มาประสานไว้ตรงกลาง พบว่าค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคานไม้ประสานไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงไปจากค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของการรับแรงดัดของไม้เอง ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3. การเปรียบเทียบคุณสมบัติของคานไม้ประสานที่ทำการวิจัย

ชนิดไม้	โมดูลัสยืดหยุ่นของการรับแรงดัดของไม้ (กก./ตร.ซม.)	โมดูลัสยืดหยุ่นของการรับแรงอัดของไม้ (กก./ตร.ซม.)	โมดูลัสยืดหยุ่นของการรับแรงดัดของไม้ (กก./ตร.ซม.)	โมดูลัสยืดหยุ่นของการรับแรงดัดของคานไม้ประสาน (กก./ตร.ซม.)
ไม้ทุเรียน	83,549	63,168.52	117,533.80	76,443
ไม้มะม่วงป่า	89,444	83,815.72	89,171.54	78,347
ไม้สนประดิษฐ์	134,643	77,306.9	178,401	-
ไม้สะเดา	113,720	72,909.3	104,975	110,392*
ไม้สะเดาเทียม	89,479	37,822.5	70,561.8	108,600*

หมายเหตุ: โมดูลัสยืดหยุ่นของการรับแรงดัดของคานไม้ประสานจากไม้สะเดากับไม้สนประดิษฐ์ และไม้สะเดาเทียมกับไม้สนประดิษฐ์

อภิปรายและวิจารณ์

จากการวิเคราะห์ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคานไม้ประสานเทียบกับค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของไม้ชนิดนั้น ๆ ปรากฏว่ามีค่าใกล้เคียงกัน และการใช้ไม้ที่มีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นน้อย (ไม้สะเดาเทียม) มาประสานไว้ตรงกลางของไม้ที่มีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นสูงกว่ามาก (ไม้สนประดิษฐ์) พบว่าค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคานไม้ประสานเพิ่มขึ้น แต่ถ้าเลือกใช้ไม้ที่มีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นสูง (ไม้สะเดา) มาประสานไว้ตรงกลางของไม้ที่มีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นสูงกว่าเพียงเล็กน้อย (ไม้สนประดิษฐ์) พบว่าค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคานไม้ประสานไม่ค่อยเปลี่ยนแปลง ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีหน้าตัดแปลงของคานผสม (Composite Beam) อย่างไรก็ตาม น้ำหนักบรรทุกที่ทำให้คานไม้ประสานจากไม้สะเดา

และไม้สะเดาเทียมค่อนข้างสูง การใช้ซอฟต์แวร์ WCCAL ช่วยในการวิเคราะห์สามารถหาขนาดที่เหมาะสมในการใช้งานของคานไม้ประสานได้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4. ขนาดที่เหมาะสมในการใช้งานของคานไม้ประสานที่ทำการวิจัย

ชนิดไม้	ดัชนีความปลอดภัย หรือค่าความ น่าเชื่อถือ (pf)	ความยาวคาน (ม.)	ความกว้างคาน (นิ้ว)	น้ำหนักบรรทุก (กก./ม.)	ความลึกคาน ที่เหมาะสม (นิ้ว)
ไม้สะเดากับ					
ไม้สนประดิพัทธ์	10-4	6	คานคู่ขนาด 4 นิ้ว	330	20
ไม้สะเดาเทียมกับ					
ไม้สนประดิพัทธ์	10-4	6	คานคู่ขนาด 4 นิ้ว	300	18

หมายเหตุ: ในการหาขนาดที่เหมาะสมของคานไม้ประสานกำหนดให้

1. คานไม้สะเดาและสนประดิพัทธ์ รับตงขนาด 2 x 8 นิ้ว ความยาวตง 3 เมตร ระยะห่างระหว่างตง 0.3 เมตร พื้นหนา 1 นิ้ว
2. คานไม้สะเดาเทียมและสนประดิพัทธ์ รับตงขนาด 2 x 6 นิ้ว ความยาวตง 3 เมตร ระยะระหว่างตง 0.3 เมตร พื้นหนา 1 นิ้ว

ข้อเสนอแนะ

การวิเคราะห์ข้อมูลพฤติกรรมของคานไม้ประสานด้วยกาว Resorcinol Formaldehyde มีข้อเสนอแนะดังนี้

1. การประกอบคานไม้ประสานในการวิจัยนี้เป็นการประกอบด้วยมือ ซึ่งการทากาวอาจไม่สม่ำเสมอ คานไม้ประสานมีการประกอบขึ้นรูปไม่สมบูรณ์เท่าที่ควร ควรมีการทดสอบโดยการประกอบคานไม้ในโรงงานที่มีอุปกรณ์หรือเครื่องจักรที่มีมาตรฐานสากล

2. การทดสอบใช้ส่วนผสมกาว Resorcinol Formaldehyde จากผงกาว 1 ส่วน กับน้ำกาว 7 ส่วน เนื่องจากเป็นส่วนผสมที่แห้งช้า เหมาะกับการประกอบคานด้วยมือในอุณหภูมิห้องปกติ ส่วนผสมที่แตกต่างกันอาจจะให้คุณสมบัติของกาว Resorcinol Formaldehyde ที่แตกต่างกันด้วย ควรมีการทดสอบด้วยส่วนผสมกาวในอัตราส่วนอื่น ๆ ด้วย

3. ควรมีการทดสอบคุณสมบัติของคานไม้ประสานที่ประกอบด้วยจำนวนชั้นที่แตกต่างกัน เนื่องจากจำนวนชั้นที่แตกต่างกันอาจจะทำให้พฤติกรรมการรับแรงแตกต่างกัน

สรุป

จากการทดสอบการรับแรงค้ำของคานไม้ประสานด้วยกาว Resorcinol Formaldehyde ขนาดเท่าจริง (actual size) ด้วยแรงอัดประสานขนาด 70 ปอนด์/ตารางนิ้ว โดยให้น้ำหนักบรรทุก 2 จุดบนคานที่ระยะ L/4 โดยคานมีจำนวนชั้นและจำนวนคานที่ทดสอบดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5. ขนาดคานไม้ประสานจากไม้ชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดสอบ

ชนิดไม้	ขนาดไม้ที่นำมา ประสาน	จำนวนชั้น	ความยาวคาน (ม.)	จำนวนคาน
ไม้สะเดากับไม้สนประติพัทธ์	1" x 4" x 2 ม.	16	6	5
ไม้สะเดาเทียมกับไม้สนประติพัทธ์	1" x 4" x 2 ม.	16	6	5

การวิบัติเริ่มแรก (First failure) ของคานไม้ประสานเกิดในตำแหน่งกึ่งกลางคานระหว่างแรงกระทำทั้ง 2 จุด ซึ่งเป็นการวิบัติเนื่องจากการรับแรงดึงในแนวขนานเส้นระหว่างไม้กับกาว โดยแนวแกนสะเทิน (neutral axis) ของคานไม้ประสานเคลื่อนที่ต่ำลงมาจากตำแหน่งกลางหน้าตัดคานเหมือนกันทุกคาน แต่ชั้นที่เกิดการวิบัติของคานแต่ละตัวไม่เหมือนกัน ส่วนมากจะเกิดการวิบัติในชั้นที่ 1-5 นับจากด้านล่างของคาน ดังตารางที่ 6 และจากความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับระยะการโก่งของคานไม้ประสาน แสดงให้เห็นว่าคานไม้ประสานมีคุณสมบัติเป็นวัสดุที่มีความยืดหยุ่นเป็นเส้นตรง

ตารางที่ 6. สรุปผลการทดสอบหาค่าคุณสมบัติเชิงกลของคานไม้ประสาน

ชนิดไม้	น้ำหนักบรรทุกที่ทำให้เกิดการวิบัติเริ่มแรก (First failure) (กก.)	ชั้นที่เกิดการวิบัติ	หน่วยแรงดึงของคานไม้ประสาน (กก./ตร.ซม.)	โมดูลัสยืดหยุ่นของคานไม้ประสาน (กก./ตร.ซม.)
ไม้สะเดา	4,970	1-5	256.6	110,392
ไม้สะเดาเทียม	4,000	1-5	364	108,600

คำขอบคุณ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณผู้ช่วยวิจัย ดังนี้ คุณพัชราภรณ์ สรณพงษ์ คุณอัษฎา อินทรโกเศศ คุณอัศวิน ระวิโชติ คุณอัปสร จุมพรม

เอกสารอ้างอิง

1. คณะอนุกรรมการการศึกษาความน่าเชื่อถือของโครงสร้าง คณะกรรมการวิชาการ สาขาวิศวกรรมโยธา วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์. การสัมมนาทางวิชาการ การออกแบบโครงสร้างโดยอาศัยทฤษฎีความน่าจะเป็น.
2. นิสิตวณิวัฒนา ภาควิชาวนศาสตร์ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2537. ไม้โตเร็วต่างถิ่น. 312 หน้า.
3. ณรงค์ โทนานนท์ และศิริ เจือวิจิตรจันทร์. กรกฎาคม 2523. ฝ้ายวิจัยขั้นพื้นฐาน กองวิจัยผลิตผลป่าไม้ กรมป่าไม้ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. ไม้เนื้อแข็งของประเทศไทย.
4. วรธรรม อุ่ณจิตติชัย. 2541. อุตสาหกรรมการผลิตแผ่นปาร์ติเกิลและกรรมวิธีผลิต. ส่วนวิจัยและพัฒนาผลิตผลป่าไม้ กรมป่าไม้. กรุงเทพฯ.
5. วินัย อวยพรประเสริฐ. ความน่าเชื่อถือและความปลอดภัยทางโครงสร้าง. เอกสารประกอบการสอนวิชา CEN 618 Structural Safety and Reliability.
6. สมาคมป่าไม้แห่งประเทศไทย. 2527. ไม้และของป่าบางชนิดในประเทศไทย จัดพิมพ์ครั้งที่ 3 (ฉบับแก้ไขเพิ่มเติม). มะม่วง.
7. ส่วนปลูกป่าภาคเอกชน สำนักส่งเสริมการปลูกป่า กรมป่าไม้. สะเดา *Azadirachta indica* A.Juss var *Siamensis* Valetton. 30 หน้า.
8. สุรีย์ ภูมิภมร และอนันต์ คำคง (บรรณาธิการ). ไม้โตเร็วอเนกประสงค์พื้นเมืองของประเทศไทย. คณะอนุกรรมการประสานงานวิจัยและพัฒนาทรัพยากรป่าไม้และไม้โตเร็วอเนกประสงค์.
9. สุภาวดี บุญยฉัตร, วินัย อวยพรประเสริฐ และสัจจา บุญยฉัตร. 2549. การใช้ไม้เนื้ออ่อนโตเร็วในประเทศไทยเป็นองค์ประกอบในโครงสร้างไม้. หจก. คงคาการพิมพ์และบรรจุภัณฑ์.
10. สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม. กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. นโยบายและแผนการส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2540-2559. หน้า 22-23.
11. สำนักงานส่งเสริมการปลูกป่าเอกชน กรมป่าไม้. 2535. ระเบียบ กฎกระทรวงและพระราชบัญญัติสวนป่า พ.ศ.2535. กรมป่าไม้ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
12. ASTM Standard. 1998. Annual Book of ASTM Standard: Volume 04.10 (WOOD).