# โครงสร้างไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพาราวัสดุโครงสร้างผสม 2x4 นิ้ว สำหรับหน่วยพักอาศัย

นายศวิษฐ์ พิริยะสุรวงศ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2563
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# 2x4 GLUE-LAMINATED BAMBOO AND PARA-TIMBER COMPOSITE FOR RESIDENTIAL UNIT

Mr. Svit Piriyasurawong

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

A Dissertation Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Doctor of Philosophy in Architecture

Department of Architecture

FACULTY OF ARCHITECTURE

Chulalongkorn University

Academic Year 2020

Copyright of Chulalongkorn University

| | |
|---|---|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | |
| โดย | นายศวิษฐ์ พิริยะสุรวงศ์ |
| สาขาวิชา | สถาปัตยกรรม |
| อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เทิดศักดิ์ เตชะกิจขจร |

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต

---------- คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.ปิ่นรัชฎ์ กาญจนัษฐิติ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

---------- ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต นิตยะ)

---------- อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เทิดศักดิ์ เตชะกิจขจร)

---------- กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ธนิต จินดาวณิค)

---------- กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสวกชัย ตั้งอร่ามวงศ์)

---------- กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมิตร ส่งพิริยะกิจ)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ศวิษฐ์ พิริยะสุรวงศ์ : โครงสร้างไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพาราวัสดุโครงสร้างผสม 2x4 นิ้ว สำหรับหน่วยพักอาศัย. ( 2x4 GLUE-LAMINATED BAMBOO AND PARA-TIMBER COMPOSITE FOR RESIDENTIAL UNIT) อ.ที่ปรึกษาหลัก : ผศ. ดร.เทิดศักดิ์ เตชะกิจขจร

ไม้ประกับกาวเป็นเทคโนโลยีที่เข้ามาเพื่อทดแทนความต้องการไม้หน้ากว้าง ซึ่งมีจำนวนทรัพยากรลดน้อยลง ประเทศไทยยังคงมีการพัฒนาไม้ประกับกาวในรูปแบบ “Glued laminated timber” ตั้งแต่ ค.ศ.1971 จนถึงปัจจุบัน ซึ่งเป็นการนำไม้มาเรียงต่อกันเป็นชั้นในทิศทางเดียว เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพความแข็งแรงในการนำมาใช้เป็นโครงสร้าง นอกจากทรัพยากรไม้ในพื้นที่ป่าเบญจพรรณในประเทศไทย ยังมี “ไผ่” ซึ่งถือวัสดุทางเลือกที่คนให้ความสนใจในหลายมิติ การนำไผ่มาใช้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพความแข็งแรงของไม้ประกับกาว รวมถึงเป็นการทดแทนอัตราการใช้ไม้ในระบบป่าอุตสาหกรรมให้เกิดความเพียงพอต่อจำนวนทรัพยากรในประเทศไทย

วิทยานิพนธ์เล่มนี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา ขนาด 2x4 นิ้ว 2) เพื่อสร้างต้นแบบวัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา ขนาด 2x4 นิ้ว 3) เพื่อสรุปแนวทางมาตรฐานวัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา ขนาด 2x4 นิ้ว ซึ่งมีกระบวนการวิจัยดังนี้ 1) ศึกษาพัฒนาการไม้ประกับกาว และไม้อัดประสาน ในระดับนานาชาติ และในประเทศไทย 2) ศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพาราวัสดุผสม สำหรับหน่วยพักอาศัยด้วยวิธีการทดสอบในห้องทดลอง และกระบวนการวิเคราะห์ “Finite elements analysis” 3) ประยุกต์ใช้วัสดุผสมไม้ไผ่และไม้ยางพาราประกับกาว 2x4 นิ้ว เป็นต้นแบบโครงสร้างใหม่สำหรับหน่วยพักอาศัย แบบ 1 ชั้น ขนาดพื้นที่ 24 ตารางเมตร หน้ากว้างอาคาร 5.00 เมตร ลึก 4.80 เมตร

จากการศึกษาพบว่าวัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา ขนาด 2x4 นิ้ว สามารถใช้เป็นโครงสร้างทดแทนไม้ยางพาราประกับกาวขนาด 2x6 นิ้ว ในรูปแบบการก่อสร้างแบบเดิม ในส่วนของตงพื้น แม้ว่าคุณสมบัติของไม้ยางพาราจะมีระยะยุบตัวน้อยกว่าวัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา 0.33141 mm. หรือคิดเป็น 27.96 % รูปแบบวัสดุผสมไม้ไผ่และไม้ยางพาราประกับกาวที่สอดคล้องกับระบบอุตสาหกรรมไม้ในประเทศไทย

การก่อสร้างหน่วยพักอาศัยด้วยวัสดุผสมไม้ไผ่และไม้ยางพาราประกับกาวพบว่ารูปแบบโครงสร้างที่ใช้วัสดุผสมไม้ไผ่และไม้ยางพาราประกับกาว สามารถลดส่วนประกอบของอาคารได้แก่ การใช้ผนังรับน้ำหนักแทนเสา การลดส่วนประกอบของหลังคาในขณะที่ยังสามารถสนับสนุนการรับน้ำหนักวัสดุมุงหลังคาได้ รูปแบบโครงสร้างวัสดุผสมไม้ไผ่และไม้ยางพาราประกับกาวสำหรับหน่วยพักอาศัย ยังสามารถลดปริมาณไม้จากที่ใช้ไม้คิดเป็นปริมาตรไม้จาก 72.44 ลูกบาศก์ฟุต เหลือเพียง 46.40 ลูกบาศก์ฟุต และลดระยะเวลาในการก่อสร้างหน่วยพักอาศัยได้ 20% เมื่อเทียบกับรูปแบบการก่อสร้างแบบเดิม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

| | | |
|---|---|---|
| สาขาวิชา | สถาปัตยกรรม | ลายมือชื่อนิสิต ..... |
| ปีการศึกษา | 2563 | ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก ..... |

# # 5973809725 : MAJOR ARCHITECTURE
KEYWORD: Glued laminated timber, Two-by-Four construction, Bamboo, Para timber
Svit Piriyasurawong : 2x4 GLUE-LAMINATED BAMBOO AND PARA-TIMBER COMPOSITE FOR RESIDENTIAL UNIT. Advisor: Asst. Prof. TERDSAK TACHAKITKACHORN, Ph.D.

Laminated timber is an innovative technology introduced to the industry instead of plain wood board, which actually becomes a scarce resource. In Thailand, “glued laminated timber” has been developed since 1971. Glue laminated timber is the method of ordering timbers in the same direction in order to increase the strength efficiency for building a structure. Apart from other forest resources in tropical forests of Thailand, bamboo is considered an alternative material, beneficial in various aspects; it can be used to increase strength efficiency of laminated timber, and also to substitute wood consuming rate in forest industry system, resulting in the sufficient of the resources in Thailand.

This thesis aims to 1) study the mechanical properties of 2x4” glued bamboo laminated with para-timber composite, 2) build the model of 2x4” glued bamboo laminated with para-timber composite, and 3) conclude and synthesize a standard guideline of 2x4” glued bamboo laminated with para-timber composite. The process of this study is as follows: 1) study and develop glued laminated and plywood in both national and international level, 2) study the mechanical properties of glued bamboo laminated timber and para-timber composite in the laboratory using Finite Element Analysis method, 3) apply the 2x4” glued bamboo laminated with para-timber composite as the model for building a 24 square meters single-floor residential unit, with 5.00 meters in width and 4.80 in depth.

The study found that 2x4” glued bamboo laminated with para-timber composite can be used to build structure instead of 2x6” glued para-timber in traditional construction model in the part of floor joist. Although the deformation property of para-timber is less than those of glued bamboo laminated with para-timber composite at 0.33141 mm., or equivalent to 27.96%, glued bamboo laminated with para-timber composite is still considered proper in the forest industry system in Thailand.

In the construction of residential unit, using of glued bamboo laminated with para-timber composite can reduce building materials, including the use of wall to support the roof instead of pillars, the reduction of the components of roof material while it can still support roof sheets. The structure model using glued bamboo laminated with para-timber composite for residential unit can also reduce the number of woods used in the construction from 72.44 cubic feet to 46.40 cubic feet, and reduce 20% of the duration of the construction, comparing with traditional construction.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

| | | |
|---|---|---|
| Field of Study: | Architecture | Student's Signature ..... |
| Academic Year: | 2020 | Advisor's Signature ..... |

# กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความอนุเคราะห์ และข้อแนะนำจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เทิดศักดิ์ เตชะกิจขจร อาจารย์ที่ปรึกษา สำหรับคำปรึกษาที่เป็นประโยชน์ต่อการวิจัย

ขอขอบพระคุณอธิการบดี และคณะผู้บริหารมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่ให้ความอนุเคราะห์สนับสนุนทุนพัฒนาบุคลากรระดับปริญญาเอกในการศึกษาในระดับดุษฎีบัณฑิต ณ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต นิตยะ ประธานกรรมการสอบ รองศาสตราจารย์ธนิต จินดาวณิค กรรมการสอบ สำหรับคำแนะนำด้านโครงสร้าง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสวกชัย ตั้งอร่ามวงศ์ กรรมการสอบ สำหรับคำแนะนำในการออกแบบวัสดุ รองศาสตราจารย์ ดร.สมิตร ส่งพิริยะกิจ กรรมการสอบ สำหรับแนวทางการค้นคว้าพัฒนาการไม้ประกับกาว และคณาจารย์คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความรู้ตลอดระยะเวลาที่ศึกษา รองศาสตราจารย์ทรงกลด จารุสมบัติ และเจ้าหน้าที่ภาควิชาวัณผลิตภัณฑ์ สำหรับการใช้ห้องทดสอบคุณสมบัติเชิงกล ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมศักดิ์ ร่มสนธิ์ สำหรับการสอนเทคนิคการใช้เครื่องมือเลื่อยไม้ การผลิตไม้ประกับกาวต้นแบบ บริษัท อินเตอร์วู๊ด ทิมเบอร์ จำกัด สำหรับการผลิตวัสดุก่อสร้างอาคารต้นแบบ คุณสมศักดิ์ ชัยมณี สำหรับงานก่อสร้างอาคารต้นแบบ

ท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.พัลลภ พิริยะสุรวงศ์ (บิดา) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ศิริวรรณ พิริยะสุรวงศ์ (มารดา) และ ดร.พรพรรณ พิริยะสุรวงศ์ ที่เป็นกำลังใจการทำวิทยานิพนธ์มาตลอด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ศวิษฐ์ พิริยะสุรวงศ์

# สารบัญ

หน้า


บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง

กิตติกรรมประกาศ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ซ

สารบัญภาพ ..... ฌ

บทที่ 1 บทนำ ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา ..... 3

1.3 ขอบเขตของการศึกษา ..... 4

1.4 ระเบียบวิธีการศึกษา ..... 4

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ ..... 6

บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม ..... 7

2.1 พัฒนาการไม้ประกับกาว ..... 7

2.2 โครงสร้างไม้ประกับกาว ..... 14

2.3 การก่อสร้างโครงสร้างไม้ตามลักษณะนิยม ..... 30

บทที่ 3 คุณสมบัติเชิงกลของวัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา ..... 39

3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย ..... 39

3.2 วิธีการผลิตวัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา ขนาด 2x4 นิ้ว ..... 52

3.3 การวิเคราะห์ Finite Element Analysis ..... 56

บทที่ 4 แนวทางการออกแบบวัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพาราสำหรับหน่วยพักอาศัย ..... 60



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.1 แนวทางการออกแบบสำหรับหน่วยพักอาศัย....60
4.2 การออกแบบและทดสอบคุณสมบัติเชิงกลทางสถาปัตยกรรม....70
4.3 วิเคราะห์ระยะเวลาการก่อสร้างโดยใช้วิธีก่อสร้างเชิงประยุกต์....74
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษา....77
5.1 อภิปรายผล....77
5.2 ข้อสังเกต และแนวทางการพัฒนางานวิจัย....96
5.3 ข้อเสนอแนะ....100
บรรณานุกรม....102
ภาคผนวก 1 Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber....109
ภาคผนวก 2 มาตราฐาน JAS - 112 1996....140
ประวัติผู้เขียน....185

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

# สารบัญตาราง

**หน้า**

ตารางที่ 1 แสดงผู้วิจัยที่เกี่ยวข้องกับไม้ประกับกาวในระดับนานาชาติ ..... 9

ตารางที่ 2 แสดงผู้วิจัยที่เกี่ยวข้องกับไม้ประกับกาวในประเทศไทย ..... 12

ตารางที่ 3 แสดงคุณสมบัติเชิงกลไม้ยางพาราเปรียบเทียบกับไม้ปลูกเชิงพาณิชย์ ..... 23

ตารางที่ 4 แสดงคุณสมบัติเชิงกลของไผ่ที่พบในประเทศไทย ..... 24

ตารางที่ 5 แสดงลักษณะตัวอย่างของต้นแบบไม้ไผ่และไม้ยางพาราประกับกาว ..... 41

ตารางที่ 6 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติไม้ไผ่และไม้ยางพาราประกับกาว ..... 51

ตารางที่ 7 แสดงค่าพารามิเตอร์คุณสมบัติของชิ้นงานทดสอบไม้ ..... 57

ตารางที่ 8 แสดงข้อแนะนำการใช้วัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา ขนาด 2x4 นิ้ว ..... 58

ตารางที่ 9 แสดงระยะเวลาในการก่อสร้างอาคารหน่วยพักอาศัย ..... 74

ตารางที่ 10 แสดงการเปรียบเทียบปริมาตรไม้ที่ใช้ในการก่อสร้าง ..... 75

ตารางที่ 11 อธิบายประเด็นการวิเคราะห์พัฒนาการไม้ประกับกาว ..... 78

ตารางที่ 12 เปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงกลไม้ยางพาราประกับกาว และวัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา ..... 81

ตารางที่ 13 ข้อแนะนำการใช้ระยะเสาของวัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา ขนาด 2 x 4 นิ้ว ..... 83

ตารางที่ 14 เปรียบเทียบการวิเคราะห์แรงกระทำต่อโครงสร้าง ..... 84

ตารางที่ 15 สรุปแนวทางมาตรฐานเบื้องต้น ..... 85

# สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 แผนภาพแสดงขั้นตอนระเบียบวิธีศึกษา ..... 6

ภาพที่ 2 การทดสอบไม้ประกับกาวในห้องทดลองในรัฐวิสคอนซิน ปี ค.ศ.1934 ..... 8

ภาพที่ 3 แสดงการเตรียมไม้สนอเมริกาเพื่ออัดประสานด้วยระบบไฟฟ้าภายในโรงงาน ของบริษัท อินเตอร์วู๊ด ภาพถ่ายเมื่อปี พ.ศ.2561 ..... 15

ภาพที่ 4 แสดงเครื่องทากาวเพื่อเตรียมไม้แปรรูปสำหรับนำมาใช้ในกระบวนการอัดประสาน ด้วยระบบไฟฟ้า ของบริษัทอินเตอร์วู๊ด ภาพถ่ายเมื่อปี พ.ศ.2561 ..... 17

ภาพที่ 5 แสดงรูปแบบการวิบัติของโครงสร้างคานไม้ ..... 20

ภาพที่ 6 แสดงการวิเคราะห์แบบรูปไข่ (elliptic) และแบบไฮเปอร์โบริก (hyperbolic) ..... 21

ภาพที่ 7 แสดงข้อแนะนำในการวิเคราะห์โครงสร้างแบบตาข่าย (Mesh) ของ ANSYS™ ..... 22

ภาพที่ 8 ไม้ยางพาราชนิดเสาที่จำหน่ายในระบบอุตสาหกรรม ..... 22

ภาพที่ 9 แสดงลำไม้ไผ่สำหรับเตรียมไม้ไผ่ร่วมกับการผลิตไม้ยางพาราประกับกาว ..... 26

ภาพที่ 10 แสดงลักษณะการตัดไม้ไผ่ตามเพื่อเตรียมทำไม้ไผ่ประกับกาว ..... 27

ภาพที่ 11 แสดงแผ่นไม้ไผ่ หนา 5 มิลลิเมตร ..... 27

ภาพที่ 12 แสดงแผ่นไม้ไผ่ หนา 5 มิลลิเมตร ..... 28

ภาพที่ 13 แสดงไม้ยางพาราประกับกาว สายพันธุ์ PB235 ..... 29

ภาพที่ 14 แสดงไม้ยางนาแดงขนาดหน้าตัด 1x4 นิ้ว ..... 29

ภาพที่ 15 แสดงฐานรากส่วนคานรับตงพื้น ..... 31

ภาพที่ 16 แสดงตงพื้นแบบต่อประกับ (Joist Floor) ..... 31

ภาพที่ 17 แสดงโครงเคร่าผนังแบบบอลลูนเฟรม ..... 32

ภาพที่ 18 แสดงโครงเคร่าผนังแบบแพลตฟอร์มเฟรม ..... 32

ภาพที่ 19 แสดงโครงสร้างหลังคารูปแบบวางยื่น (Gable Overhang) ..... 33

ภาพที่ 20 แสดงโครงสร้างหลังคารูปแบบฮิป (Hip roof) ..... 34

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาพที่ 21 แสดงโครงสร้างหลังคารูปแบบวางแนวราบ (Flat Roof Framing).....34
ภาพที่ 22 แสดงวัสดุแผ่นปิดบนตงพื้น .....35
ภาพที่ 23 แสดงวัสดุแผ่นปิดบนโครงสร้างหลังคา.....35
ภาพที่ 24 แสดงวิธีการติดตั้งวัสดุแผ่นปิดในส่วนผนัง.....36
ภาพที่ 25 แสดงวิธีการติดตั้งวัสดุแผ่นปิดในส่วนโครงสร้างหลังคา .....36
ภาพที่ 26 แสดงวิธีการติดตั้งวัสดุแผ่นปิดโดยชิงเกิ้ลรูฟ (Shingle roof) .....37
ภาพที่ 27 แสดงวิธีการติดตั้งวัสดุแผ่นปิดโดยรูฟบอร์ด (roof boards).....37
ภาพที่ 28 แสดงไม้ยางพารา ขนาด 2x4 นิ้ว ในระบบอุตสาหกรรม.....40
ภาพที่ 29 แสดงการออกแบบวัสดุโครงสร้างผสมไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา ขนาด 2x4 นิ้ว.....40
ภาพที่ 30 แสดงภาพตัด (Section) ต้นแบบไม้ไผ่และไม้ยางพาราประกับกาว แบบ A, B, C, และ D .....41
ภาพที่ 31 แสดงวิธีการเลื่อยไม้ตามแนวยาว (vertical band saw machine).....42
ภาพที่ 32 ผลผลิตไม้ไผ่จากเครื่องเลื่อยไม้ตามแนวยาว (vertical band saw machine).....42
ภาพที่ 33 แสดงวิธีการสับไม้ไผ่ด้วยมีดพร้า.....43
ภาพที่ 34 แสดงขั้นตอนการไสข้างไม้ไผ่ที่ได้จากการสับ .....43
ภาพที่ 35 ผลผลิตไม้ไผ่ที่ได้จากวิธีการตัดปลองไผ่เป็นแฉก .....44
ภาพที่ 36 แสดงการเลื่อยไม้ยางพาราในแนวยาว.....44
ภาพที่ 37 แสดงการผสมกาวราเท็กซ์ และกาวเรซอซินอล ฟอร์มัลดีไฮด์ ในอัตราส่วน 100:15.....45
ภาพที่ 38 แสดงประกับไม้โดยวิธีอัดเย็น (Cold Press).....45
ภาพที่ 39 แสดงต้นแบบวัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพาราสำหรับทดสอบคุณสมบัติเชิงกล.46
ภาพที่ 40 แสดงการเตรียมเครื่องทดสอบไม้ไผ่และไม้ยางพาราประกับกาวภายในห้องทดสอบ.....46
ภาพที่ 41 กราฟแสดงผลการทดสอบไม้ยางพาราประกับกาว Para-wood รหัส A .....47
ภาพที่ 42 แสดงการหักของไม้บริเวณรอยแตกแรงดึงของไม้ยางพาราประกับกาว Para-wood รหัส A .....47

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาพที่ 43 กราฟแสดงผลการทดสอบไม้ไผ่และไม้ยางพาราประกับกาวแบบ Single layer รหัส B ..48
ภาพที่ 44 แสดงการหักของไม้บริเวณรอยแตก ของแบบ Single layer รหัส B.....48
ภาพที่ 45 กราฟแสดงผลการทดสอบไม้ไผ่และไม้ยางพาราประกับกาวแบบ Double layer รหัส C49
ภาพที่ 46 แสดงการหักของไม้บริเวณรอยแตก ของแบบ Double layer รหัส C.....49
ภาพที่ 47 กราฟแสดงผลการทดสอบไม้ไผ่และไม้ยางพาราประกับกาว H layer รหัส D.....50
ภาพที่ 48 แสดงการหักของไม้บริเวณรอยแตก ของแบบ H layer รหัส D-1 .....50
ภาพที่ 49 แสดงขั้นตอนประกับชั้นไม้ไผ่ .....52
ภาพที่ 50 แสดงเครื่องอัดประกับไม้ประกับกาวแบบอัดเย็น (Cold press) .....53
ภาพที่ 51 ไม้ยางพาราแผ่นสำเร็จรูปในระบบอุตสาหกรรม.....53
ภาพที่ 52 แสดงขั้นตอนประกับไม้ไผ่และไม้ยางพารา.....54
ภาพที่ 53 ขั้นตอนการไสความหนาให้ได้ขนาด 2x4 นิ้ว .....54
ภาพที่ 54 วัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวไม้ยางพาราประกับกาวสำหรับเตรียมตัดขนาดความยาว .....55
ภาพที่ 55 แสดงขั้นตอนการตัดหัวและท้ายของวัสดุ.....55
ภาพที่ 56 วัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวไม้ยางพารา ขนาด 2x4 นิ้ว.....56
ภาพที่ 57 การสร้างแบบจำลองวัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา ขนาด 2x4 นิ้ว.....56
ภาพที่ 58 การวิเคราะห์ Mesh วัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา ขนาด 2x4 นิ้ว .....57
ภาพที่ 59 แสดงระยะยุบตัว (Deformation) ของวัสดุโครงสร้างผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา ขนาด 2x4 นิ้ว .....58
ภาพที่ 60 แสดงการวางตำแหน่งตงพื้น ขนาด 2x4 นิ้ว ตามแนวคานคอนกรีตเสริมเหล็ก .....61
ภาพที่ 61 แสดงภาพฉายไอโซเมตริกการวางตำแหน่งตงพื้นตามแนวคานคอนกรีตเสริมเหล็ก.....61
ภาพที่ 62 แสดงการวางวัสดุแผ่นปิดพื้นตามระยะผนัง .....62
ภาพที่ 63 แสดงผนังด้านข้างอาคาร.....63
ภาพที่ 64 แสดงผนังด้านหน้าอาคาร.....64
ภาพที่ 65 แสดงผนังด้านหลังอาคาร .....65

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาพที่ 66 แสดงผังบริเวณตำแหน่งผนังบนแผ่นพื้น .....65
ภาพที่ 67 แสดงภาพฉายไอโซเมตริกการวางผนัง (Wall framing) .....66
ภาพที่ 68 แสดงระยะการติดตั้งแผ่นหลังคาของชายคาอาคารหน่วยพักอาศัย .....67
ภาพที่ 69 แสดงภาพไอโซเมตริกโครงสร้างหลังคาอาคารวัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและยางพารา ขนาด 2x4 นิ้ว .....67
ภาพที่ 70 แสดงภาพไอโซเมตริกโครงสร้างอาคารวัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและยางพารา ขนาด 2x4 นิ้ว .....68
ภาพที่ 71 รูปจำลองสามมิติโครงสร้างต้นแบบอาคารหน่วยพักอาศัย .....69
ภาพที่ 72 รูปจำลองสามมิติต้นแบบอาคารหน่วยพักอาศัย .....69
ภาพที่ 73 แสดงการสร้าง mesh เพื่อกำหนดคุณสมบัติ .....70
ภาพที่ 74 แสดงการวิเคราะห์ไฟไนอิลิเมนต์วิธีการก่อสร้างตามลักษณะนิยม .....71
ภาพที่ 75 แสดงการสร้าง mesh เพื่อกำหนดคุณสมบัติวิธีการก่อสร้างเชิงประยุกต์ .....72
ภาพที่ 76 แสดงการสร้าง mesh เพื่อกำหนดคุณสมบัติ .....73
ภาพที่ 77 แสดงการเปรียบเทียบการออกแบบอาคารแบบตามลักษณะนิยม และการออกแบบเชิงประยุกต์ .....82
ภาพที่ 78 แสดงขั้นตอนการจับระดับระยะของแนวเสา และคาน .....86
ภาพที่ 79 แสดงเสาสำเร็จขนาดหน้าตัด 6 นิ้ว .....87
ภาพที่ 80 แสดงขั้นตอนการผูกเหล็กหล่อคาน .....87
ภาพที่ 81 แสดงขั้นตอนการประกอบตงพื้น .....88
ภาพที่ 82 แสดงการวางตงพื้นบนคานคอนกรีตเสริมเหล็ก .....88
ภาพที่ 83 แสดงการยึดตงพื้นด้วยเหล็กฉากกับคานคอนกรีตเสริมเหล็ก .....89
ภาพที่ 84 แสดงการติดตั้งแผ่นพื้นความหนา 20 มิลลิเมตร .....89
ภาพที่ 85 แสดงโครงเคร่าผนังทั้ง 4 ฝั่ง .....90
ภาพที่ 86 แสดงแผ่นเรียบสำหรับติดตั้งกับโครงเคร่าผนัง .....91
ภาพที่ 87 แสดงการบากจันทันหลังคาเพื่อวางบนโครงสร้างผนัง .....91

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาพที่ 88 แสดงการวางจันทันหลังคา....92
ภาพที่ 89 แสดงการยึดจันทัน....92
ภาพที่ 90 แสดงการวางจันทันบนโครงสร้างผนัง....93
ภาพที่ 91 แสดงการติดตั้งแผ่นไม้เรียงชิ้น และพลาสติกกันน้ำ....93
ภาพที่ 92 แสดงโครงสร้างภายในผนัง และโครงสร้างหลังคา....94
ภาพที่ 93 แสดงขั้นตอนการเตรียมฟากหลังคา....94
ภาพที่ 94 แสดงขั้นตอนการติดตั้งฟากหลังคาไม้ไผ่....95
ภาพที่ 95 แสดงอาคารหลังจากติดตั้งฟากไม้ไผ่....95
ภาพที่ 96 แสดงหน้าตัดของวัสดุที่ไม่มีชั้นไม้อยู่ในช่วงแนวแกนสะเทินที่มีค่าความเค้นสูงสุด....98
ภาพที่ 97 แสดงการทดสอบคุณสมบัติของกาวในการประกับไม้....98

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

# บทที่ 1
# บทนำ

## 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ไม้ประกับกาวเป็นเทคโนโลยีที่เข้ามาเพื่อทดแทนความต้องการไม้หน้ากว้าง ซึ่งมีจำนวนทรัพยากรลดน้อยลง ประเทศไทยยังคงมีการพัฒนาไม้ประกับกาวในรูปแบบ “Glued laminated timber” ตั้งแต่ ค.ศ.1971 ไม้ประกับกาวเป็นการนำไม้มาเรียงต่อกันเป็นชั้นในทิศทางเดียว เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพความแข็งแรงในการนำมาใช้เป็นโครงสร้าง เนื่องจากไม้เนื้อแข็ง และไม้ที่มีขนาดหน้ากว้างมีจำนวนลดลง อีกทั้งไม้เป็นวัสดุที่สามารถย่อยสลาย และนำกลับมาใช้งานใหม่ได้ (Jeleč, Varevac, & Rajčić, 2018) ไม้ประกับกาวมีส่วนช่วยรักษาสิ่งแวดล้อม โครงสร้างไม้ประกับกาวยังลดเวลาในการก่อสร้างได้ 20-30% (Harte, 2017) ในอดีตไม้เนื้อแข็งเป็นที่นิยมนำมาใช้ในการก่อสร้าง เนื่องจากมีคุณสมบัติที่ทนต่อการรับน้ำหนัก และทนต่อสภาพแวดล้อม ด้วยลักษณะของพันธุ์ไม้เนื้อแข็งต้องใช้เวลาปลูกนานกว่า 30 ปี ทำให้ไม้เนื้อแข็งมีราคาสูง และหาขนาดที่มีหน้ากว้างได้ยากขึ้น ไม้เนื้ออ่อนที่ผ่านการแปรรูป และผ่านกระบวนการให้มีคุณสมบัติทนต่อสภาพแวดล้อม และถูกนำมาเรียงให้มีขนาดหน้ากว้าง จึงมีบทบาทเข้ามาใช้ในโครงสร้างอาคารทดแทนไม้เนื้อแข็ง ไม้เนื้ออ่อนที่นิยมมากที่สุดในประเทศไทย คือไม้ยางพารา (ศวิษฐ์ พิริยะสุรวงศ์ และ เทิดศักดิ์ เตชะกิจขจร, 2562) จุดเด่นของไม้ยางพาราในประเทศไทยคือมีสีอ่อน และมีเนื้อไม้ที่ละเอียดกว่าไม้ยางพาราของประเทศมาเลเซีย และอินโดนีเซีย ในพื้นที่ป่าเบญจพรรณของประเทศไทยนอกจากไม้เนื้อแข็งที่ขึ้นตามธรรมชาติ เช่น สัก เต็ง และรัง ยังมีพืชที่เรียกว่า “ไผ่” ซึ่งถือวัสดุทางเลือกที่คนให้ความสนใจในหลายมิติ ขึ้นภายในป่าธรรมชาติในประเทศไทย มีระยะเวลาในการเติบโต 4-5 ปี จึงเป็นไผ่ที่มีความเหมาะสมกับการนำมาใช้เป็นโครงสร้าง เนื่องจากการเรียงโครงสร้างของเส้นใยภายในไผ่มีความยาวไม่มีการเรียงตัวของเส้นใยทางขวาง ทำให้มีความยืดหยุ่นกว่าไม้ทั่วไป (วิรัช ชื่นวาริน, 2519) การนำไม้ไผ่มาใช้เป็นส่วนประกอบของโครงสร้างไม้ประกับกาวสำหรับหน่วยพักอาศัย รวมถึงเป็นการทดแทนอัตราการใช้ไม้ในระบบป่าอุตสาหกรรมให้เกิดความเพียงพอต่อจำนวนทรัพยากรในประเทศ

พัฒนาการงานวิจัยไม้ประกับกาวในประเทศไทยมีความสอดคล้องกับการพัฒนางานวิจัยไม้ประกับกาวในต่างประเทศ วิธีการที่ถูกวิจัยและพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง คือวิธีการประกับไม้ในทางเรียงกัน หรือเรียกว่า ไม้ประกับกาว (Glue laminated timber) ไม้ที่ถูกใช้ในวิธีการของไม้ประกับกาวมากที่สุดในประเทศไทย คือ ไม้ยางพารา ขนาดของไม้ประกับกาวที่ผลิตในอุตสาหกรรมมีขนาดอ้างอิงกับระบบการผลิตของกับไม้แปรรูป ไม้ประกับกาวมีข้อได้เปรียบกว่าไม้แบบเต็มท่อน เนื่องจาก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ผ่านขั้นตอนการผลิตทำให้มีขนาดที่เป็นฉาก และกำจัดส่วนของตาไม้ ในส่วนของไม้ไผ่ประกับกาว (Glue bamboo laminated timber) ในประเทศไทยมีฐานข้อมูลในเรื่องการทำเครื่องเรือน แต่ยังไม่เคยมีฐานข้อมูลในการใช้เป็นโครงสร้าง

วิทยานิพนธ์เล่มนี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา ขนาด 2x4 นิ้ว 2) เพื่อสร้างต้นแบบวัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา ขนาด 2x4 นิ้ว 3) เพื่อสรุปแนวทางมาตรฐานวัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา ขนาด 2x4 นิ้ว ซึ่งมีกระบวนการวิจัยดังนี้ 1) ศึกษาพัฒนาการไม้ประกับกาว และไม้อัดประสาน ในระดับนานาชาติ และในประเทศไทย 2) ศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพาราวัสดุผสม สำหรับหน่วยพักอาศัยด้วยวิธีการทดสอบในห้องทดลอง และกระบวนการวิเคราะห์ไฟไนอิลิเมนต์ (Finite elements analysis) 3) ประยุกต์ใช้วัสดุผสมไม้ไผ่และไม้ยางพาราประกับกาว 2x4 นิ้ว เป็นต้นแบบโครงสร้างใหม่สำหรับหน่วยพักอาศัย แบบ 1 ชั้น ขนาดพื้นที่ 23.04 ตารางเมตร หน้ากว้างอาคาร 4.80 เมตร ลึก 4.80 เมตร

การออกแบบวัสดุต้นแบบวัสดุผสมไม้ไผ่และไม้ยางพาราประกับกาวเพื่อหารูปแบบที่มีคุณสมบัติเชิงกลที่สามารถนำมาใช้เป็นโครงสร้างหน่วยพักอาศัยได้ รวมถึงมีรูปแบบการผลิตที่สอดคล้องกับระบบอุตสาหกรรมไม้ในประเทศไทย ตรวจสอบคุณสมบัติเชิงกลด้วยวิธีทดสอบในห้องทดสอบคุณสมบัติไม้ และกระบวนการไฟไนอิลิเมนต์ (finite element method) เพื่อหาวิเคราะห์พฤติกรรมที่มีผลต่อโครงสร้างไม้ไผ่และไม้ยางพาราประกับกาวทั้งแรงจากแรงโน้มถ่วง (compression force) และแรงในแนวดิ่ง (vertical displacement) โดยเปรียบเทียบกับระบบการก่อสร้างตามลักษณะนิยม (Conventional) อ้างอิงขนาดต้นแบบชิ้นไม้ จากมาตรฐาน ASTM D 143 – 94 (Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber) รวมถึงการทดลองสร้างอาคารหน่วยพักอาศัย แบบ 1 ชั้น ในขนาดพื้นที่ 23.04 ตารางเมตร

จากการศึกษาพบว่าวัสดุผสมไม้ไผ่และไม้ยางพาราประกับกาว ไม่เกิดการเสียรูปในทันที เมื่อเกิดการวิบัติในส่วนของไม้ยางพาราชั้นล่าง โดยไม้ไผ่และไม้ยางพาราประกับกาวยังสามารถรับแรงต่อได้ โดยไม้ที่มีอัตราการคืนตัว (Toughness) ได้ดีที่สุดที่ 0.1574 มม. จึงสรุปได้ว่าชั้นของไม้ไผ่ มีผลต่อการรับน้ำหนักประลัย และช่วยเพิ่มอัตราการคืนตัว (Toughness) ทำให้วัสดุไม่เกิดการเสียรูปในทันที จึงเป็นส่วนประกอบสำคัญที่สามารถพัฒนาต่อเพื่อใช้เป็นองค์ประกอบของอาคาร รูปแบบที่เหมาะสมกับการผลิตในระบบอุตสาหกรรม คือรูปแบบวัสดุผสมไม้ไผ่และไม้ยางพาราประกับกาว ที่ประกอบด้วยไม้ไผ่ หนา 4 มิลลิเมตร จำนวน 2 ชั้น และไม้ยางพารา 3 ชั้น เรียงชั้นในรูปแบบแนวนอน (Horizontal) เนื่องจากไม่จำเป็นต้องใช้เวลารอให้กาวคงรูปเพื่อประกับกาวในแนวตั้ง (Vertical) เพิ่มอีกครั้ง

จากการทดสอบโดยกระบวนการไฟไนอิลิเมนต์ (Finite element method: FEM) พบว่าไม้ไผ่ประกับกาว และไม้ยางพารา ขนาด 2x4 นิ้ว สามารถใช้ในการก่อสร้างเทียบกับ ไม้ยางพาราประกับกาว ขนาด 2x6 นิ้ว ในรูปแบบอุตสาหกรรม แม้ว่าคุณสมบัติของไม้ยางพาราจะมีระยะยุบตัวน้อยกว่าวัสดุผสมไม้ไผ่และไม้ยางพาราประกับกาว 0.33141 mm. หรือคิดเป็น 27.96 % เนื่องจากมีความแตกต่างระหว่างค่าโมดูลัสยืดยุ่น 84 เมกะปาสคาล ทำให้พฤติกรรมการคงรูปของวัสดุผสมไม้ไผ่และไม้ยางพาราประกับกาวต่ำกว่าไม้ยางพาราประกับกาว อีกทั้งความหนาแน่นของไม้พาราผสมไม้ไผ่กับไม้พาราต่างกัน 139 kg/m^3 ทำให้น้ำหนักที่มีเกิดขึ้นมีผลต่อแรงโน้มถ่วงของโลกที่กระทำต่อโครงสร้างไม้ส่งผลให้เพิ่มระยะยุบตัวของไม้ แต่เนื่องด้วยไม้ยางพารานั้นมีราคาค่อนข้างสูง ถ้าเทียบกับวัสดุผสมไม้ไผ่และไม้ยางพาราประกับกาว ขนาด 2x4 นิ้ว สามารถลดขนาดของขนาดไม้ได้จาก 2” x 6” ในรูปแบบการก่อสร้างตามลักษณะนิยม (Conventional) เป็น 2x4 นิ้ว ซึ่งยังไว้ความแข็งแรงของโครงสร้างได้

ข้อค้นพบภายหลังการก่อสร้างหน่วยพักอาศัยด้วยวัสดุผสมไม้ไผ่และไม้ยางพาราประกับกาวในรูปแบบโครงสร้างที่ออกแบบขึ้นใหม่ ในขอบเขตอาคาร 1 ชั้น ขนาด 23.04 ตารางเมตร พบว่ารูปแบบโครงสร้างที่ใช้วัสดุผสมไม้ไผ่และไม้ยางพาราประกับกาว สามารถลดส่วนประกอบของอาคาร ได้แก่ การใช้ผนังรับน้ำหนักแทนเสา การบดส่วนประกอบของหลังคาในขณะที่ยังสามารถสนับสนุนการรับน้ำหนักวัสดุปูหลังคาได้ รูปแบบโครงสร้างวัสดุผสมไม้ไผ่และไม้ยางพาราประกับกาวสำหรับหน่วยพักอาศัย ยังสามารถลดปริมาณไม้จากที่ใช้ไม้ขนาด 2x4 นิ้ว ขนาดความยาว 2.40 เมตร จากจำนวน 140 ท่อน เหลือเพียง 126 ท่อน หรือคิดเป็นปริมาตรไม้จาก 72.44 ลบ.ฟุต เหลือเพียง 46.40 ลบ.ฟุต และลดระยะเวลาในการก่อสร้างหน่วยพักอาศัยได้ 20% เมื่อเทียบกับรูปแบบการก่อสร้างตามลักษณะนิยม (Conventional) การใช้ไม้ไผ่ยังสามารถลดการใช้ไม้ยางพารา 10% ในส่วนของวัสดุโครงสร้าง หรือคิดเป็น 6.895 ลบ.ฟุต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา**

1.2.1 เพื่อศึกษาพัฒนาการไม้ประกับกาวในระดับชาติ และระดับนานาชาติ

1.2.2 เพื่อศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุผสมไม้ไผ่และไม้ยางพาราประกับกาว 2x4 นิ้ว

1.2.3 เพื่อศึกษาคุณสมบัติเชิงกลทางสถาปัตยกรรมวัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา 2x4 นิ้ว

1.2.4 เพื่อประยุกต์ใช้แนวทางการก่อสร้างวัสดุผสมไม้ประกับกาวและไม้ยางพาราสำหรับหน่วยพักอาศัย

**1.3 ขอบเขตของการศึกษา**

1.3.1 ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพัฒนาการไม้ประกับกาว และไม้อัดประสาน ในระดับนานาชาติ และในประเทศไทย ตั้งแต่ ปี ค.ศ.1901 – 2019 โดยแบ่งประเภทของการศึกษาได้แก่ 1) ไม้ประกับกาว 2) ไม้ไผ่ประกับกาว 3) ไม้อัดประสาน 4) ไม้ไผ่อัดประสาน เท่านั้น

1.3.2 ศึกษาคุณสมบัติเชิงกล (physical properties) ของไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพาราวัสดุผสม สำหรับหน่วยพักอาศัย โดยใช้มาตรฐาน ASTM D 143–94 Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber ในการทดสอบ และกระบวนการ Finite Element Analysis ในการวิเคราะห์ต้นแบบโครงสร้างไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพาราวัสดุโครงสร้างผสม 2x4 นิ้ว

1.3.3 ศึกษาวิธีการประยุกต์ใช้วัสดุผสมไม้ไผ่และไม้ยางพาราประกับกาว 2x4 นิ้ว เป็นต้นแบบโครงสร้างใหม่สำหรับหน่วยพักอาศัย แบบ 1 ชั้น ขนาดพื้นที่ 23.04 ตารางเมตร หน้ากว้างอาคาร 4.80 เมตร ลึก 4.80 เมตร

**1.4 ระเบียบวิธีการศึกษา**

ระเบียบวิธีการศึกษาในงานวิจัยนี้ ได้กำหนดตามวัตถุประสงค์ และขอบเขตของของการวิจัยที่กำหนด จึงได้ดำเนินการวิจัย โดยแบ่งขั้นวิธีการศึกษาในงานวิจัยนี้จะแบ่งออกเป็น 3 ระยะ ได้แก่

1.4.1 ระยะที่ 1 การศึกษาทฤษฎี ทบทวนวรรณกรรม และจัดทำฐานข้อมูล

1.4.1.1 ขั้นตอนการศึกษาพัฒนาการไม้ประกับกาว โดยศึกษาจากงานวิจัย ในช่วงปี ค.ศ.1901 ที่เริ่มต้นในการคิดค้นไม้ประกับกาว (Glued laminated timber) จนถึง ค.ศ.2019 เพื่อหาสถานภาพจุดยืน โดยศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับไม้ประกับกาวในระดับนานาชาติ และในประเทศไทย เอกสารมาตรฐานการทดสอบไม้

1.4.1.2 ขั้นตอนการศึกษาโครงสร้างหน่วยพักอาศัยตามลักษณะนิยม และระบบก่อสร้าง 2x4 นิ้ว เพื่อออกแบบโครงสร้างไม้ประกับกาว ทั้งขั้นตอนการผลิตวัสดุสำหรับก่อสร้าง มาตรฐานการทดสอบวัสดุในการผลิต ตามมาตรฐาน ASTM D 245- 06 การทดสอบคุณสมบัติของกาว ตามมาตรฐาน JAS No.1152

1.4.2 ระยะที่ 2 ทดสอบคุณสมบัติเชิงกลวัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาว และไม้ยางพารา

1.4.2.1 ทดสอบคุณสมบัติเชิงกลด้วยวิธีทดสอบคุณสมบัติตามมาตรฐาน ASTM D 143 – 94 (Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber) เครื่องทดสอบที่ใช้เป็นเครื่อง INSTRON รุ่น 4466 วิเคราะห์ข้อมูลผ่านโปรแกรม INSTRON Series IX

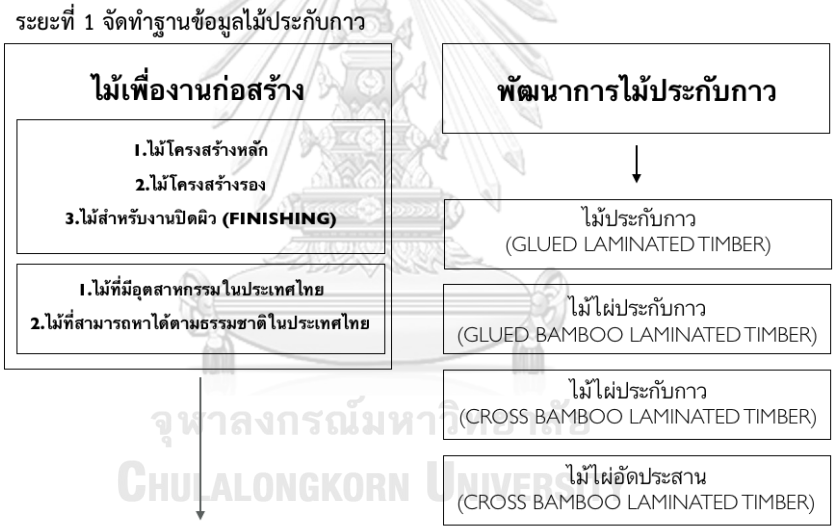
1.4.2.2 ทดสอบคุณสมบัติด้วยการสร้างแบบจำลองคานวัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา ขนาด 2x 4 นิ้ว เปรียบเทียบกับคานไม้ยางพาราประกับกาว ขนาด 2x6 นิ้ว โดยใช้กระบวนการวิเคราะห์ไฟไนอิลิเมนต์ (Finite Element Analysis) ผ่านโปรแกรม ANSYS 2020 R2

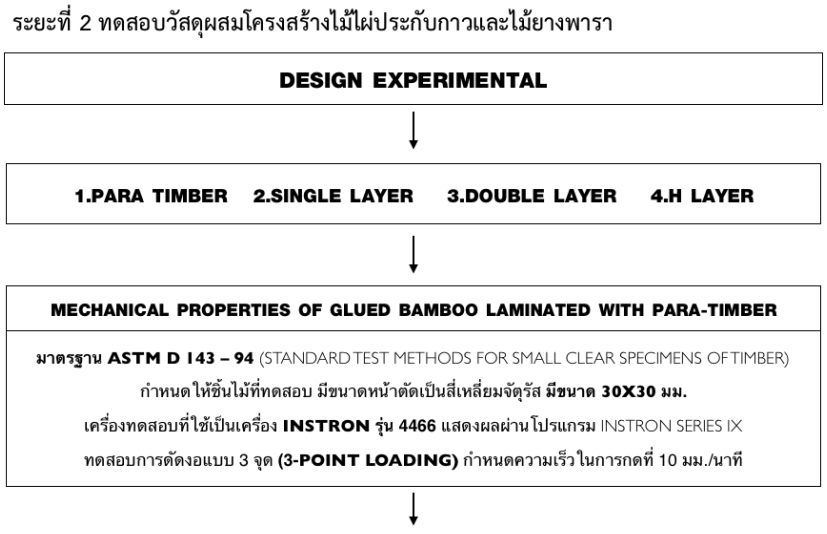
เพื่อหาระยะของเสาที่มีผลต่อโครงสร้างไม้ทั้งแรง ในการกดตามแนวตั้ง (Compression force) จากแรงโน้มถ่วงกับระยะยุบตัว และแรงในแนวดิ่ง (Vertical displacement) เพื่อจัดทำฐานข้อมูลคุณสมบัติเชิงกลการใช้ไม้ยางพารา ขนาด 2x4 นิ้ว สำหรับการใช้เป็นโครงสร้างหน่วยพักอาศัย

1.4.3 ระยะที่ 3 ประยุกต์การใช้วัสดุผสมโครงสร้างไม้ไผ่ประกับกาวและยางพารา 2x4 นิ้ว สำหรับหน่วยพักอาศัย

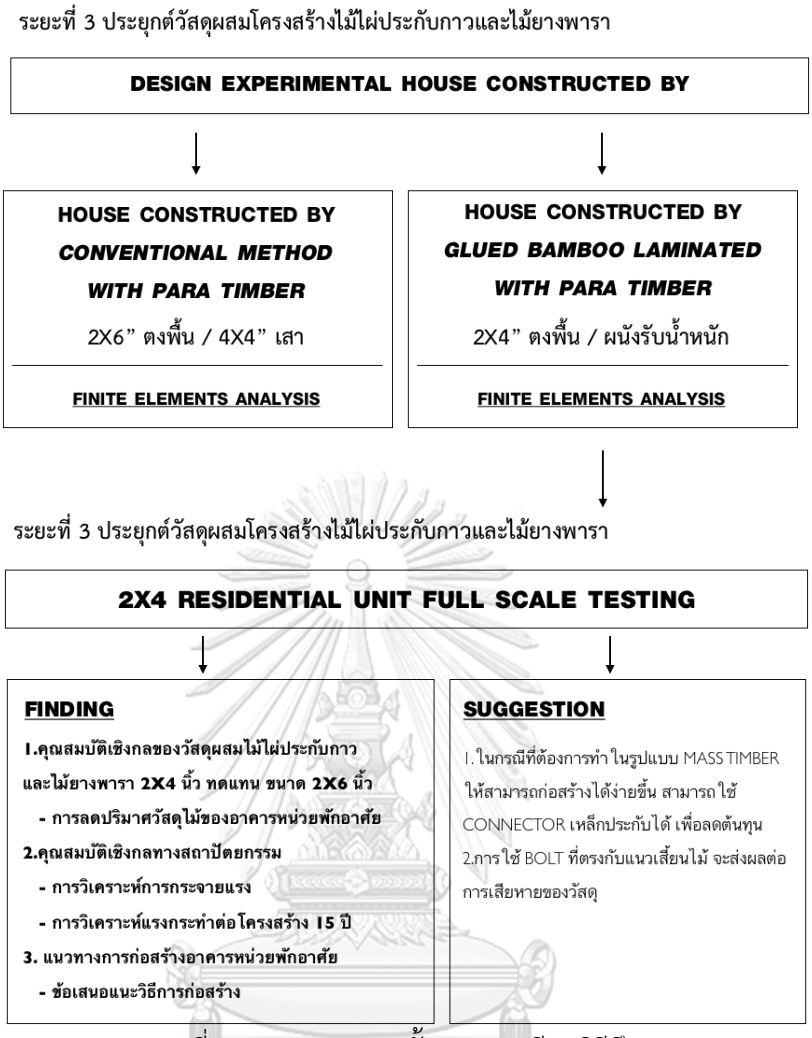
1.4.3.1 ทดลองสร้างอาคารหน่วยพักอาศัย ขนาดหน้ากว้าง 4.80 เมตร ลึก 4.80 เมตร โดยใช้วัสดุผสมโครงสร้างไม้ไผ่ประกับกาวและยางพารา 2x4 นิ้ว เป็นส่วนประกอบในส่วนโครงสร้าง

1.4.3.2 เสนอแนะแนวทางการก่อสร้างอาคารหน่วยพักอาศัยโดยใช้วัสดุผสมโครงสร้างไม้ไผ่ประกับกาวและยางพารา 2x4 นิ้ว ในประเด็น 1) ระยะตงพื้น 2) ระยะโครงเคร่าผนัง 3) โครงสร้างหลังคา




จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY




ภาพที่ 1 แผนภาพแสดงขั้นตอนระเบียบวิธีศึกษา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทราบข้อจำกัดของโครงสร้างไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพาราวัสดุโครงสร้างผสม 2x4 นิ้ว สำหรับหน่วยพักอาศัย

1.5.2 ทราบคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพาราวัสดุโครงสร้างผสม 2x4 นิ้ว

1.5.3 เพื่อเสนอแนะแนวทางการก่อสร้างหน่วยพักอาศัย โครงสร้างไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพาราวัสดุโครงสร้างผสม 2x4 นิ้ว

# บทที่ 2
# ทบทวนวรรณกรรม

การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาประกอบด้วยพัฒนาการไม้ประกับกาว ทั้งในประเทศไทย และในต่างประเทศ รวมถึงขั้นตอนการผลิตไม้ประกับกาว และการนำมาใช้ในระบบการก่อสร้างโครงสร้างไม้ตามลักษณะนิยม เพื่อเป็นแนวคิดในการออกแบบระบบการก่อสร้างโครงสร้างไม้เชิงประยุกต์โดยใช้โครงสร้างวัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา 2x4 นิ้ว สำหรับหน่วยพักอาศัย

## 2.1 พัฒนาการไม้ประกับกาว

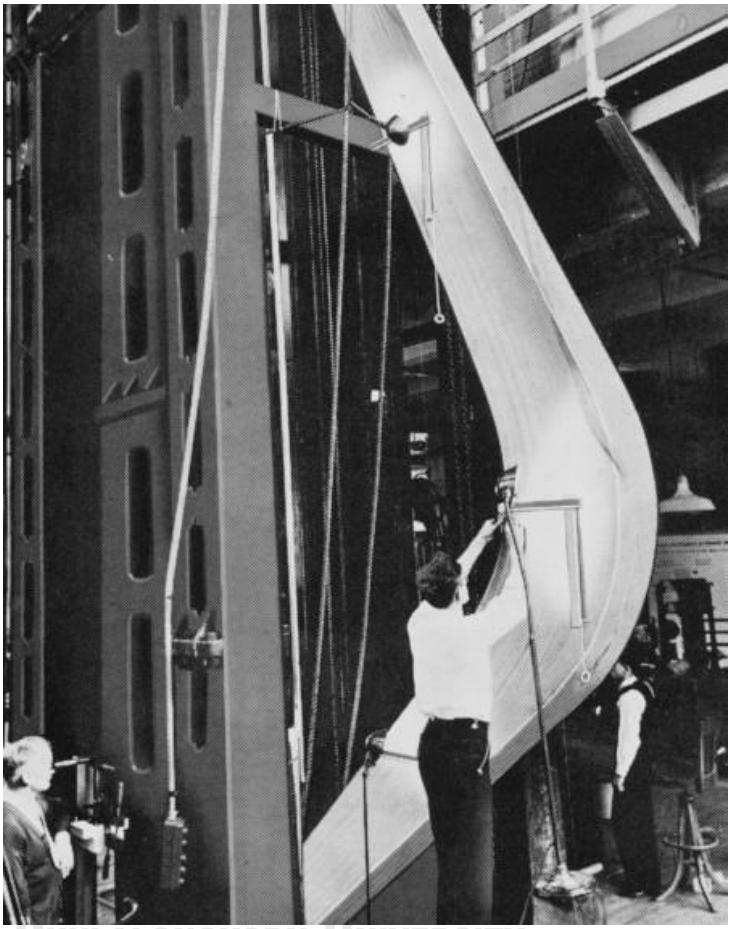
การศึกษาพัฒนาการไม้ประกับกาว ได้แบ่งขอบเขตของการศึกษาออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่ 1) ไม้ประกับกาว 2) ไม้ไผ่ประกับกาว 3) ไม้อัดประสาน 4) ไม้ไผ่อัดประสาน โดยศึกษาพัฒนาการไม้ประกับกาวแบ่งตามช่วงเวลาตั้งแต่ปี ค.ศ.1901-2019 ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับไม้ประกับกาว มาตรฐานไม้ประกับกาว ผลิตภัณฑ์ไม้ประกับกาว เพื่อวิเคราะห์ สถานการณ์ที่เกิดขึ้นกับพัฒนาการไม้ประกับกาว โดยมีขอบเขตการวิเคราะห์งานวิจัยแบ่งออกเป็นพัฒนาการไม้ประกับกาวในระดับนานาชาติ และพัฒนาการไม้ประกับกาวในประเทศไทย

### 2.1.1 พัฒนาการไม้ประกับกาวในระดับนานาชาติ

ไม้ประกับกาวถูกจดสิทธิบัตรครั้งแรก ปี ค.ศ.1906 โดยอ็อตโต้ เฮตเซอร์ (Otto Hetzer) จากการประดิษฐ์แผ่นไม้ลามิเนต หรือที่รู้จักในชื่อ “Otto beams” เป็นวัสดุเพื่อความยั่งยืน (Sustainable material) ที่สามารถดัดรูปทรงให้โค้งงอ มีคุณสมบัติเชิงกลที่ดี แข็งแรงรับพอจะแรงกด แรงดัด ในรูปแบบงานสถาปัตยกรรมได้ ในปี ค.ศ.1910 ไม้ประกับกาวของ Otto Hetzer ถูกจัดแสดงครั้งแรกในงาน Universal Exhibition ที่กรุงบรัสเซลส์ ณ German Railway Hall สิทธิบัตรไม้ประกับกาวหมายเลข Nr:197773 ของ Otto Hetzer ครอบคลุมในประเทศเยอรมนี ออสเตรีย อิตาลี และสวิตเซอร์แลนด์ ตามการระบุในสำนักงานสิทธิบัตรของจักรวรรดิ (Imperial Patent Office) ในประเทศเยอรมนี

พัฒนาการไม้ประกับกาวในช่วงศตวรรษที่ 20 ได้มีการพัฒนารูปแบบจนออกมาเป็นผลิตภัณฑ์ชื่อ “Glulam” โดยมีการปรับเปลี่ยนรายละเอียดได้แก่ รูปแบบการเชื่อมต่อไม้แบบ “finger joint” รวมถึงการพัฒนาการผลิตกาว ให้เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ปราศจากสารยูเรีย ฟอร์มัลดีไฮน์ รวมถึงการนำไปใช้ร่วมกับกระบวนการผลิตไม้โดยใช้เครื่อง CNC โครงสร้างไม้ประกับกาวถูก

นำมาใช้ตามทฤษฎีทางวิศวกรรม ยกตัวอย่างเช่นในปี ค.ศ.1934 ที่ห้องปฏิบัติการวนผลิตภัณฑ์ (Forest Product Laboratory) ในรัฐวิสคอนซิน ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยวิธีการสร้างไม้ประกับกาวเป็นลักษณะเฟรม ก่อนนำมาติดตั้งเป็นลักษณละซุ้ม (Arches) เรียงต่อกัน



ภาพที่ 2 การทดสอบไม้ประกับกาวในห้องทดลองในรัฐวิสคอนซิน ปี ค.ศ.1934
(Lehman, 2018)

ไม้ประกับกาวถูกพัฒนาเป็นไม้อัดประสาน ในปี ค.ศ.1974 โดยมีจุดเริ่มต้นจากการทำไม้ประกับกาวรูปแบบมัลติเลเยอร์ คอมโพสิท (multi layer composite) ก่อนจะมีการคิดค้นผลิตภัณฑ์ไม้อัดประสานชื่อ “X-lam” ในต้นศตวรรษที่ 20 ในส่วนของพัฒนาการในส่วนของไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ไผ่อัดประสานเริ่มต้นตั้งแต่การคิดค้นผลิตภัณฑ์ชื่อ “Glubam” ช่วงปี ค.ศ.2008 ตามตารางที่ 1 แสดงผู้วิจัยที่เกี่ยวข้องกับไม้ประกับกาวในระดับนานาชาติ รวมถึงการแสดงข้อมูลมาตรฐานไม้ประกับกาวที่เกี่ยวข้องกับชนิดของไม้ประกับกาว โดยจัดผู้วิจัยเป็นกลุ่มด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษจัดเป็นกลุ่มตามช่วงเวลา และการเปลี่ยนแปลงวิธีการวิจัย เช่น การเปลี่ยนแปลงแนวคิดการใช้วัสดุ การเปลี่ยนแปลงการนำมาประยุกต์ใช้ ฯลฯ

ตารางที่ 1 แสดงผู้วิจัยที่เกี่ยวข้องกับไม้ประกับกาวในระดับนานาชาติ

| ปี ค.ศ. | ไม้ประกับกาว | ไม้ไผ่ประกับกาว | ไม้อัดประสาน | ไม้ไผ่อัดประสาน |
|---|---|---|---|---|
| 1906 | **Glue laminated beam “Universal Exhibition”** Hetzer O. | | | |
| 1933 | **DIN code 1052** | | | |
| 1937 | [A1] Oliver William A. | | | |
| 1974 | **Multi layer composite** Cziesielski | | | |
| 1981 | **First used in Brasel** | | [H1] *Dröge & Stoy* | |
| 1993 | [A2] Manbeck | | [H2] P.Schuler and R.Guyer (อ้างอิงใน Schickhofer, 1994) | |
| 1994 | | | [H3] Schickhofer | |
| 1996 | [A3] Hernandez., et al. | | | |
| 1997 | **ASTM for GLT** | | | |
| 2000 | [B1] Ogawa | | **X-lam** | |
| 2004 | **SR EN 408:2004** | | | |
| 2008 | **JAS Standard** | **Glu-Bam** | | |
| 2009 | [B2] Yang, et al. | | | |
| 2010 | | [D1] Xiao, et al.<br>[E1] Correal, J., et al. | | |
| 2011 | [B3] Badescu, A-M.L., et al. | [F1] Mahdavi, Clouston & Arwade | [I1] Danzig<br>[I2] Pei., et al. | |
| 2012 | **ANSI/AITC A190.1** | | | |
| 2013 | [B4] Manalo, Aravinthan & Karunasena | | [I3] Teibinger & Matzinger **(multi-storey)** | |
| 2014 | | | | |
| 2015 | [B5] Komariah., et al. | [E2] Sharma, et al. | [J1] Scalet | [K1] Archila H.F. |
| 2016 | [C1] Aishwarya M. and Markus R.<br>[C2] Muraleedharan & Reiterer | [F2] Li, et al. | | |
| 2017 | | | [J2] Harte<br>[J3] Wieruszewski & Mazela | [K2] Archila, et al., **(panel)** |
| 2018 | [C3] Penellum, et al. | [G1] Penellum, et al. | | [K3] Ivens J., et al<br>[K4] Munis et al. |
| 2019 | | | | [K5] Dârmon R. and Lalu O. |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**1) ไม้ประกับกาว (glued laminated timber)**

จุดเริ่มต้นการคิดค้นกาวที่ใช้ทำไม้ประกับกาวใน ค.ศ.1906 โดย Otto Hetzer เรียกกันในชื่อว่า “Hetzer Binder” หรือ “Hetzer system” และเกิดมาตรฐานไม้ประกับกาว DIN รหัส 1052 ในปี ค.ศ.1933 ทำให้งานวิจัยในกลุ่ม A เน้นการวิจัยในการออกแบบของไม้ประกับกาวให้สามารถดัดโค้งได้ โดย Oliver William A (1937) จนถึงช่วงปี ค.ศ. 1993 การทดลองใช้ไม้จากต้นเรด เมเปิ้ล และทิวลิป ซึ่งไม่ใช่ไม้ที่อยู่ในระบบอุตสาหกรรมไม้แปรรูป ในขณะที่มีการเริ่มพัฒนาไม้ประกับกาว ในปี ค.ศ.1974 ได้มีการคิดค้นรูปแบบการอัดประสาน แบบมัลติเลเยอร์ คอมโพสิท (multi layer composite) โดย Cziesielski (1974) ก่อนจะพัฒนาเป็นไม้อัดประสาน งานวิจัยในกลุ่ม B ในปี ค.ศ.2000 - 2015 การวิจัยเน้นประเด็นความสามารถในการรับแรงดึง ที่มักเกิดการวิบัติในส่วนคานด้านล่าง และการหาโมดูลัสยืดหยุ่นของคานไม้ประกับกาว โดยการใช้แผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ความหนา 2 - 3 มิลลิเมตร เสริมในชั้นด้านในส่วนล่างของคานไม้ประกับกาว และเน้นการใช้ไม้ชนิดโตเร็ว งานวิจัยในรหัส C1 ได้มีการวิจัยไม้ประกับกาว โดยการผสมผสานระหว่างไม้เนื้อแข็ง และไม้เนื้ออ่อน ในชั้นของไม้ประกับเพื่อเพิ่มความสามารถในการรับแรงดึงในชั้นที่เคยมีการทดลองและเกิดการวิบัติของไม้

**2) ไม้ไผ่ประกับกาว (glued bamboo laminated timber)**

การวิจัยโดยการนำไม้ไผ่ประกับกาวในช่วงแรก จากตารางที่ 1 ในงานวิจัยรหัส D1 เน้นการทดลองสร้างในรูปแบบ 2” x 4” (two by four) ตามแบบไม้แปรรูปมาตรฐาน จนไปถึงขั้นตอนการพัฒนาผลิตภัณฑ์ “Glu-Bam” ในช่วงปี ค.ศ.2008 ให้ได้ขนาดตามไม้แปรรูป เนื่องจากการใช้ไม้ไผ่เพื่อทำไม้ประกับกาวจะต้องมีส่วนที่เหลือทิ้งจำนวนมาก ทำให้ในช่วง ค.ศ.2011 - 2016 ตามงานวิจัยในกลุ่ม F ในปี ค.ศ.2016 ได้มีการวิจัยพัฒนาเศษไม้ไผ่ โดย Li, et al. (2016) เพื่อนำมาอัดเป็นแผ่นไม้ไผ่ (laminated bamboo lumber) ปัจจุบันงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับไม้ไผ่ประกับกาว ตามงานวิจัยรหัส G1 งานวิจัยของ Penellum., et al. ในปี ค.ศ.2018 ได้ทำการวิจัยไปในด้านความแข็ง (stiffness) โดยใช้วัสดุต่างๆ เข้ามาใช้ในชั้นของไม้ เพื่อเพิ่มความสามารถในการรับแรงด้านข้าง

**3) ไม้อัดประสาน (cross laminated timber)**

การวิจัยเรื่องไม้อัดประสาน มีจุดเริ่มต้นมาจากการนำไม้ประกับกาวประสานเป็น 3 ชั้น แบบมัลติเลเยอร์ คอมโพสิท (multi layer composite) ในรูปแบบการขวางแนวเสี้ยนไม้ จากตารางที่ 1 งานวิจัยในช่วงแรกในกลุ่ม H เน้นการวิจัยเชิงทดลองกับโครงสร้างอาคารขนาดเล็ก ในปี ค.ศ.1993 โดย P.Schuler and R.Guyer (อ้างอิงใน Schickhofer, 1994) มีจุดเชื่อมต่อโครงสร้างคานค่อนข้างมาก ก่อนจะมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ “X-lam” ขึ้นในช่วง

ค.ศ.2000 จนสามารถผลักดันไปสู่การกำหนดมาตรฐาน ANSI A190.1 ที่เกี่ยวข้องกับไม้อัดประสาน ในประเด็นความหนาแผ่นไม้ต่อชั้น (layer) ที่สามารถนำมาใช้ได้เห็นผล ภายหลังนานาชาติต่างพัฒนาไม้อัดประสานไปสู่อาคารขนาด 5 - 6 ชั้น โดยใช้ไม้ที่มีความยาว (tall wood) ตามงานวิจัยในกลุ่ม I รูปแบบการก่อสร้างเป็นผนังรับน้ำหนัก และอาคารสำเร็จรูปที่สามารถประหยัดเวลาในการก่อสร้างได้ร้อยละ 10 - 15 สอดคล้องกับงานวิจัยของ Scalet (2015) ที่กล่าวว่าสามารถลดเวลาก่อสร้างได้ร้อยละ 20 เทียบกับโครงสร้างคอนกรีต โดยกฎหมายในแคนาดา ไม่อนุญาตให้สร้างอาคารเกิน 6 ชั้น ไม้อัดประสานได้ถูกนำมาใช้เพื่อวิจัยวัสดุที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ตามงานวิจัยในกลุ่ม J ได้รวบรวมอาคารที่ใช้ไม้อัดประสานสร้างอาคารในรูปแบบอาคารสำเร็จรูป โดยคำนึงถึงการกักเก็บคาร์บอนในวัสดุที่เป็นส่วนประกอบของอาคาร ไม้อัดประสานสามารถผลิตได้หนามากถึง 18 เมตร หน้ากว้างได้มากสุด 5 เมตร เมตร (Harte, 2017) ในปี ค.ศ.2019 Dârmon R. and Lalu O. ได้มีการทดสอบการทนไฟของวัสดุไม้อัดประสาน รวมถึงการทดสอบในด้านวัสดุเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เปรียบเทียบกับมาตรฐานยูโร 5 (Eurocode 5)

**4) ไม้ไผ่อัดประสาน (cross bamboo laminated timber)**

จากตารางที่ 1 ในปี ค.ศ.2015 เริ่มมีการทดสอบเรื่องของ “Thermo-Hydro-Mechanically” ในวัสดุไม้ไผ่ที่นำมาอัดประสานเป็นแผ่น โดย Archila H.F. ต่อมาในปี ค.ศ. 2018 Ivens J., et al ศึกษาลักษณะเส้นใยของไม้ไผ่ เพื่อการใช้คุณสมบัติในเชิงโครงสร้าง โดยการประสานระหว่างชั้นของไม้ไผ่ (layer) ใช้อีพ๊อกซี่ เรซิน และแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ ในรูปแบบวัสดุคอมโพสิท จึงเป็นฐานข้อมูลให้ในปี ค.ศ. 2017 Archila., et al. ได้เริ่มทำการวิจัยทดลองผนังคอมโพสิท ไม้ไผ่อัดประสาน ในปัจจุบันการวิจัยทดลองที่เกี่ยวข้องกับไม้ไผ่อัดประสานจนได้ทดลองในด้านความแข็ง (stiffness) เนื่องจากฐานข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับไม้ไผ่มีเป็นจำนวนมากเพียงพอต่อการพัฒนางานวิจัยต่อไป

### 2.1.2 พัฒนาการไม้ประกับกาวในประเทศไทย

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับพัฒนาการไม้ประกับกาวในประเทศไทย แบ่งตามช่วงเวลาตั้งแค่ ค.ศ.1971 - 2016 พบว่าพัฒนาการไม้ประกับกาว (glue laminated timber) มีความสอดคล้องกับพัฒนาการไม้ประกับกาวในระดับนานาชาติ มีการนำมาใช้เป็นโครงสร้าง เพื่อเปรียบเทียบกับโครงสร้างไม้ตามลักษณะนิยม ส่วนงานวิจัยด้านไม้อัดประสาน (cross laminated timber) ไม่ได้ดำเนินไปตามขอบเขตที่ทำการศึกษาเนื่องจากยังไม่เคยมีการวิจัยในงานสถาปัตยกรรม มีเพียงพัฒนาการส่วนไม้ไผ่อัดประสาน (cross bamboo laminated timber) ในเชิงการทดลองขั้นตอนการผลิต โดยใช้วิธีการนำไอน้ำมาคลี่เพื่อผลิตไม้ไผ่อัดประสาน พัฒนาการไม้ประกับกาวใน

ประเทศไทย ไม่ได้เริ่มต้นจากการถูกพัฒนาในรูปแบบมัลติเลเยอร์ คอมโพสิท (multi-layer composite) เพียงแต่นำแนวคิดและฐานข้อมูลจากต่างประเทศเข้ามาเพื่อทำการพัฒนาต่อยอด ตามตารางที่ 2 แสดงผู้วิจัยที่เกี่ยวข้องกับไม้ประกับกาวในประเทศไทย โดยจัดผู้วิจัยเป็นกลุ่มด้วยตัวอักษรภาษาไทย จัดเป็นกลุ่มตามช่วงเวลา และการเปลี่ยนแปลงวิธีการวิจัย

ตารางที่ 2 แสดงผู้วิจัยที่เกี่ยวข้องกับไม้ประกับกาวในประเทศไทย

| ปี ค.ศ. | ไม้ประกับกาว | ไม้ไผ่ประกับกาว | ไม้อัดประสาน | ไม้ไผ่อัดประสาน |
|---|---|---|---|---|
| 1971 | [ก1] Mahittikul | | | |
| 1974 | **Multi layer composite** | | | |
| 1975 | [ก2] Teeravanich | | | |
| 1997 | **ASTM** | [ง1] Inpol | | |
| 2001 | | | | |
| 2007 | **JAS-112**<br>[ข1] Ravichot | [จ1] Lamlaksakul., et al | | |
| 2008 | [ข2] Kiratirattikal., et al. | [จ2] Chumphoo, et al. | | |
| 2009 | [ข3] Kiratirattikal., et al. | [จ3] Lamlaksakul | | |
| 2011 | | | | [ฉ1] Pruttikomol & Tangthong<br>[ฉ2] Fuangwiwat |
| 2012 | **ANSI/AITC A190.1** | | | |
| 2013 | | [จ4] Rittironk S. and Seingsuttivong C. | | |
| 2014 | [ข4] Kaosol & Prachaseri | | | [ช1] Oonjittichai., et al. |
| 2016 | [ค1] Fuangwiwat, Buajongkol & Intraprasit | | | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**1) ไม้ประกับกาว (Glued laminated timber)**

จากตารางที่ 2 ได้เริ่มวิจัยตั้งแต่ ค.ศ.1971 ในงานวิจัยรหัส ก1 โดย(2514) ได้นำไม้ยางพาราประกับกาวมาทดสอบคุณสมบัติการรับแรงดึง แรงกด ในรูปแบบคานเปรียบเทียบกับคานไม้ยางพาราทั้งชิ้น โดยในระยะแรก คานไม้ประกับกาว ได้ใช้คำจำกัดความว่า “small laminated beam” ก่อนจะใช้คำว่า “glue laminated timber” ใน ค.ศ.1994 ในประเทศไทยการทดสอบไม้ประกับกาวนิยมใช้มาตรฐาน ASTM (The American Society for Testing and Materials) ในปี ค.ศ.2007 จากงานวิจัยในกลุ่ม ข เป็นกลุ่มงานวิจัยที่เน้นการทดสอบคุณสมบัติของไม้ที่มีในประเทศไทย โดยอัศวิน ระวิโชติ (2550) ได้ทดลองไม้ประกับกาว ในเรื่องการรับแรงกด แรงดึง โดยใช้ไม้สนประดิพัทธ์และไม้สะเดา ปี ค.ศ. 2008

นพดล กีรติจิรัฐิติกาล และคณะ (2551) ทดสอบกำลังดัดของไม้ประกับกาว โดยใช้ไม้ยางพารา พบว่าไม้ยางพารา ขนาดสูง 1 นิ้ว กว้าง 3 - 4 นิ้ว ที่นำมาจากการปลูกสวนป่าอุตสาหกรรม ยังไม่เหมาะกับการนำมาใช้เพื่อทำคานไม้ประกับกาว เนื่องจากยังมีขนาดหน้าไม้แคบและมีความยาวที่น้อยกว่า 1.20 เมตร กาวสามารถรับน้ำหนักได้ 1030 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่ามาตรฐาน JAS รหัส 112-1996 นิยมถูกนำมาใช้ในงานวิจัยในช่วงปลายปี ค.ศ. 2007-2010 สอดคล้องกับในประเทศญี่ปุ่นที่มีการใช้มาตรฐาน JAS ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2008 จากวิจัยรหัส ค1 เน้นไปที่การนำไม้เนื้อแข็ง หรือไม้ที่มีคุณสมบัติดี เช่น ไม้พยุง ไม้เต็ง เพื่อทดสอบคุณสมบัติ และคุณภาพของการเข้ากันได้ระหว่างเนื้อไม้และกาว

**2) ไม้ไผ่ประกับกาว (glued bamboo laminated timber)**

จากตารางที่ 2 งานวิจัยกลุ่ม จ3 ในปี ค.ศ.2013 ชุติมณฑน์ เสียงสุทธิวงศ์ และ สุปรีดี ฤทธิรงค์ ทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุไผ่ประกับสำหรับใช้เป็นคานสำหรับอาคารสาธารณะขนาดเล็ก โดยเปรียบเทียบไม้ไผ่ตง และไม้เต็ง จากการศึกษาพบว่า ไม้ไผ่ประกับพันธุ์ไผ่ตง มีค่าโมดูลัสยืดหยุ่น 99,519.93 ksc. เปรียบเทียบกับไม้เต็ง ซึ่งเป็นไม้เนื้อแข็งมีโมดูลัสยืดหยุ่น 79,624 ksc.

**3) ไม้อัดประสาน (cross laminated timber)**

ไม้อัดประสานในกรณีของไม้ยางพารา และไผ่ จะเรียงตัวกันในทิศทางเดียวกัน ชั้นด้านบนสุดของไม้ประกับกาว (bottom fiber) จะต้องรับน้ำหนักมากสุด นักวิจัยส่วนมากจึงมีแนวคิดทำไม้ประกับกาวแบบตามแนวเสี้ยน (single laminated) มากกว่าการเรียงตัวแบบประสาน เนื่องจากการเรียงตัวประสานแนวเสี้ยนจะเสียเปรียบเชิงกล หากต้องการผลิตไม้อัดประสาน (cross laminated timber) จำเป็นต้องหาวิธีเพิ่มความสามารถในการรับน้ำหนักส่วนบนของไม้ประกับกาว (bottom fiber)

**4) ไม้ไผ่อัดประสาน (cross bamboo laminated timber)**

ได้เริ่มต้นมีการวิจัยและพัฒนา ตั้งแต่ช่วงปี ค.ศ.2011 โดยศึกษาความเป็นไปได้ในงานประดิษฐกรรม และงานเครื่องเรือน ตามงานวิจัย ฉ1 โสรัจ พฤฒิโกมล และ ประชม ทางทอง (2553) ยังไม่มีการวิจัยในส่วนของการใช้ไม้ไผ่อัดประสานเป็นส่วนประกอบของอาคาร โดยแนวคิดเริ่มต้นมาจากการศึกษาไม้อัดประสานจากในต่างประเทศ โดยคำนึงถึงความพร้อมในเรื่องไม้ไผ่ของประเทศไทย ต่อมาในปี ค.ศ.2014 ได้เริ่มมีการวิจัยเรื่องการผลิตไม้ไผ่อัดประสาน โดยกรรมวิธีการคลี่ด้วยไอน้ำ จากงานวิจัยรหัส ช1 โดยวรธรรม อุ่นจิตติชัย (2557)

### 2.1.3 สรุปพัฒนาการไม้ประกับกาวในระดับนานาชาติ และในประเทศไทย

จากการศึกษาพัฒนาการไม้ประกับกาวในระดับนานาชาติและในประเทศไทย ได้แบ่งงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับไม้ประกับกาวออกเป็นประเด็นด้านวัสดุภายในชั้นของไม้ประกับกาว (inner layer) วิธีการประกับ และชนิดของไม้ ตามช่วงเวลา พบว่าหมวดหมู่งานวิจัยของประเทศไทยมีความสอดคล้องกับงานวิจัยในระดับนานาชาติ เว้นแต่ในส่วนของไม้อัดประสานที่ไม่มีการวิจัยในลักษณะเป็นโครงสร้างอาคาร ทั้งในส่วนของไม้อัดประสาน และไม้ไผ่อัดประสาน งานวิจัยที่มีพัฒนาการมาอย่างต่อเนื่องจนถึงปี ค.ศ.2018 คืองานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับไม้ประกับกาว (glued laminated timber)

พัฒนาการงานวิจัยไม้ประกับกาวในประเทศไทย มีความสอดคล้องกับการพัฒนางานวิจัยไม้ประกับกาวในต่างประเทศ วิธีการที่ถูกวิจัยและพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง คือวิธีการประกับไม้ในทางเรียงกัน หรือเรียกว่า ไม้ประกับกาว (glue laminated timber) ไม้ที่ถูกใช้ในวิธีการของไม้ประกับกาวมากที่สุดคือ ไม้ยางพารา ขนาดของไม้ประกับกาวที่ผลิตในอุตสาหกรรมมีขนาดอ้างอิงกับระบบการผลิตของไม้แปรรูป ไม้ประกับกาวมีข้อได้เปรียบไม้แบบเต็มท่อน เนื่องจากผ่านขั้นตอนการผลิตทำให้มีขนาดที่เป็นฉาก

## 2.2 โครงสร้างไม้ประกับกาว

โครงสร้างไม้ประกับกาวเป็นโครงสร้างเชิงประกอบ โดยใช้วิธีลามิเนตไม้ ออกมาในรูปแบบวัสดุคอมโพสิท (composite) โดยวางชั้นของไม้มากกว่า 2 ชั้นขึ้นไป ในทางขนานแนวเสี้ยน (Glued laminated timber) สามารถเพิ่มประสิทธิภาพด้วยการใช้วัสดุมากกว่า 1 ชนิด โดยวิธีการเพิ่มชั้นในการประกับ เช่น กาว เหล็ก คาร์บอนไฟเบอร์ เหล็ก ฯลฯ (วินิต ช่อวิเชียร์, 2528) ไม้ประกับกาวมีวิธีการประกับ 3 รูปแบบ ได้แก่ 1) ประกับแนวตั้ง (Vertical) 2) ประกับแนวขวาง (Horizontal) และ 3) ประกับโค้ง (Arches) จากวิธีการประกับทำให้ไม้ประกับกาวสามารถออกแบบหนาตัดได้หลากหลาย มีขนาดไม่จำกัด และเป็นการใช้ประโยชน์จากไม้หน้าแคบได้อย่างคุ้มค่า

### 2.2.1 ขั้นตอนการผลิตไม้ประกับกาว

การผลิตไม้ประกับกาว แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่ 1) ขั้นตอนการลดตำหนิของไม้ 2) ขั้นตอนการไสคสามหนาของไม้ 3) ขั้นตอนการประกับกาว 4) ขั้นตอนการไสข้างและตัดขนาดความยาว

การอัดประสานไม้ในประเทศไทยในช่วงแรก เป็นลักษณะการอัดประสานโดยนำไม้มาเรียงในแคมป์รัด และทำการอัดกาวลาเท็กซ์ไว้จนกาวติดแน่นได้ที่ ใช้เวลา 1-2 วัน ต่อมาความต้องการในตลาดมากขึ้น จึงมีการนำเทคโนโลยีระบบไฮดรอริกซ์เข้ามาใช้ในการอัดประสาน มีการเรียงไม้ขึ้นไป

บนแทน แต่เครื่องอัดประสานระบบไฮดรอริกซ์มีข้อเสียเรื่องความแม่นยำในการอัดประสานน้อย และผลิตได้จำนวนจำกัดต่อวัน ทำให้มีนำเครื่องอัดประสานระบบไฟฟ้าเข้ามาทดแทนโดยสามารถผลิตได้ 170 แผ่น ต่อวัน (ข้อมูลจากการสัมภาษณ์: อินเตอร์วู๊ด ไทยแลนด์, 2561)

ภาพที่ 3 แสดงการเตรียมไม้สนอเมริกาเพื่ออัดประสานด้วยระบบไฟฟ้าภายในโรงงานของบริษัทอินเตอร์วู๊ด ภาพถ่ายเมื่อปี พ.ศ.2561

เครื่องอัดประสานไม้ด้วยระบบไฟฟ้า สามารถใช้กระแสไฟฟ้าบ้าน 220V กำลังไฟ 2.5 - 6 Anode ได้ โดยอาศัยแรงดังจากการอัด 2 แนว คือ แรงอัดทางตั้ง ใช้แรงดัน 800PSI แรงอัดทางด้านข้าง ใช้แรงดัน 500PSI ความหนาไม้อัดประสานที่เครื่องอัดประสานไฟฟ้าสามารถทำได้มีความหนาอยู่ที่ 15 – 150mm ขนาดความกว้างและความยาวมาตรฐานที่ 2.44 x 1.22 เมตร โดยค่าความชื้นของไม้จะมีมาตรฐานอยู่ที่ 10-12% ใช้เวลาในการอัดประสานที่ 55 – 225 วินาที ต่อไม้อัดประสานขนาดมาตรฐาน 1 แผ่น

### 2.2.2 กาวอัดประสานไม้ประกับกาว

ส่วนผสมสำคัญในกาวอัดประสานไม้ประกับกาว ขึ้นอยู่กับพื้นฐานของสารเคมีที่นำมาใช้ผสมกาว โดยมีจุดประสงค์เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับรอยต่อของไม้ เช่น รีซอลซิลนอล (Resorcinol) ฟีนอลรีซอลซีนอล (Fhenolresorcinol) และ เมลามีน (Melamine) โดยที่นิยมจะเป็นการนำมาผสมกับกาว ฟีนอล ฟอร์มาลดีไฮด์ (Phenol formadehyde) ซึ่งส่งผลให้มีคุณสมบัติทนต่อน้ำ ความชื้นที่

มีผลกับเนื้อไม้ และความร้อน (โชติ รักติประกร, 2505) โดยคุณสมบัติ และชนิดของกาว ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในช่วงที่ประกับไม้

1) ชนิดพอลิไวนิล แอซีเดต (Polyvinyl acetate: PVAc) กาวโพลิเมอร์ทำจากยางสังเคราะห์ ใช้ในกรณีที่ไม่ต้องรับน้ำหนักมาก มีส่วนผสมของโพลิเมอร์ในเนื้อกาว มีจุดเดือดต่ำที่ 72.5 องศาเซลเซียส จึงเหมาะกับการประกับไม้ด้วยวิธีประกับเย็น (cold press) น้ำหนักกาว 1.19 กิโลกรัม/ลบ.ซม.
2) ชนิดอีพีไอ (Emulsion Polymer Isocyanate: EPI) กาวสำหรับไม้ประกับกาวโดยเฉพาะ มีกาวสองชนิด ผสมกันเพื่อให้เกิดปฏิกิริยา ระหว่าง Isocyanate ในกรณีที่ไม่ต้องรับน้ำหนักมาก เนื้อจากกาวมีเนื้อยืดหยุ่น มีคุณสมบัติกันน้ำและสภาพอากาศภายนอกได้สูง มีมาตรฐาน ASTM D 2559-4 รองรับ และทดสอบปฏิกิริยา Isocyanate ตามมาตรฐาน JIS K 6806, CSN EN 14257, EN-204 เนื่องจากเป็นกาวที่มีหลายมาตรฐานรองรับ จึงทำให้สามารถส่งออกได้ง่าย
3) ชนิดเมลามีน (Melamine: MF/MUF) กาวเมลามีน และยูเรีย มีคุณสมบัติกันน้ำและสภาพอากาศภายนอกได้สูง ไม่สามารถรับน้ำหนักได้มาก
4) ชนิดฟีนอล รีซอลซีนอล (Phenol-resorcinol: PRF) กาวสำหรับเชื่อมกับวงกบไม้ประตูหน้าต่าง ในรูปแบบการเชื่อมแบบนิ้วมือ (Finger Joint) มีคุณสมบัติกันน้ำ และสารเคมีได้สูง มีเนื้อกาวสีดำ มีลักษณะเป็นกาวเหลว
5) ชนิดยูเลีย ฟอร์มาลดีไฮด์ (Urea-formaldehyde: UF) กาวมีส่วนผสมของพลาสติกและเรซิน สามารถแกะซ่อมบำรุงชิ้นส่วนไม้ได้รวดเร็ว แห้งเร็ว ติดทนนาน และสามารถกันน้ำได้อยู่ในระดับดี มีส่วนผสมของยูเลีย ฟอร์มาลดีไฮด์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สรุปประเภทของกาว 5 ชนิด มีเพียง 2 ชนิดที่สามารถนำเข้ามาประเทศไทยได้ คือ ชนิดพอลิไวนิล แอซีเดต และชนิดอีพีไอ (Emulsion Polymer Isocyanate: EPI) กาวชนิดภายนอก และรับน้ำหนักได้ไม่มาก ปัจจัยสำคัญอยู่ที่ปริมาณสารเมลามีน และยูเลีย ฟอร์มาลดีไฮด์ ซึ่งประเทศไทยมีกฎหมายในเรื่องการควบคุมสารเมลามีน ซึ่งก่อให้เกิดภาวะเรือนกระจกในขั้นตอนการผลิต

ภาพที่ 4 แสดงเครื่องทากาวเพื่อเตรียมไม้แปรรูปสำหรับนำมาใช้ในกระบวนการอัดประสาน ด้วยระบบไฟฟ้า ของบริษัทอินเตอร์วู๊ด ภาพถ่ายเมื่อปี พ.ศ.2561

**2.2.3 มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างไม้ประกับกาว**

มาฐานที่เกี่ยวข้องกับไม้ประกับกาว ส่งผลต่อขนาดของตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการทดสอบ เช่น การทดสอบความคงทนของกาว การทดสอบคุณสมบัติเชิงกล และการทดสอบในลักษณะใช้เป็นโครงสร้าง โดยมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับไม้ประกับกาว ยังถูกแบ่งตามตามแต่ละประเทศ ซึ่งมีผลจากชนิดของไม้ ข้อกฎหมายอาคารของแต่ละประเทศ

มาตรฐาน ASTM D143 เป็นรหัสของการทำตัวอย่างไม้เพื่อการทดสอบเหมาะกับการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลไม้ประกับกาว โดยตัดขนาดตัวอย่างในการทดสอบขนาด 30 x 30 มิลลิเมตร ยาว 600 มิลลิเมตร (ASTM D2555-17a, 2017)

มาตรฐาน ASTM D245 - 06 เป็นรหัสเรื่องทฤษฎีการเลือกไม้ การแบ่งเกรดของไม้โดยใช้วิธีการพิจารณาด้วยการมอง เพื่อแยกเกรดไม้ในการทดสอบคุณสมบัติ และกรรมวิธีเพิ่มคุณภาพของไม้ และเป็นการนำทรัพยากรไม้มาใช้อย่างเต็มประสิทธิภาพ (ASTM D245-06, 2019) โดยเกรดของไม้ แบ่งเป็น 1) เกรดโครงสร้าง 2) เกรดที่ไม่สามารถใช้เป็นโครงสร้าง โดยนำมาเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยโครงสร้างพื้นฐาน รวมถึงการแบ่งขนาดของชิ้นส่วนโครงสร้างตามมาตรฐาน ยกตัวอย่างเช่น เสา ขนาดหน้าตัดไม้ (Cross section) ไม่น้อยกว่า 5x5 นิ้ว หรือขนาดของโครงเคร่า และส่วนประกอบ (Stress-Rated Boards) ต้องใช้ไม้ขนาดความหนาไม่น้อยกว่า 2 นิ้ว

มาตรฐาน ASTM D3737 -18e1 เป็นรหัสที่เกี่ยวข้องกับการทฤษฎีโครงสร้างไม้ประกับกาว โดยผลิตภัณฑ์ที่นำมาใช้ต้องได้รับการรับรองมาตรฐานวัสดุจากมาตรฐาน ANSI A190.1 และ CSA0122 โดยคุณสมบัติเชิงกลที่ต้องพิจารณาเกี่ยวกับมาตรฐาน ASTM D3737 -18e1 ได้แก่ Bend strength, Compressive strength, Flexural strength, MOR, MOE, Shear Modulus, Tensile strength (ASTM D3737-18e1, 2018) โดยวัดจากแรงเค้นของแรงดังกล่าว ตั้งแนวตั้ง และแนวนอน

มาตรฐาน ASTM D5456 (Standard Specification for Evaluation of Structural Composite Lumber Products) เป็นรหัสมาตรฐานที่เกี่ยวของกับโครงสร้างที่ทำจากวัสดุคอมโพสิท (Structural Composite Lumber: SCL) ตามข้อกำหนดของ AITC 402 โดยทดสอบแรงดึงขนานเสี้ยนร่วมกับการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลตามมาตรฐาน

มาตรฐาน ANSI/AITC A190.1 - 1973 มาตรฐานผลิตภัณฑ์ไม้ของประเทศสหรัฐอเมริกา (Approved American National Standard) โดยมีจุดประสงค์เพื่อเพิ่มมูลค่าการส่งออกไม้ และผลิตภัณฑ์ไม้ทางวิศวกรรม เช่น มาตรฐานความชื้นของไม้ การเชื่อมโยงกับการนำไปออกแบบโครงสร้างกับมาตรฐาน ASTM D3737 รวมถึงการคัดเลือกไม้ในการเลื่อย เพื่อแบ่งเกรดไม้

มาตรฐาน AS/NZS 4357.0:2005 เป็นมาตรฐาน Australia/New Zealand standard เริ่มใช้มาตั้งแต่ ค.ศ.1995 โดยเน้นเรื่องการตรวจสอบไม้วีเนียร์มาใช้เพื่อประกอบเป็นโครงสร้าง (Laminated Veneer Lumber: LVL) รวมถึงการผลิตไม้ที่เน้นการเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม มีฉลากรับรองเรื่องการใช้สารฟอร์มาลดีไฮด์ เช่น ระดับ E0 E1 E2 ในการบ่งชี้ปริมาณสารฟอร์มาลดีไฮด์

มาตรฐาน มอก.178-2538 เป็นไม้ฐานไม้อัด แบ่งการผลิตไม้เป็น 3 รูปแบบ ได้แก่ 1) รูปแบบใช้งานภายนอก 2) รูปแบบใช้งานภายใน 3) รูปแบบใช้งานชั่วคราว แบ่งมาตรฐานของไม้จากการพิจารณาชั้นของไม้ที่นำมาอัดกาว ส่วนชั้นที่อยู่ภายนอกต้องไม่มีตาไม้ ไม่มีรอยผุ วางในแนวขนานเสี้น มีสีของไม้ที่ใกล้เคียงกัน ส่วนขั้นกลางของไม้ พิจารณาจากการแนบสนิทกันของไม้ มากกว่าการพิจารณาคุณภาพสีของไม้

นอกจากมาตรฐานที่กล่าวมาข้างต้น ยังมีรายละเอียดหมวดย่อยของมาตรฐานจำนวนมาก ที่แต่ละประเทศนำมาใช้เพื่อเพิ่มมูลค่าให้ผลิตภัณฑ์ไม้ทางวิศวกรรม และการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลการออกแบบโครงสร้าง ซึ่งใช้กับไม้อัดประสาน (Cross laminated timber) หรือการนำมาตรฐานไปปรับเป็นของแต่ประเทศ

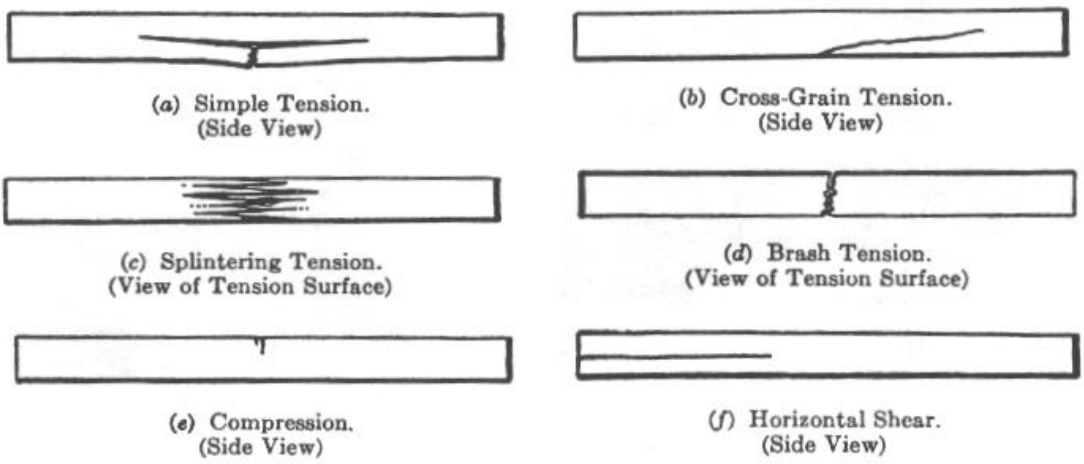
### 2.2.4 คุณสมบัติเชิงกลของวัสดุไม้

คุณสมบัติเชิงกลของวัสดุไม้ (Mechanical properties of timber) เป็นปฏิกิริยาที่เกิดกับวัสดุไม้จากแรงกระทำภายนอก เพื่อทดสอบความแข็งของวัสดุ (Hardness) ความยืดหยุ่น (Elastic) ความเหนียวของวัสดุ (Ductility) เพื่อการพิจารณาในการนำมาใช้เป็นโครงสร้างรับน้ำหนัก โดยส่วนที่

พิจารณาเป็นหลัก คือ ความเครียดของวัสดุ (Strain) และการเปลี่ยนรูป (Deformation) อันเกิดจากแรงเค้นที่เข้ามากระทำกับวัสดุ ข้อจำกัดในการออกแบบโครงสร้างไม้ การรับแรงกดอัดในแนวเสี้ยนสามารถรับได้ถึง 3 เท่าของการรับแรงเฉือน โครงสร้างไม้มักวิบัติในส่วนที่มีหน่วยแรงเข้มข้น (Stress concentration) เช่น จุดเชื่อมต่อของโครงสร้างไม้ การวิบัติของโครงสร้างไม้สามารถวิบัติได้จากทั้งแรงดึง แรงกดอัด และวิบัติตามแนวเสี้ยน (neutral axis)

1) ความเครียดของวัสดุ (Strain) แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ ได้แก่ แบบเส้นตรง (Linear) เกิดจากแรงดึง และแรงกด ความเครียดแบบเฉือน (Shear) เกิดจากแรงเฉือนมีค่าความเครียดเท่ากับระยะเคลื่อนที่ระหว่างระยะห่างในแนวระนาบ
2) ความเค้นของวัสดุ คือแรงต้านภายในวัสดุ ที่เกิดขึ้นเมื่อมีแรงกระทำจากภายนอก โดยมีพื้นที่ในการคิด 1 หน่วย ต่อตารางพื้นที่ ความเค้นมีทั้งรูปแบบ ความเค้นแรงดึง (Tensile Stress) ความเค้นจากแรงอัด (Compressive Stress) ความเค้นจากแรงเฉือน (Shear Stress)
3) ความเหนียว (Toughness) วัสดุที่มีความเหนียวมาก จะสามารถรับแรงเค้นได้ในระยะเวลาที่นาน หรือเรียกอีกอย่างได้ว่าเป็นวัสดุที่สามารถรับความเครียดได้มาก มีการดูดซับพลังงานไว้ได้โดยไม่แตกหัก โดยวิธีที่นิยมใช้ทดสอบความเหนียว (Toughness) คือวิธีการทดสอบแรงกระแทก (Impact Test)
4) การเปลี่ยนรูป (Deformation) แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ ได้แก่ การเปลี่ยนรูปแบบอีลาสติก (Elastic Deformation) เป็นการเปลี่ยนรูปเมื่อปลดแรงกระทำ มีการคืนตัวกลับมาเป็นรูปเดิม และ การเปลี่ยนรูปแบบพลาสติก (Plastic Deformation) เป็นการเปลี่ยนรูปแบบที่เกิดขึ้นหลังปลดแรงกระทำ และยังคงรูปที่เปลี่ยนไป เมื่อวัสดุเกิดการเปลี่ยนรูปจนไม่สามารถคงไว้ และเกิดการแตกหัก จะเกิดการแตกหักจากชั้นล่าง (Simple Tension) ในกรณีที่แตกหักบริเวณรอยต่อ ส่วนการแตกหักแบบ Compression และ แบบ Horizontal shear มักเกิดจากการถูกกระทำจากแรงภายนอกในรูปแบบแรงกระแทก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY




ภาพที่ 5 แสดงรูปแบบการวิบัติของโครงสร้างคานไม้

**2.2.5 วิธีวิเคราะห์ไฟไนอิลิเมนต์ (Finite element analysis)**

กระบวนการวิเคราะห์ไฟไนอิลิเมนต์เป็นส่วนหนึ่งของการเพิ่มประสิทธิภาพในการตัดสินใจออกแบบอาคาร ในช่วงแรกเน้นในด้านการการจำลองเมทริกซ์ของโครงถัก จนถึงช่วงปี ค.ศ.1956 กระบวนการวิเคราะห์ไฟไนอิลิเมนต์ ได้ถูกนำมาใช้กับงานวิศวกรรม เช่น ความยืดหยุ่นของโครงถัก คาน และการวิเคราะห์องค์ประกอบของอาคาร (Turner et al., 1956) การวิเคราะห์โครงสร้าง ระบบ ANSYS™ ได้ถูกใช้เป็นครั้งแรก ค.ศ.1971 โดยใช้วิธีการวิเคราะห์เชิงตัวเลขในการทำงานร่วมกันของโครงสร้างแบบตาข่าย (Mesh) และได้มีการพัฒนาซอฟต์แวร์ภายหลังการเกิดคอมพิวเตอร์ ได้มีการคิดระบบ “XFEM” (Extended Finite Element Method) หรือเรียกว่าทฤษฎี Bubnov-Galerkin โดยแบ่งการวิเคราะห์ค่าสเปกตรัมของโครงสร้างแบบตาข่าย ตามสูตรคำนวณดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

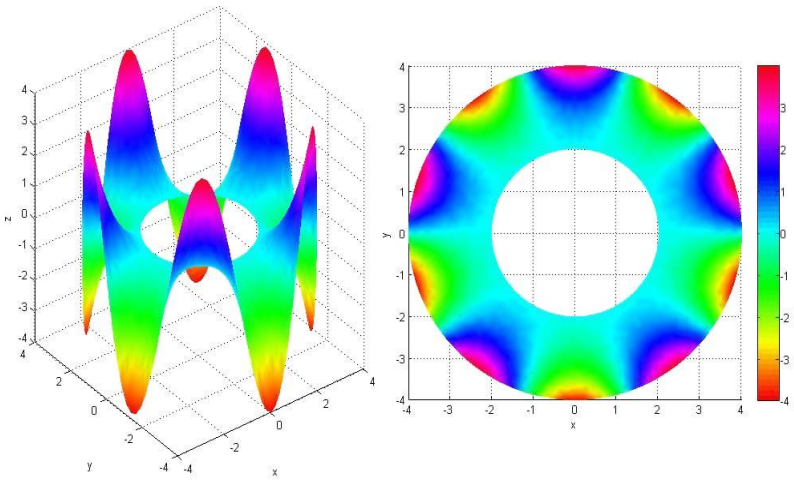
$$U(x) = u^h(x) + e(x)$$

เมื่อ $u^h(x)$ เป็นจำนวนประมาณ ที่แตกต่างจากการจำลองจริง e (x) เป็นจำนวนที่ยังไม่ ทราบ เพื่อให้ได้การคำนวณตามความเป็นจริง จึงต้องเพิ่มค่า (x) เพิ่มเข้าไป เพื่อให้ $u^h(x)$ เป็นพาราเมทริกในฟังก์ชั่นต่อเนื่องได้ $u^h(x)$ จึงเป็นผลรวมของ $\phi i\,(x)$ ตามค่าสัมประสิทธิ์ของ $\alpha i(x)$

การแสดงผลออกมาเป็นสีของอุณหภูมิ เพื่อใช้ในการแยกแยะองค์ประกอบตามประเภทของวัสดุ รวมถึงการใส่ข้อมูลของวัสดุ เช่น ความหนาแน่นของวัสดุ (Density) ค่าคุณสมบัติเบื้องต้นประเภทของวัสดุที่มีให้ในซอฟต์แวร์ทางด้าน FEA เพื่อดูระดับสีของค่า u ที่แสดงออกมาเป็นแถบสีแสดงผล ตามสมการเชิงอนุพันธ์ย่อย (Partial Differential Equations: PDE) ดังนี้

$$u^h(x) = \sum_{i=1}^{n} \alpha i \, \phi i \, (x)$$

สมการเชิงอนุพันธ์ย่อย (Partial Differential Equations: PDE) สามารถแบ่งการวิเคราะห์ได้เป็นแบบรูปไข่ (elliptic) และแบบไฮเปอร์โบริก (hyperbolic) วิธีวิเคราะห์ไฟไนอิลิเมนต์ได้เข้ามาแก้ปัญหาวิธีการวิเคราะห์แบบ Bubnov-Galerkin ที่ไม่เหมาะกับการวิเคราะห์แบบไฮเปอร์โบริก (Jacob Fish and Ted Belytschko, 2007) ทั้งนี้การเลือกวิธีวิเคราะห์ในรูปแบบทั้งสองขึ้นอยู่กับแบบจำลองที่สร้าง รูปแบบเคลื่อนไหว (dynamic) หรือเป็นรูปแบบไม่เคลื่อนไหว (static) หรือเป็นโครงสร้างที่มีภาระคงที่ ยิ่งสร้างจำนวนอิลิเมนต์ละเอียด ความผิดพลาดในการคำนวณก็จะยิ่งลดน้อยลง



ภาพที่ 6 แสดงการวิเคราะห์แบบรูปไข่ (elliptic) และแบบไฮเปอร์โบริก (hyperbolic)

การแสดงผลด้วยสเปกตรัมสีในระบบ ANSYS™ โดยวิธีการวิเคราะห์ไฟไนอิลิเมนต์ (finite element analysis: FEM) ให้ข้อแนะนำค่า “acceptable Skewness mesh metrics spectrum” ที่ค่า 0.80 – 0.94 ในระดับที่สามารถยอมรับได้หรือมีค่าไม่ควรเกิน 0.95 และค่า “Orthogonal Quality mesh metrics spectrum” ที่ 0.15 - 0.20 ในระดับที่สามารถยอมรับได้และไม่ควรน้อยกว่าค่า 0.1

**Skewness** mesh metrics spectrum

| Excellent | Very good | Good | Acceptable | Bad | Unacceptable |
|---|---|---|---|---|---|
| 0-0.25 | 0.25-0.50 | 0.50-0.80 | 0.80-0.94 | 0.95-0.97 | 0.98-1.00 |

**Orthogonal Quality** mesh metrics spectrum

| Unacceptable | Bad | Acceptable | Good | Very good | Excellent |
|---|---|---|---|---|---|
| 0-0.001 | 0.001-0.14 | 0.15-0.20 | 0.20-0.69 | 0.70-0.95 | 0.95-1.00 |

ภาพที่ 7 แสดงข้อแนะนำในการวิเคราะห์โครงสร้างแบบตาข่าย (Mesh) ของ ANSYS™

**2.2.6 ไม้ยางพาราประกับกาว**

ไม้ยางพาราที่ผ่านการแปรรูป ที่ผ่านกระบวนการอบน้ำยาแล้ว แม้จะสามารถใช้งานได้ แต่ก็มีหน้าไม้ที่แคบ เทคนิคการอัดประสาน จึงถูกนำมาใช้มากในไม้ยางพาราแปรรูป เพื่อให้ได้ไม้ขนาดหน้ากว้างตามที่ตลาดต้องการ หลังจากไสไม้เปิดข้าง ไม้จะถูกมาเรียงกลุ่มสี เพื่อทำการต่อเส้น โดยใช้วิธีการต่อเส้นแบบฟันปลา (Finger Joint) ก่อนจะนำไปเข้าเครื่องจักร ทากาวอัดประสาน ยางพาราในประเทศไทยถูกส่งออกอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากเป็นไม้สีขาว เป็นไม้ที่ถูกส่งออกจากไทยอย่างต่อเนื่อง หลังจากไม้สัก ตลาดโลกจึงเรียกว่า สักขาว (White teak) ประเทศไทยมีการปลูกสวนยางพารา มากกว่า 18 ล้านไร่ (ศูนย์ศึกษาการค้าระหว่างประเทศ คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย, 2556) 80% ของสวนยางอยู่ทางภาคใต้ของประเทศ เกษตรกรจะปลูกยางเพื่อรีดน้ำยางพารา โดยผลพลอยได้จากช่วงเวลาที่ทำสวนยางในรอบ 25 ปี เกษตรกรจะทำการโค่นสวนยาง ซึ่งทำให้ได้ไม้ยางพาราจำนวนมาก

ภาพที่ 8 ไม้ยางพาราชนิดเสาที่จำหน่ายในระบบอุตสาหกรรม

ขนาดของไม้ยางพาราที่นิยมนำมาใช้ประโยชน์ในงานก่อสร้างขั้นพื้นฐาน ได้แก่ไม้แปรรูปที่นำมาใช้เป็นเสาเข็ม และไม้ค้ำยัน โดยส่วนประกอบของอาคารไม้ การใช้ไม้เป็นเสาเข็ม ไม่เป็นที่นิยม เนื่องจากจะต้องวางเสาเข็มให้ลึกกว่าระดับน้ำ เพื่อให้หัวเสาไม่เสียหาย รวมถึงเพื่อให้แมลง ศัตรูพืชไม่สามารถทำลายหัวเสาเข็มได้ ขนาดที่นิยมใช้ไม้ในการทำเสาเข็ม ได้แก่ขนาด 6 นิ้ว ยาว 6 เมตร , 5 นิ้ว ยาว 5 เมตร, 4 นิ้ว ยาว 4 เมตร และ 3 นิ้ว ยาว 3 เมตร เป็นต้น ส่วนไม้แปรรูปค้ำยัน ที่ใช้ในการรับน้ำหนักจากโครงสร้าง นิยมใช้ไม้ยางพารา ขนาด 1 ½ x 3 นิ้ว หรือ. 2 x 4 นิ้ว เนื่องจากหากใช้เหล็กในการค้ำยัน ทำให้มีส่วนต้นทุน เช่น ตัวรัด (Clamp) ที่มีต้นทุนสูงกว่าไม้ จึงทำให้ในส่วนค้ำยันนิยมใช้ไม้มากกว่า (สำนักวิจัยเศรษฐกิจและผลิตผลป่าไม้, 2547)

คุณสมบัติเชิงกลไม้ยางพารา เปรียบเทียบกับไม้ปลูกเชิงพาณิชย์ เช่น ไม้สัก ไม้ตะกู ไม้ยูคาลิปตัส ซึ่งเป็นข้อมูลในสภาพเปียก หากไม้แห้งตามมาตรฐานความชื้น 12% จะมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นประมาณ 1.5 เท่า ของคุณสมบัติในสภาพเปียก จากการศึกษาพบว่าไม้ยางวพารา มีค่าสัมประสิทธิ์การแตกหัก และค่าสัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่นใกล้เคียงกับไม้สัก เมื่อเทียบกับไม้ปลูกเชิงพาณิชย์อย่างเช่น ตะกู และไม้ยูคาลิปตัส

ตารางที่ 3 แสดงคุณสมบัติเชิงกลไม้ยางพาราเปรียบเทียบกับไม้ปลูกเชิงพาณิชย์

| ชนิด | การดัดสถิตย์ | | ความเค้นอัดตั้งฉากเสี้ยน (MPa) | ความเค้นอัดขนานเสี้ยน (MPa) | ความเค้นเฉือนขนานเสี้ยน (MPa) | ความแข็ง (N) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | MOR (MPa) | MOE (MPa) | | | | |
| ไม้ยางพารา | 95.00 | 9,414.00 | 20.11 | 46.00 | 15.80 | 5,276.00 |
| ไม้ตะกู | 58.23 | 5,518.43 | 4.44 | 37.02 | 14.72 | 5,276.00 |
| ไม้ยูคาลิปตัส | 76.00 | 7,188.00 | - | 36.00 | 12.30 | 7,167.00 |
| ไม้สัก | 100.00 | 10,089.00 | - | 49.00 | 14.60 | 4,864.00 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**2.2.7 การใช้ไม้ไผ่ร่วมกับการผลิตไม้ยางพาราประกับกาว**

ไผ่เป็นพืชที่มนุษย์นำมาใช้ประโยชน์ในการก่อสร้าง เนื่องจากเป็นพืชที่หาได้ง่าย เป็นพืชโตไว สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ภายในระยะเวลา 4-5 ปี สามารถใช้ประโยชน์ทั้งในลักษณะการนำมาแปรรูป หรือสามารถใช้ได้เลยโดยไม่ต้องแปรรูป ในพื้นที่ที่มีไม้ไผ่มาก ชาวบ้านิยมนำมาก่อสร้างเป็นเรือนเครื่องผูก เพราะมีต้นทุนการก่อสร้างที่ไม่สูง สามารถทำได้เอง โดยไม่ต้องจ้างแรงงาน (Correal et al., 2009) ชนิดของไม้ไผ่ในประเทศไทยที่เหมาะสมในการนำมาใช้เป็นโครงสร้าง มี 2 ชนิด ได้แก่

ไผ่ตง (Dendrocalamus asper Backer) และไผ่เลี้ยง (Bambusa sp.) (สุชาติ ไทยเพชร, 2547) มีคุณสมบติสามารถใช้เป็นวัสดุก่อสร้างได้ มีคุณสมบัติเชิงกลใกล้เคียงกับไม้ยางพารา หากมีการรักษาเนื้อไม้ที่ดีพอ อายุที่เหมาะสมกับการใช้คือลำต้นไผ่ที่มีอายุ 4-5 ปี (บุญส่ง สมเพราะ, 2556)

1) ลักษณะของทั่วไปของไม้ไผ่

ไผ่เป็นพืชที่มีลักษณะเป็นกอ ไม้ไผ่เป็นพืชที่ไม่มีฉแกของกิ่ง ลำต้นยาว มีลักษณะเป็นทรงหลอด (tube) ภายในกลวง ทำให้สามารถตัด และแยกส่วนได้ด้วยเครื่องมือที่สามารถหาได้ทั่วไป เช่น มีเพร้า ใบเลื่อย เนื่องจากบริเวณผิวรอบของไม้ไผ่ประกอบด้วยซิลิกา ทำให้ไม่มีการร่อนออกของผิว แต่จะทำให้เครื่องมือที่ใช้ตัดเสียความคมได้ (Jules J.A. Janssen, 1988) ทำให้ต้องตรวจสอบใบเลื่อยในการทำ โครงสร้างของไม้ไผ่สามารถรับแรงจากแผ่นดินไหว และลมพายุ จึงเหมาะกับการนำมาใช้เป็นโครงสร้างในพื้นที่ที่เกิดแผ่นดินไหว และลมพายุ

2) คุณสมบัติเชิงกลของไผ่

มีลำปล้องขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 8 – 18 เซนติเมตร ความยาวประมาณ 20 เมตร (สอาด บุญเกิด, 2528) มีความหนาแน่นของวัสดุ (Density) 767 kg/m$^3$ มีการหดตัวด้านรัศมีรอบวง 4.5% และ ความหนา 4.2% ความยาว 0.1% (สุชาติ ไทยเพชร, 2547) ไผ่ตงสด จะมีความชื้นอยู่ที่ 38-60% ซึ่งเป็นปัจจัยที่ส่งผลกับการออกแบบโครงสร้าง จึงจำเป็นต้องปรับความชื้นของไผ่ให้ได้ระดับความชื้น (Moisture Content) ที่ระดับ 11% ก่อนนำมาแปรรูป การวิบัติของไม้ไผ่ (Chung and Yu, 2002) พบว่ามีรูปแบบการวิบัติ 2 แบบ ได้แก่ แบบ End bearing ซึ่งจากความชื้นของไม้ไผ่ และ แบบ Splitting เกิดจากชิ้นส่วนที่มีรอยร้าว หรือมีเส้นใยที่ไม่สมบูรณ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 4 แสดงคุณสมบัติเชิงกลของไผ่ที่พบในประเทศไทย

| ชนิดไผ่ | ความหนาแน่น (Density) (kg/m$^3$) | กำลังดัด (MPa) | กำลังอัดขนานเสี้ยน (MPa) | กำลังดึงขนาดเสี้ยน (MPa) | กำลังเฉือนขนานเสี้ยน (MPa) | โมดูลัสยืดหยุ่น (MPa) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ไผ่ป่า | 710-856 | 156-175 | 39-57 | 98-196 | 8-10 | 19-370 |
| ไผ่สีสุก | 630-935 | 79-200 | 31-85 | 91-421 | 11-14 | 54-878 |
| ไผ่หวาน | - | 81 | 68 | 127 | 13 | 23 |
| ไผ่เลี้ยง | 670-848 | 71-265 | 38-92 | 104-271 | 11-14 | 122-257 |
| ไผ่บง | - | 181 | 35 | 103 | - | 147-300 |
| ไผ่บงใหญ่ | 520 | 69 | 35 | - | 20 | 66 |

| ชนิดไผ่ | ความหนาแน่น (Density) ($kg/m^3$) | กำลังดัด (MPa) | กำลังอัดขนานเสี้ยน (MPa) | กำลังดึงขนาดเสี้ยน (MPa) | กำลังเฉือนขนานเสี้ยน (MPa) | โมดูลัสยืดหยุ่น (MPa) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ไผ่ตง | 586-779 | 13-191 | 10-73 | 9-385 | 1-14 | 60-702 |
| ไผ่หก | 560-961 | 100-125 | 31-61 | 76-96 | 5-9 | 86-223 |
| ไผ่เป๊าะ | - | 152 | 38 | - | - | 69 |
| ไผ่ซางคำ | 560 | 100 | 53 | - | 24 | 91 |
| ไผ่ลำมะลอก | 790-935 | 117 | 50-58 | - | 4-7 | 190 |
| ไผ่ซางนวล | 727-796 | 152-189 | 58-63 | 244-261 | 12-15 | 292-650 |
| ไผ่ซาง | 572-843 | 81-239 | 55-87 | 107-394 | 12-15 | 112-191 |
| ไผ่ไร่ | 620-750 | 108-130 | 41-53 | 164-438 | 8-11 | 31-381 |
| ไผ่รวก | 472-845 | 106-208 | 41-83 | 118 | 5-11 | 78-177 |
| ไผ่รวกดำ | 768-944 | 135-159 | 50-71 | 150-213 | 8-10 | 314-580 |

ที่มา: บุญส่ง สมเพราะ (2556); สุทธิชา บรรจงรัตน์ และ สุปรีดี ฤทธิรงค์ (2556); ธนา อุทัยภัตรากรู (2559)

จากการศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของไผ่ พบว่าชนิดของไผ่ป่า ไผ่เลี้ยง ไผ่สีสุก ไผ่ซางนวล และไผ่ตง มีความเหมาในการนำมาใช้เป็นโครงสร้าง มีค่าเฉลี่ยที่ไม่เหวี่ยง มีความระยะห่างของค่าเฉลี่ยที่แน่นอน และมีความหนาแน่น (Density) ของวัสดุมากกว่า 600 $kg/m^3$ มีความเหมาะสมในการนำมาใช้เป็นโครงสร้าง ในส่วนของไผ่รวก และไผ่รวกดำ แม้ว่าจะมีความหนาแน่นของไผ่ที่สามารถใช้ในโครงสร้างได้ แต่คุณสมบัติแรงดึงขนานเสี้ยน ยังมีน้อย ไม่สามารถรับเป็นโครงสร้างคานได้

3) การคัดเลือกไม้ไผ่เพื่อใช้ในการประกับกาว

ไม้ไผ่ที่เหมาะสมกับการนำมาใช้ในงานก่อสร้าง และในการผลิตไม้ไผ่ประกับกาว ประกอบด้วยการตัดเพื่อเลือก 2 วิธี ได้แก่ วิธีตัดแบบทั้งหมด (Clear cutting system) เป็นการตัดทั้งหมด ทั้งลำต้นและทุกลำต้นในพื้นที่ และวิธีการตัดแบบเลือก (Copy selected system) เป็นการเลือกเฉพาะส่วนที่ต้องการ มีความแข็งแรง เหมาะกับการเลือกมาทำไม้ไผ่ประกับกาว และเป็นวิธีทำให้พื้นที่ปลูกไผ่ มีผลิตผลที่ยั่งยืนกว่า เนื่องจากไผ่เป็นพืชที่มีลักษณะเป็นกอ ทำให้ลำต้นอยู่ด้านในกอไผ่ เป็นต้นที่มีอายุมากกว่าต้นอยู่ด้านนอกของกอไผ่ ดังนั้นการตัดกอไผ่ จึงนำไปใช้ประโยชน์หลายอย่าง เช่น งานหัตถกรรม งานตกแต่ง งานก่อสร้าง (ทรงเกียรติ เที้ยธิทรัพย์, 2545)

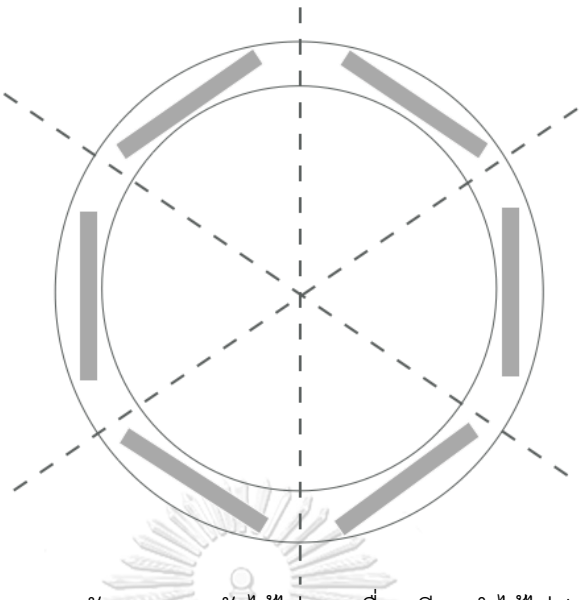
ไผ่ที่มีอายุเหมาะสมในงานก่อสร้างคือ ลำต้นไผ่ที่มีอายุ 4-6 ปี เนื่องจากลำต้นจะมีความเหนียว มีขนาดลำต้นหนา การประมาณอายุต้นไผ่สามารถประมาณอายุได้ จากวิธีสังเกตรอยที่โคนใบที่หลุดออกจากลำต้น (Counting by the leaves scar) ซึ่งจะหลุดร่วงในทุกปีในช่วงฤดูร้อนของประเทศไทย ทำให้สามารถประมาณอายุของไผ่ได้ ประกอบการการดูสีของลำต้น (Color of culm) ไผ่ที่มีอายุ 1-2 ปี จะมีผงแป้งสีขาวติดอยู่บริเวณลำต้น และมีกาบหุ้มลำต้น ช่วงเวลาในการตัดไผ่เพื่อนำมาใช้ไม่ควรตัดในช่วงฤดูฝน เนื่องจากลำต้นไผ่จะเต็มไปด้วยสารอาหาร ควรตัดในช่วงฤดูแล้ง หรือเรียกว่าช่วงที่ไม้จำศีล เพื่อให้ลำต้นมีอาหารน้อย ลดปัญหาการขึ้นของศัตรูพืช เช่น มอด ปลวก และแมลงอื่น ๆ

ภาพที่ 9 แสดงลำไม้ไผ่สำหรับเตรียมไม้ไผ่ร่วมกับการผลิตไม้ยางพาราประกับกาว

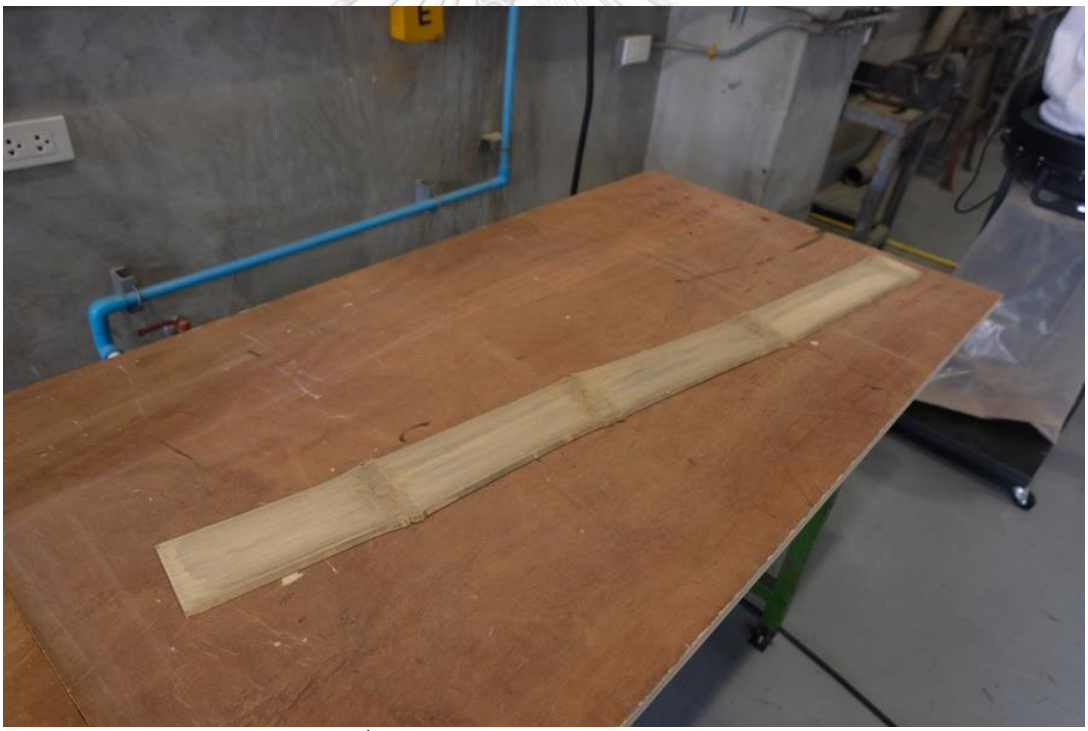
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4) การเตรียมไม้ไผ่ร่วมกับการผลิตไม้ยางพาราประกับกาว

การอัดประสานไม้ไผ่ประกอบจากไม้ไผ่แผ่น (bamboo-based composite) หลายๆ ชิ้น และวางซ้อนกันหลายๆเป็นเป็นชั้นของไม้ อย่างไรก็ตามการอัดประสานไม้ไผ่ ก็มีข้อเสียที่น้ำหนักของชิ้นไม้ที่มีน้ำหนักมาก เนื่องจากไม้ไผ่ต้องทาเคลือบเรซิ่นจำนวนมาก และต้องใช้เวลาในกระบวนการอัดนานนาน ซึ่งจะส่งผลกับต้นทุนในการสร้าง (Correal et al., 2009)



ภาพที่ 10 แสดงลักษณะการตัดไม้ไผ่ตามเพื่อเตรียมทำไม้ไผ่ประกับกาว



ภาพที่ 11 แสดงแผ่นไม้ไผ่ หนา 5 มิลลิเมตร

ภาพที่ 12 แสดงแผ่นไม้ไผ่ หนา 5 มิลลิเมตร

อุตสาหกรรมไม้ยางพารา ยางพาราถูกส่งออกอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากเป็นไม้สีขาว เป็นไม้ที่ถูกส่งออกจากไทยอย่างต่อเนื่อง หลังจากไม้สัก ตลาดโลกจึงเรียกว่า สักขาว (White teak) ประเทศไทยมีการปลูกสวนยางพารา มากกว่า 18 ล้านไร่ (ศูนย์ศึกษาการค้าระหว่างประเทศ คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย, 2556) 80% ของสวนยางอยู่ทางภาคใต้ของประเทศ คิดเป็น 240,000 ไร่ ต่อปี เกษตรกรจะปลูกยางเพื่อรีดน้ำยางพารา โดยผลพลอยได้จากช่วงเวลาที่ทำสวนยางในรอบ 25 ปี เกษตรกรจะทำการโค่นสวนยาง ซึ่งทำให้ได้ไม้ยางพาราจำนวนมาก ไม้ยางพาราที่ผ่านการแปรรูป ที่ผ่านกระบวนการอบน้ำยาแล้ว แม้จะสามารถใช้งานได้ แต่ก็มีหน้าไม้ที่แคบ เทคนิคการอัดประสาน จึงถูกนำมาใช้มากในไม้ยางพาราแปรรูป

ไม้ยางพาราในประเทศไทยที่ขายในอุตสาหกรรมไม้แปรรูปจะเป็นไม้ยางพาราสายพันธุ์ PB235 เนื่องจากเป็นสายพันธ์ที่มีลำต้นสูง มีกิ่งน้อย ลักษณะของไม้มีสีขาวสวย ใช้เวลาปลูกเพื่อนำมาผลิตเป็นไม้แปรรูปทั้งหมด 18 ปี เหมาะสมกับการนำมาผลิตเป็นไม้ยางพาราประกับกาว หากเทียบกับไม้ยางนาแดง แม้ว่าไม้ยางนาแดง จะมีความแข็งแรงมากกว่ายางพาราสายพันธุ์ PB235 แต่คุณสมบัติการเคลือบไม้ และความสวยงามยางพาราสายพันธุ์ PB235 จะเป็นที่นิยมมากกว่า สำรวจในช่วงปี พ.ศ.2562 ไตรมาสที่ 2 โดยราคาจำหน่ายไม้ยางนาแดง ขนาดหน้าตัด 1x4 นิ้ว ราคาอยู่ที่เมตรละ 75 บาท เปรียบเทียบกับยางพาราสายพันธุ์ PB235 เกรด AB หนา 25 มิลลิเมตร (1นิ้ว) ที่มีราคาเฉลี่ยอยู่ที่ 352.50 บาท ต่อท่อน หรือตกเมตรละ 146 บาท (การยางแห่งประเทศไทย, 2559)

ภาพที่ 13 แสดงไม้ยางพาราประกับกาว สายพันธุ์ PB235

ภาพที่ 14 แสดงไม้ยางนาแดงขนาดหน้าตัด 1x4 นิ้ว

**2.3 การก่อสร้างโครงสร้างไม้ตามลักษณะนิยม**

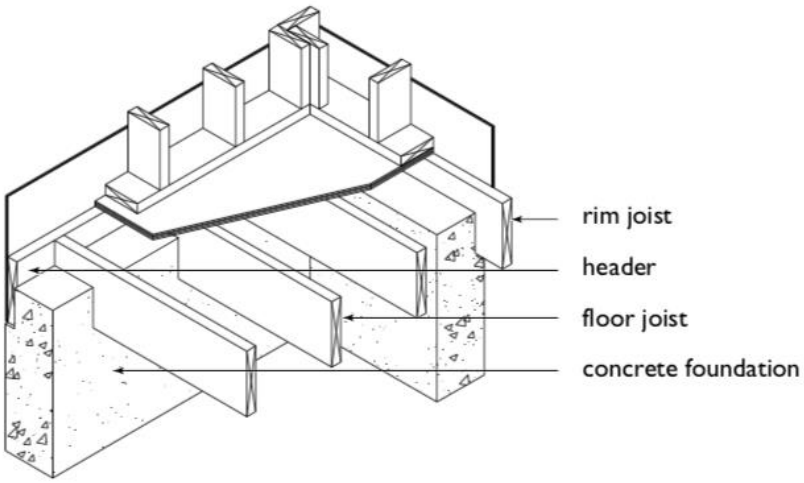
เทคโนโลยีการก่อสร้างโครงสร้างไม้ตามลักษณะนิยม มีผลมาจากอุตสาหกรรมไม้แปรรูป โดยไม้ขนาดที่แตกต่างกัน เพื่อการใช้เป็นโครงสร้างแต่ละส่วน เช่น ตงพื้น โครงเคร่าผนัง และโครงสร้างหลังคา รูปแบบการก่อสร้างตามลักษณะนิยม ได้ถูกพัฒนาเพื่อให้ง่ายต่อเครื่องมือก่อสร้าง การลดระยะเวลาในการก่อสร้าง และใช้ขนาดไม้ ตรงกับอุตสาหกรรมไม้แบบรูป (จรัญพัฒน์ ภูวนันท์, 2542) โดยนิยมใช้ขนาด 2 x 4 นิ้ว และฐานรากเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก ในช่วงต้นศตวรรษที่ 19 ระบบการก่อสร้าง 2 x 4 นิ้ว ถูกพัฒนาขึ้นในทวีปอเมริกาเหนือ โดยนิยมใช้ในอาคารหน่วยพักอาศัยขนาดเล็ก มีข้อดีคือเป็นโครงสร้างน้ำหนักเบา ใช้ผนังในการรับน้ำหนักแทนเสา (wall bearing) จนถึงช่วง ค.ศ. 1930 ระบบการก่อสร้าง 2 x 4 นิ้ว ถูกใช้ทั่วทวีปอเมริกา ในประเทศไทย ระบบก่อสร้างหลากหลายรูปแบบได้เข้ามาจากการนำเข้าวัสดุก่อสร้างในช่วงปี พ.ศ.2530 ยกตัวอย่างเช่น การนำเข้าไม้สน เพื่อใช้ก่อสร้างโครงสร้างไม้ ในการก่อสร้างรูปแบบนี้จะเป็นการก่อสร้างระบบแห้ง (Dry Process) เพื่อช่วยลดเวลา แรงงาน ในการก่อสร้าง

**2.3.1 โครงสร้างระบบการก่อสร้าง 2 x 4 นิ้ว (2 x 4 Construction)**

ส่วนประกอบของระบบก่อสร้าง 2 x 4 นิ้ว (2 x 4 Construction) ประกอบด้วย ตงพื้น โครงเคร่าผนัง และโครงสร้างหลังคา ซึ่งทำหน้าที่เป็นกรอบของอาคาร และเป็นโครงสร้างที่รับน้ำหนักของอาคาร ผนังของอาคารมีโครงยึดยัน (Brace) วางเฉียงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการรับแรง (ชินพงศ์ ลาภจิตร, 2544) โครงสร้างของอาคารระบบก่อสร้าง 2 x 4 นิ้ว มักถูกปิดด้วยวัสดุที่มีลักษณะเป็นแผ่น ที่มีขนาดสอดคล้องกับความยาวของไม้แปรรูป (Canadian wood-frame house construction, 2005) ยกตัวอย่างเช่น 2.40 x 1.20 เมตร เป็นต้น ทั้งในส่วน ตงพื้น โครงเคร่าผนัง และโครงสร้างหลังคา ในส่วนวัสดุแผ่นปิด (Wall Sheathing and Exterior Finishes) สามารถใช้วัสดุที่สามารถหาได้ตามท้องถิ่น หรือวัสดุมุงหลังคาในระบบอุตสาหกรรมได้ ส่วนประกอบของระบบการก่อสร้าง 2 x 4 นิ้ว ประกอบด้วย

1) ฐานราก (Footing)

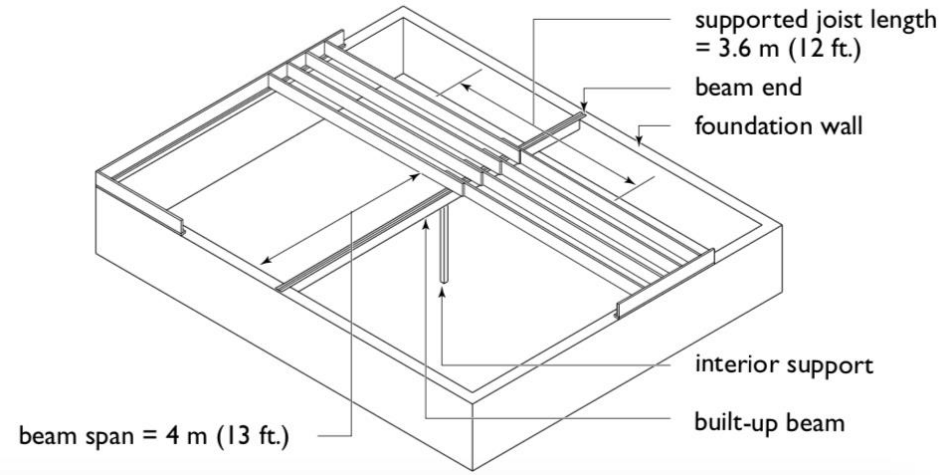
ฐานรากของระบบก่อสร้าง 2 x 4 นิ้ว สามารถใช้ได้หลายรูปแบบตามสภาพภูมิประเทศและสภาพของพื้นดิน ควรมีการยกสูงจากพื้นดิน เพื่อป้องกันศัตรูพืชที่จะขึ้นไปทำลายโครงสร้างอาคารที่ทำจากไม้ สามารถใช้ระบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก ตามลักษณะนิยมในรูปแบบฐานรากเสารองรับ (Pier Foundation) ประกอบด้วย ฐานรากแผ่ เสาคอนกรีตเสริมเหล็ก ขนาดหน้าตัดไม่น้อยกว่า 6 นิ้ว และหากเป็นลักษณะเสาไม้ นิยมใช้เสาไม้หน้าตัดไม่น้อยกว่า 8 นิ้ว และคานรับตงพื้น




ภาพที่ 15 แสดงฐานรากส่วนคานรับตงพื้น

2) ตงพื้น (Floor Framing)

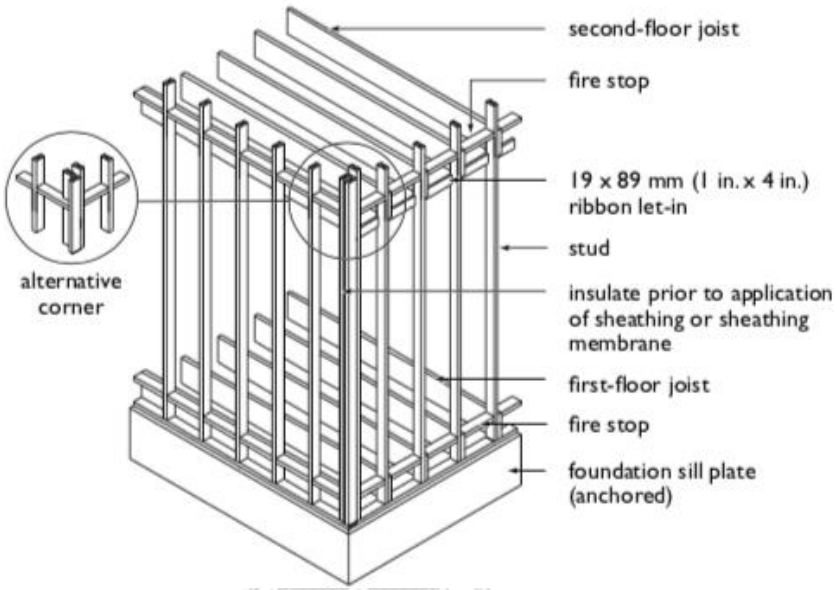
ตงพื้นแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ ได้แก่ แบบต่อประกับ (Joist Floor) ซึ่งนิยมใช้ไม้แปรรูปขนาด 2 x 4 นิ้ว และขนาด 2 x 6 นิ้ว โดยวางระยะห่าง 12, 16, 24 นิ้ว มีไม้ประกับระหว่างรอยต่อไม้ทั้งสองฝั่ง ส่วนระบบก่อสร้าง 2 x 4 นิ้ว จะใช้พื้นแบบถัก (Floor Trusses) ทำหน้าที่เป็นตง ที่รับแผ่นพื้น ในตงพื้นจะประกับด้วยค้ำยัน ในแนวทแยงเพื่อทำให้พื้นกระจายแรงได้อย่างมีประสิทธิภาพ



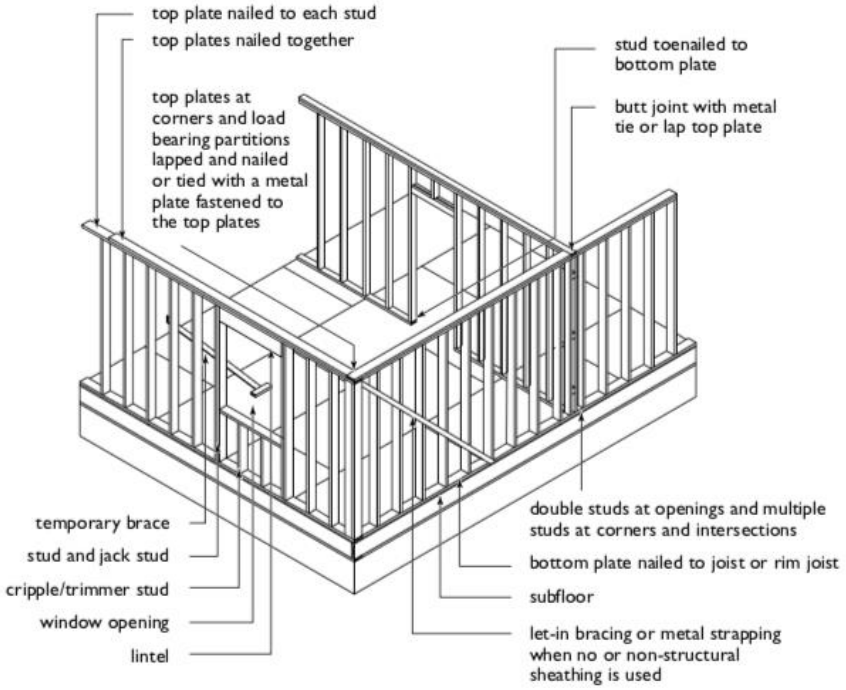

ภาพที่ 16 แสดงตงพื้นแบบต่อประกับ (Joist Floor)

3) โครงเคร่าผนัง (Wall Framing)

โครงเคร่าผนังของระบบก่อสร้าง 2 x 4 นิ้ว ประกอบด้วย ไม้ทางตั้ง (Stud) วางระยะห่าง 12, 24 นิ้ว ขึ้นอยู่กับขนาดและจำนวนชั้นของอาคาร และไม้ทางนอน ประกอบด้วยไม้ตัวล่าง (Bottom plate) ไม้ตัวบน (Top plate) ทับหลัง (Lintel) มีขนาดหน้าตัดของไม้เท่ากันทั้งหมด ทำหน้าที่เป็นกรอบให้กับโครงเคร่าผนัง



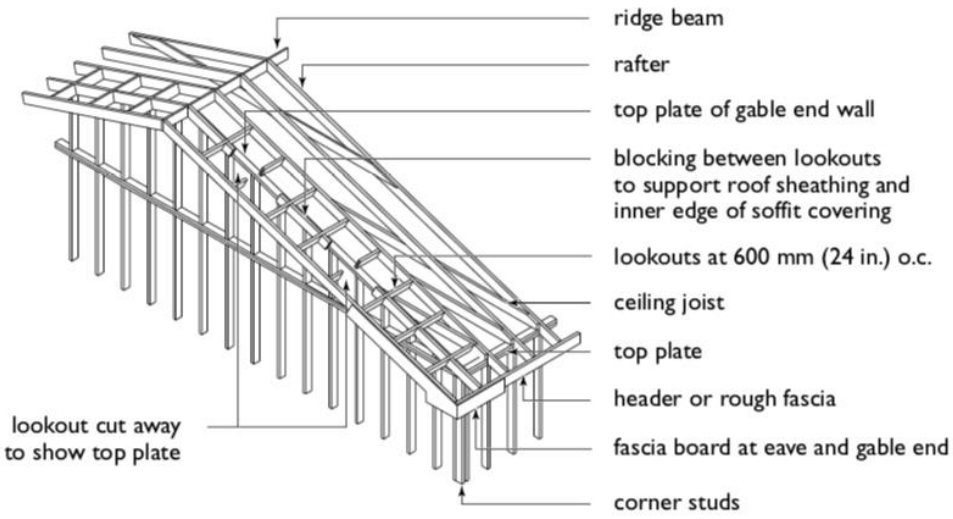

ภาพที่ 17 แสดงโครงเคร่าผนังแบบบอลลูนเฟรม



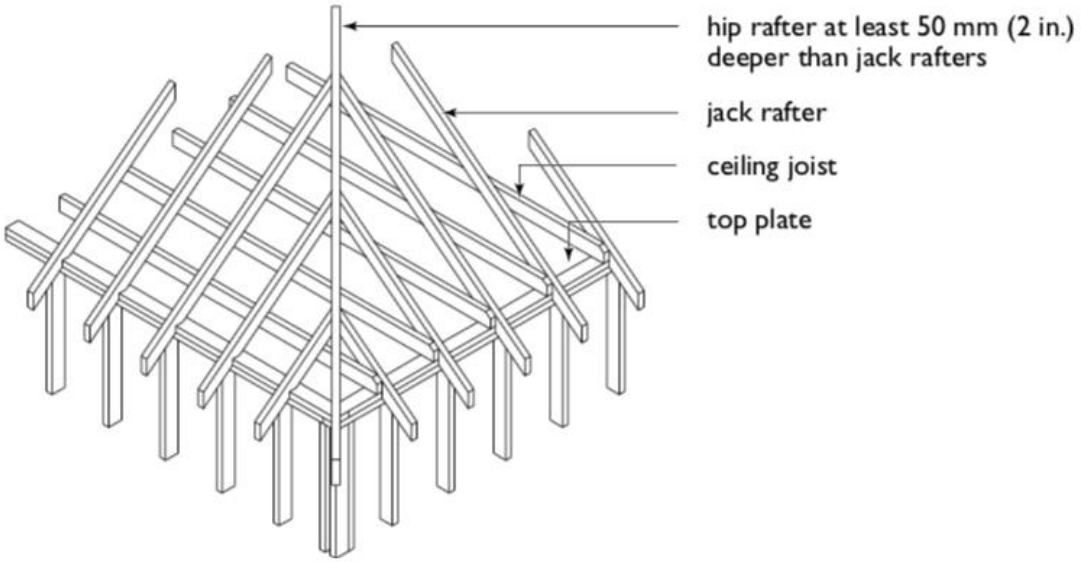

ภาพที่ 18 แสดงโครงเคร่าผนังแบบแพลตฟอร์มเฟรม

4) โครงสร้างหลังคา (Roof Framing)

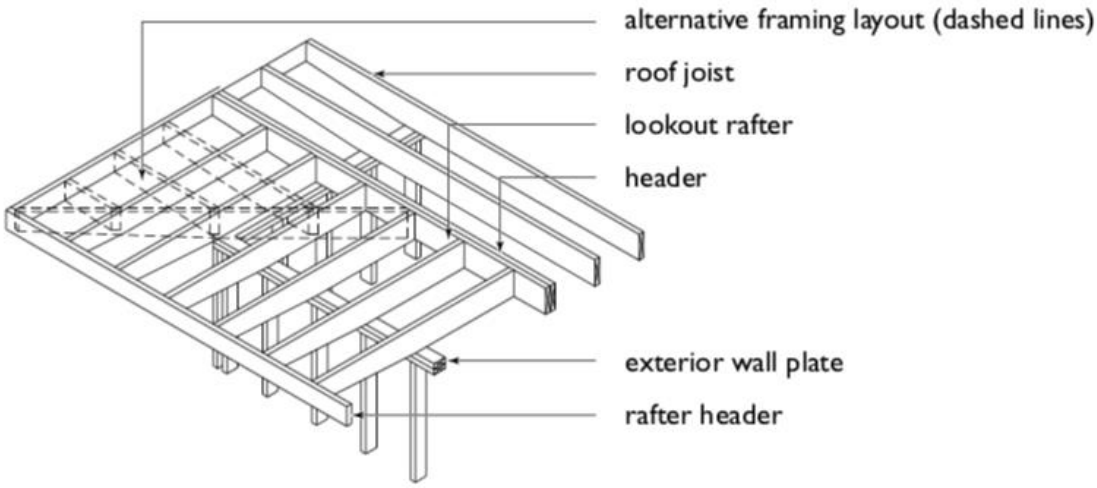
โครงสร้างหลังคาไม้ประกอบด้วย ชนิดประกอบในที่ (Stick built rood) เหมาะกับอาคารที่มีช่วงพาดของทั้งอาคารไม่กว้าง และชนิดโครงถัก (Trusses roof) ที่สามารถทำระยะช่วงพาดได้กว้าง ใช้โครงไม้ถักขนาดไม้ 2 x 4 นิ้ว ไม้สำหรับวางคานรับหลังคา (Rafters) เป็นไม้ที่มีความลึกไม่น้อยกว่า 2 นิ้ว โครงสร้างหลังคาในระบบก่อสร้าง 2 x 4 นิ้ว นิยมสร้าง 3 รูปแบบ ได้แก่ รูปแบบวางขนาน (Celling Joint Parallel) สามารถวางได้ทั้งแบบขนาน (Parallel) และแบบตั้งฉาก (Perpendicular) รูปแบบวางยื่น (Gable Overhang) รูปแบบฮิป (Hip roof) ที่ต้องเพิ่ม Hip rafter ขนาด 2 นิ้ว และรูปแบบวางโครงสร้างหลังคาในแนวราบ (Flat Roof Framing) การออกแบบโครงสร้างหลังคา ที่มีความลาดเอียง 45 องศา จะมีความชันเทียบกับ 12 ส่วน 12 ในกรณีที่ความลาดเอียงมากกว่า 45 องศา ความลาดชันต้องมีไม่มากกว่า 4 ส่วน 12 หมายถึงมีความสูง 4 นิ้ว ทุก 12 นิ้ว หากความลาดชันน้อยกว่า 45 องศา จะต้องชั้นอัตราส่วน 1:5 หมายถึงมีแนวตั้ง 1 หน่วย ของความชันทุก 5 หน่วย




ภาพที่ 19 แสดงโครงสร้างหลังคารูปแบบวางยื่น (Gable Overhang)




ภาพที่ 20 แสดงโครงสร้างหลังคารูปแบบฮิป (Hip roof)

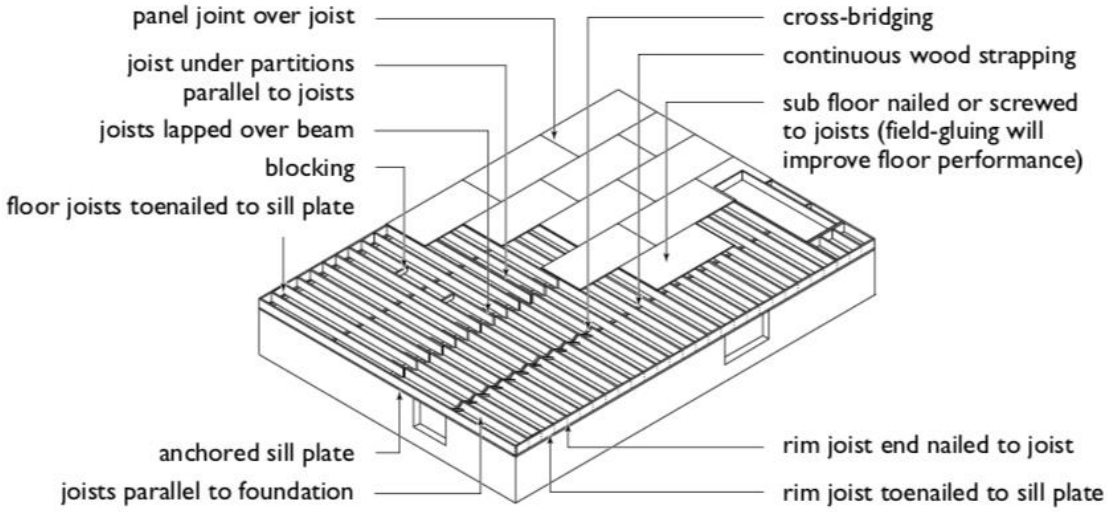



ภาพที่ 21 แสดงโครงสร้างหลังคารูปแบบวางแนวราบ (Flat Roof Framing)

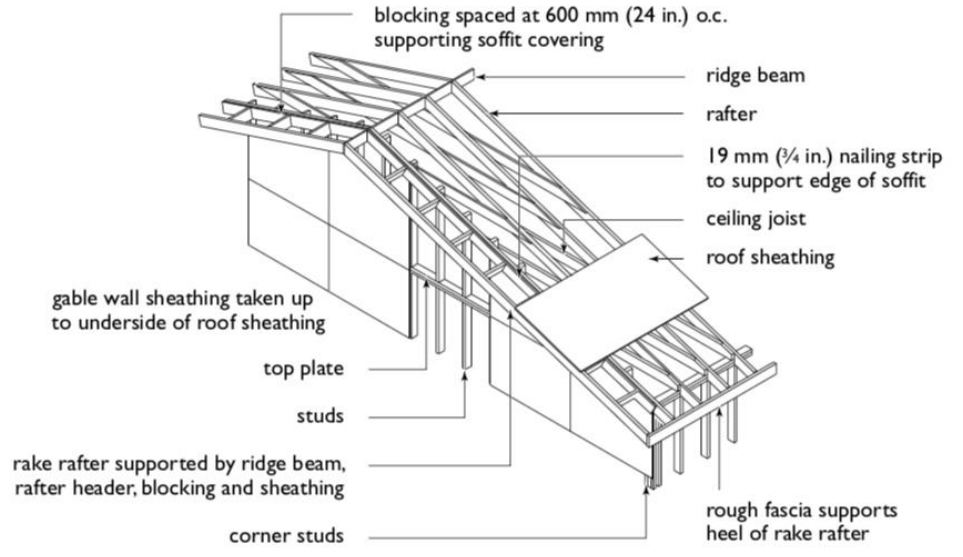
การก่อสร้างอาคารด้วยระบบก่อสร้าง 2 x 4 นิ้ว (2 x 4 Construction) เป็นระบบการก่อสร้างที่ใช้ไม้แปรรูปขนาด 2 x 4 นิ้ว มีระยะห่างโครงเคร่าไม่เกิน 60 เซนติเมตร ใช้ผนังในการรับน้ำหนัก โดยไม่มีเสาอาคาร สามารถประกอบเป็นชิ้นส่วนสำเร็จรูปเพื่อนำมาประกอบอาคาร และนำมายึดด้วยวัสดุที่มีลักษณะเป็นแผ่น สามารถติดตั้งส่วนประกอบอาคารโดยใช้สกรูแบบต่าง ๆ ตามความหนาของส่วนประกอบอาคาร

**2.3.2 วัสดุแผ่นปิดระบบการก่อสร้าง 2 x 4 นิ้ว (Wall Sheathing and Exterior Finishes)**

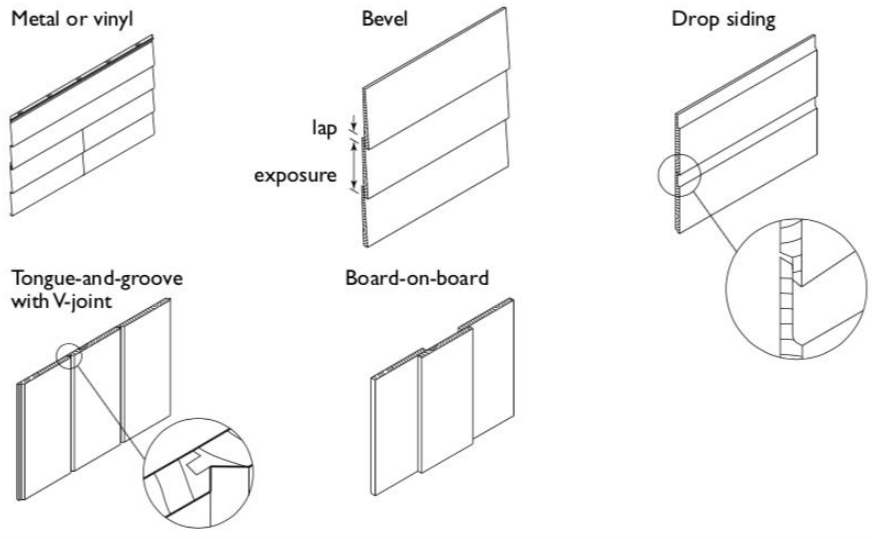
ระบบการก่อสร้าง 2 x 4 นิ้ว เป็นการใช้โครงสร้างผนังภายนอก และผนังภายในเป็นโครงสร้างเดียวกัน ภายนอกจำเป็นต้องใช้วัสดุแผ่นปิด (Wall Sheathing and Exterior Finishes) เพื่อปกป้องโครงสร้าง หลีกเลี่ยงการโดนแสงแดดที่ทำลายเคลือบไม้ รวมถึงการถูกน้ำจากฝน หรือความชื้นจากสภาพแวดล้อมเพื่อให้วัสดุโครงสร้างสามารถใช้ได้ยาวนาน



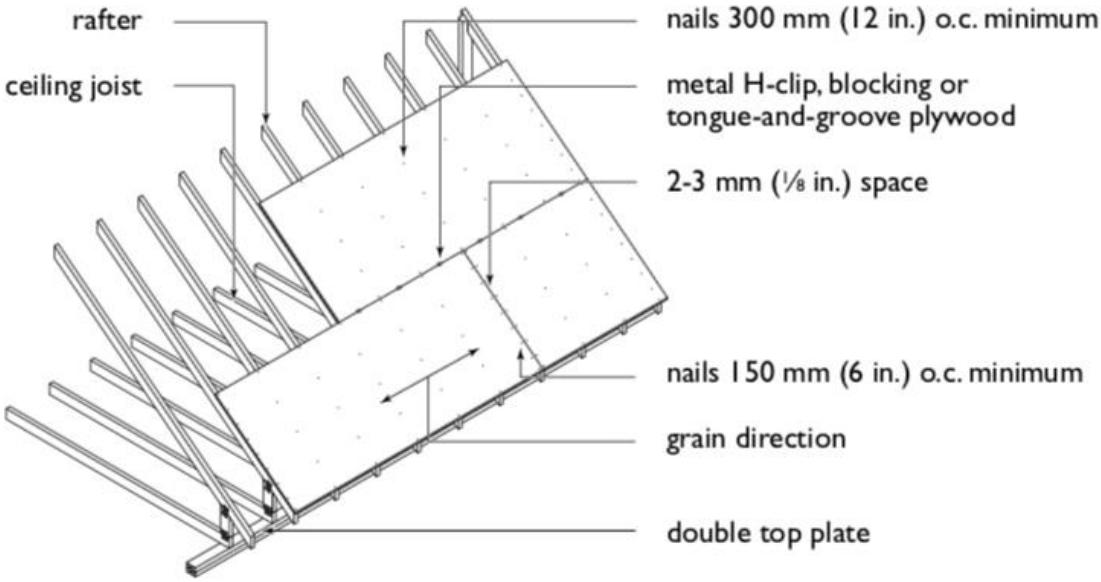

ภาพที่ 22 แสดงวัสดุแผ่นปิดบนตงพื้น



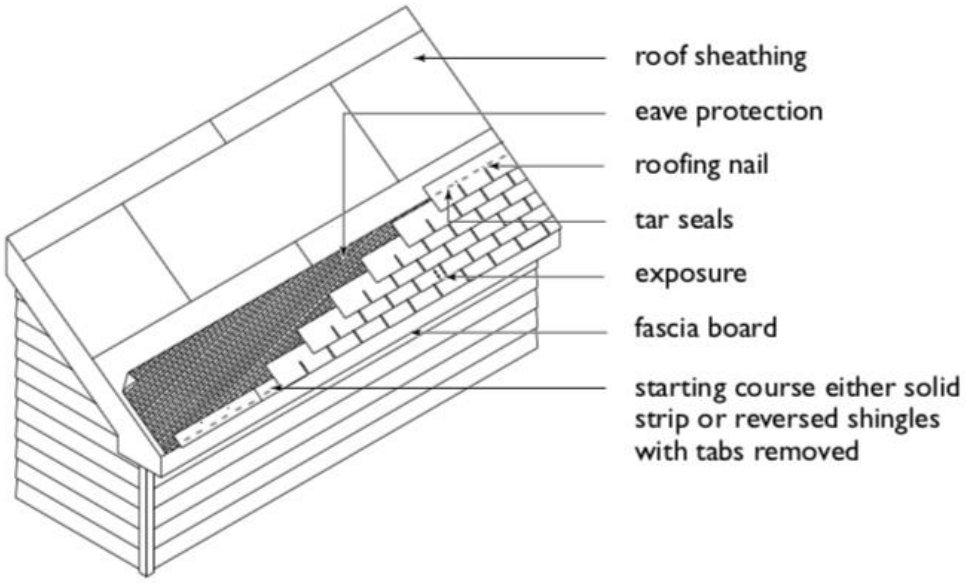

ภาพที่ 23 แสดงวัสดุแผ่นปิดบนโครงสร้างหลังคา



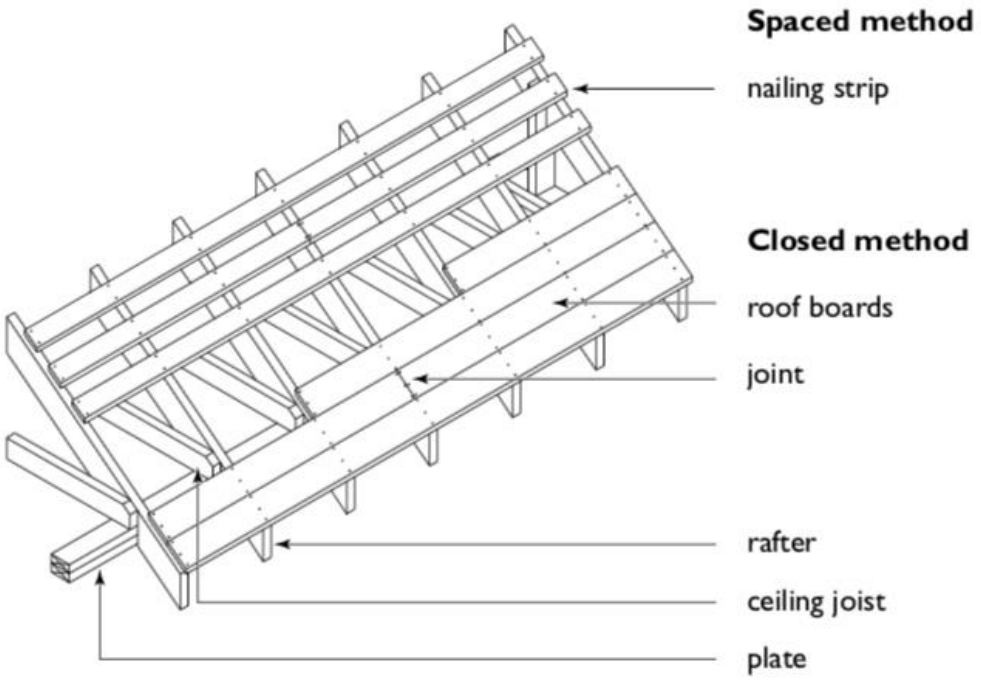

ภาพที่ 24 แสดงวิธีการติดตั้งวัสดุแผ่นปิดในส่วนผนัง




ภาพที่ 25 แสดงวิธีการติดตั้งวัสดุแผ่นปิดในส่วนโครงสร้างหลังคา




ภาพที่ 26 แสดงวิธีการติดตั้งวัสดุแผ่นปิดโดยชิงเกิ้ลรูฟ (Shingle roof)




ภาพที่ 27 แสดงวิธีการติดตั้งวัสดุแผ่นปิดโดยรูฟบอร์ด (roof boards)

จากการศึกษาพัฒนาการไม้ประกับกาว การออกแบบโครงสร้างไม้ประกับกาว และมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง สามารถสรุปได้ว่า การออกแบบโครงสร้างไม้ประกับกาว จำเป็นต้องคำนึงถึง ประเภทของไม้ที่นำมาใช้ เพื่อให้สอดคล้องกับพัฒนาการไม้ประกับกาวในระดับนานาชาติ และในประเทศไทย รูปแบบการก่อสร้างระบบ 2x4 นิ้ว ถูกพัฒนาโครงเคร่าผนัง ทำให้สามารถลดเวลาในการก่อสร้าง และปริมาณวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างได้ การใช้ไม้เพื่อการก่อสร้าง จึงเป็นกระแสที่สังคมกำลังเริ่มหันกลับมาใช้วัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม สามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อได้เมื่อมีการรื้อถอนสิ่งก่อสร้าง เพียงแต่อุปสรรคสำคัญที่ยังไม่ทำให้ไม้สามารถนำมาใช้ในการก่อสร้างอาคารขนาดใหญ่ได้ เนื่องด้วยข้อจำกัดด้านกฎหมายอาคาร และเทคโนโลยีที่ยังอยู่ในช่วงกำลังพัฒนา



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

# บทที่ 3
# คุณสมบัติเชิงกลของวัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา

การศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา เป็นวิจัยเชิงทดลอง (experimental research) เปรียบเทียบกับไม้ยางพาราประกับกาวในระบบอุตสาหกรรม การวิจัยนี้ได้แบ่งขั้นตอนการดำเนินการวิจัย เป็น 3 ระยะได้แก่ ระยะที่ 1 การออกแบบวัสดุโครงสร้างผสมไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา ระยะที่ 2 การผลิตวัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพาราสำหรับทดสอบคุณสมบัติเชิงกล ระยะที่ 3 การวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงกลทางสถาปัตยกรรม ของวัสดุผสมโครงสร้างไม้ไผ่ประกับกาวไม้ยางพาราสำหรับหน่วยพักอาศัย การศึกษาวิธีการผลิตวัสดุขนาด 2x4 นิ้ว ในระบบอุตสาหกรรมไม้ โดยแบ่งผลการทดสอบออกเป็นคุณสมบัติเชิงกลในห้องทดลอง และกระบวนการวิเคราะห์ไฟไนอิลิเมนต์ (Finite element analysis) ในการตรวจสอบผลการทดสอบ

## 3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

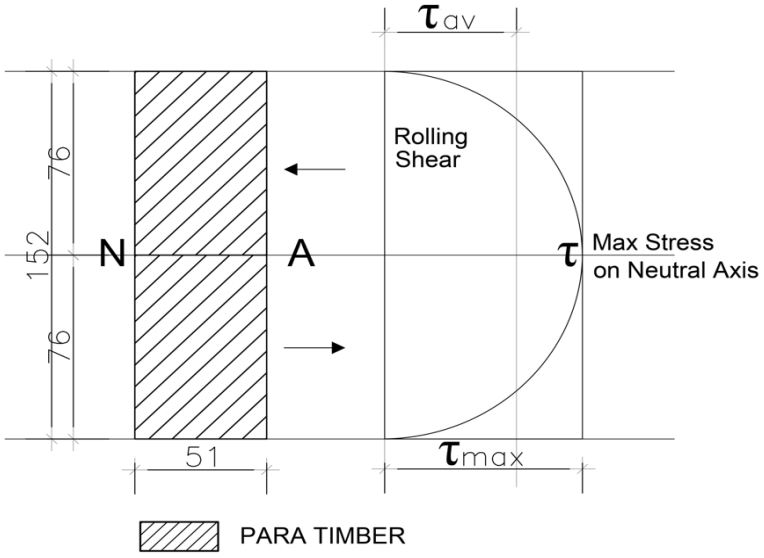
การศึกษาข้อมูลเบื้องต้นเป็นการศึกษาวิธีออกแบบหน้าตัดของวัสดุโครงสร้างผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา เพื่อให้ได้วัสดุที่มีคุณสมบัติเชิงกล สามารถรับแรงการรับแรงประลัยทดแทนวัสดุเดิมได้ รวมถึงมีความสอดคล้องกับการผลิตในระบบอุตสาหกรรมไม้ในประเทศไทย การวิจัยได้ออกแบบต้นแบบไม้ไผ่และไม้ยางพาราประกับกาวออกเป็น 3 แบบ ได้แก่ 1) ซิงเกิ้ล เลเยอร์ (Singer layer) 2) ดับเบิ้ล เลเยอร์ (Double layer) 3) เอช เลเยอร์ (H layer) เปรียบเทียบกับไม้ยางพาราประกับกาวที่ไม่ได้ใส่ชั้นของไม้ไผ่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

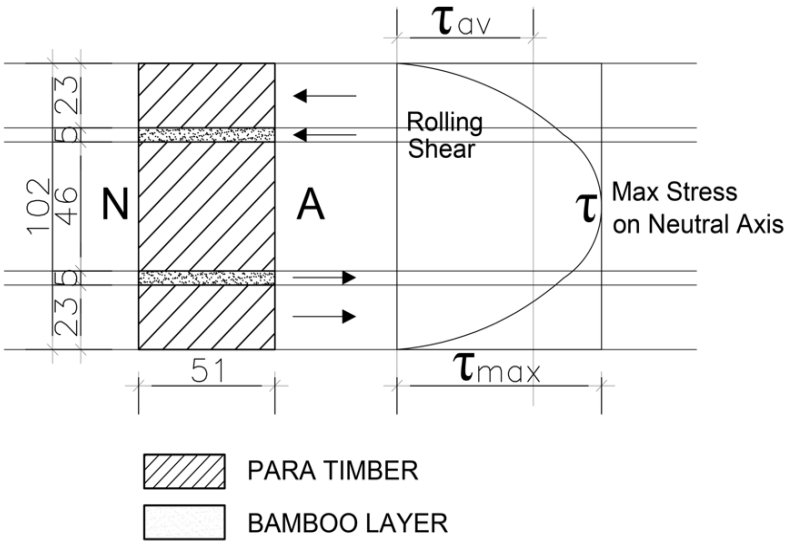
### 3.1.1 ระยะที่ 1 การออกแบบวัสดุโครงสร้างผสมไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา

การออกแบบวัสดุโครงสร้างผสมไผ่ประกับกาวและไม้ยางพาราตามหลักกลศาสตร์วัสดุ ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างความเค้น และความเครียดของวัสดุตามความแข็งแรงของแรงดัด และแรงดึงตามแนวแกน (axial tension) การออกแบบหน้าตัด ไม่ควรมีรอยต่อบริเวณแนวแกนสะเทินที่ได้รับค่าความเครียดสูงสุด (max stress on neutral axis) ซึ่งหากเปรียบเทียบไม้ยางพาราขนาด 2x4 นิ้ว ในระบบอุตสาหกรรม จะมีรอยต่อในแนวแกนสะเทินที่ได้รับค่าความเครียดสูงสุดทั้งหมด ตามภาพที่ 28 แสดงไม้ยางพารา ขนาด 2x4 นิ้ว ในระบบอุตสาหกรรม จึงไม่เหมาะในการนำมาใช้เป็นไม้สำหรับงานโครงสร้าง รวมถึงการจัดเรียงชั้นของไม้ เลือกใช้ไม้ยางพาราอยู่บริเวณชั้นด้านนอก (Outer layer) เนื่องจากไม้ยางพาราสามารถทำงานกับน็อต ตะปู และมีความทดต่อแรงกระแทกได้ดีกว่าไม้ไผ่ ส่วนไม้ไผ่ใช้ในส่วนชั้นด้านใน (Inner layer) เพื่อช่วยเสริมแรงในการรับแรงบิด

ของวัสดุ แม้ว่าการนำมาใช้ในส่วนด้านนอก (Outer layer) จะอยู่ในจุดที่ได้ผลดีที่สุด แต่ก็ไม่เหมาะกับการนำมาใช้ร่วมกับการก่อสร้างกับวัสดุก่อสร้าง เช่น น็อต ตะปู การเจาะโดยใช้เครื่องมือ เช่น สว่านไฟฟ้า เป็นต้น




ภาพที่ 28 แสดงไม้ยางพารา ขนาด 2x4 นิ้ว ในระบบอุตสาหกรรม




ภาพที่ 29 แสดงการออกแบบวัสดุโครงสร้างผสมไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา ขนาด 2x4 นิ้ว

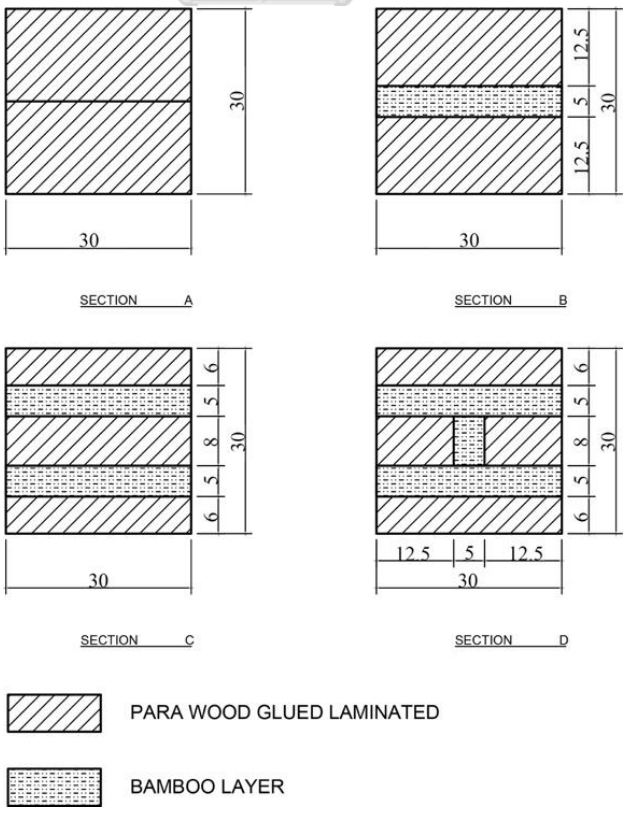
**3.1.2 ระยะที่ 2 การผลิตวัสดุสำหรับทดสอบคุณสมบัติเชิงกล**

1) การคัดเลือกไม้ยางพาราและไม้ไผ่ การผลิตวัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพาราต้นแบบ ใช้ไม้ยางพาราพันธุ์ PB235 เกรด BC ของประเทศไทยอายุลำต้น 18 ปี และไม้ไผ่ตง อายุลำต้น 4-5 ปี จากจังหวัดราชบุรี ประเทศไทย การประกับกาวใช้กาวลาเท็กซ์ มาตรฐาน

อุตสาหกรรม DIN204/205 D4 ในอัตราส่วน 100:15 อ้างอิงขนาดต้นแบบชิ้นไม้ จากมาตรฐาน ASTM D 143 – 94 ในขนาด หนา 30 มิลลิเมตร กว้าง 30 มิลลิเมตร ยาว 600 มิลลิเมตร ผลิตทั้งหมดตัวอย่างละ 3 ชิ้น และทำสำรองเผื่อเกิดการเสียหายระหว่างทดสอบคุณสมบัติเชิงกล ตัวอย่างสำรองแบบละ 2 ชิ้น รวมทั้งหมด 20 ชิ้น รายละเอียดของชั้นไม้ ตามตารางที่ 5 แสดงลักษณะตัวอย่างของต้นแบบไม้ไผ่และไม้ยางพาราประกับกาว ประกับกาวตามแบบให้มีขนาดเกินกว่าแบบฝั่งละ 1–2 เซนติเมตร เพื่อนำมาไสข้างภายหลังการประกับกาว

ตารางที่ 5 แสดงลักษณะตัวอย่างของต้นแบบไม้ไผ่และไม้ยางพาราประกับกาว

| กลุ่มไม้ต้นแบบ | ลักษณะตัวอย่าง | รายละเอียด |
|---|---|---|
| A | Para-wood | ไม้ยางพารา ไม่มีชั้นไม้ไผ่ |
| B | Singer layer | ไม้ยางพารา มีชั้นไม้ไผ่ 1 ชั้น หนา 5 มม. |
| C | Double layer | ไม้ยางพารา มีชั้นไม้ไผ่ 2 ชั้น หนาชั้นละ 5 มม. |
| D | H layer | ไม้ยางพารา มีชั้นไม้ไผ่ 2 ชั้น หนาชั้นละ 5 มม. ในแนวขนาน และ ไม้ไผ่ 1 ชั้น หนา 5 มม. บริเวณส่วนกลางในแนวตั้ง |




ภาพที่ 30 แสดงภาพตัด (Section) ต้นแบบไม้ไผ่และไม้ยางพาราประกับกาว แบบ A, B, C, และ D

2) การตัดไม้ไผ่ และไม้ยางพารา สามารถตัดไม้ไผ่ได้ 2 วิธี ได้แก่ วิธีสไลด์เป็นแผ่นตามแนวยาว ด้วยเครื่องเลื่อยไม้แนวยาว (vertical band saw machine) ขนาด 380 โวลต์ และวิธีการตัดปลองไผ่เป็นแฉก ด้วยเครื่องมือจำปากด ตามด้วยการสับด้วยมีดพร้า และนำมาไส้ข้าง ก่อนนำไปรีดไม้ไผ่ให้ได้ขนาด ซึ่งวิธีการใช้จำปา และมีดพร้าในการตัดมีข้อเสียคือใช้เวลานานหลายขั้นตอน แต่ข้อดีคือจะได้ปริมาณไม้ไผ่ที่สามารถนำมาประกับกาวได้มากกว่าวิธีใช้เครื่องเลื่อยไม้ไฟฟ้าแนวยาว

ภาพที่ 31 แสดงวิธีการเลื่อยไม้ตามแนวยาว (vertical band saw machine)

ภาพที่ 32 ผลผลิตไม้ไผ่จากเครื่องเลื่อยไม้ตามแนวยาว (vertical band saw machine)

ภาพที่ 33 แสดงวิธีการสับไม้ไผ่ด้วยมีดพร้า

ภาพที่ 34 แสดงขั้นตอนการไสข้างไม้ไผ่ที่ได้จากการสับ

ภาพที่ 35 ผลผลิตไม้ไผ่ที่ได้จากวิธีการตัดปลองไผ่เป็นแฉก

การตัดไม้ยางพาราเลือกหาวัสดุไม้ยางพาราในระบบอุสาหกรรม เกรด BC ที่มีขนาดหน้าตัด 1.5 นิ้ว ทำการพ่นยากันศัตรูพืช และเคลือบกันเชื้อราสำเร็จรูป ทำให้ไม่เสียขั้นตอนในการเลื่อยในแนวกว้าง เนื่องจากมีความกว้างที่ใช้เป็นความกว้างที่ผลิตจากระบบอุตสาหกรรม นำมาได้ให้ได้ความหนา 12.5 มิลลิเมตร สำหรับต้นแบบ B ตัด 6 และ 8 มิลลิเมตร สำหรับต้นแบบ C และ D สำหรับการทำตัวอย่างในการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล

ภาพที่ 36 แสดงการเลื่อยไม้ยางพาราในแนวยาว

3) การประกับกาวใช้กาวลาเท็กซ์ตามมาตรฐาน DIN204/205 D4 ในอัตราส่วน 100 ต่อ 15 ในการวิจัยครั้งนี้ใช้กาวลาเท็กซ์ 170 กรัม ต่อกาวเรซอซินอล ฟอร์มัลดีไฮด์ (*Resorcinol* Formaldehyde) 30 กรัม ต่อพื้นที่ 1 ตารางเมตร ประกับไม้โดยวิธีอัดเย็น (Cold Press) ใช้เวลา 15 ชั่วโมง ในการอัด ด้วยแรง 150 บาร์ เมื่อทำการประกับไม้เรียบร้อยแล้ว จะต้องนำไม้ไปแต่งไสตามภาพตัดวัสดุต้นแบบขนาด หนา 30 มม. กว้าง 30 มม. ยาว 600 มม. ตามมาตรฐานการทำไม้ตัวอย่างทดสอบ ASTM 143 – 94 ซึ่งกำหนดให้ทำไม้ตัวอย่าง อย่างละ 3 ชิ้น รวมทั้งหมด 12 ชิ้น และสำรองตัวอย่างละ 2 ชุด

ภาพที่ 37 แสดงการผสมกาวราเท็กซ์ และกาวเรซอซินอล ฟอร์มัลดีไฮด์ ในอัตราส่วน 100:15

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพที่ 38 แสดงประกับไม้โดยวิธีอัดเย็น (Cold Press)

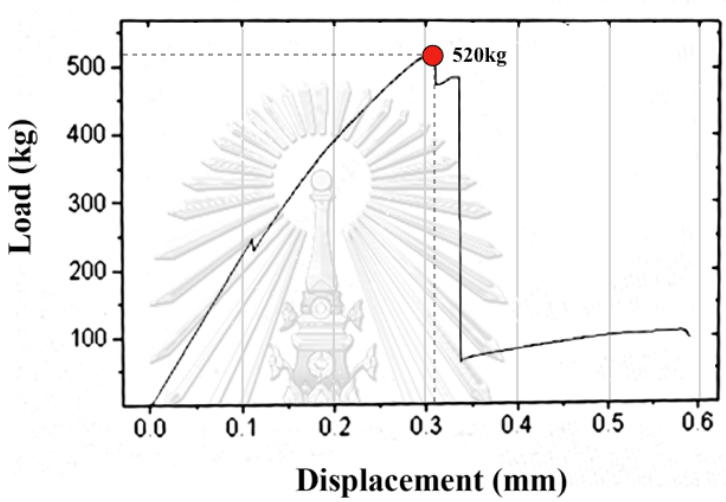
ภาพที่ 39 แสดงต้นแบบวัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพาราสำหรับทดสอบคุณสมบัติเชิงกล

**3.1.3 ระยะที่ 3 การวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงกลทางสถาปัตยกรรม**

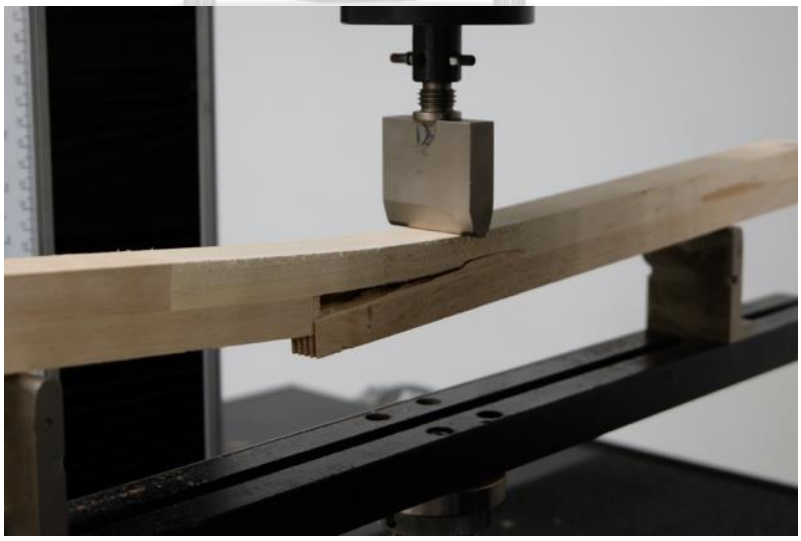
การทดสอบประกอบด้วยการผลการทดสอบค่าความเค้นคราก (Yield Strength) ค่าการต้านแรงดัด (MOR) ค่าสัมประสิทธิ์ยืดหยุ่น (MOE) ค่าโมดูลัสของยัง (Young's Modulus) และค่าความแข็ง (Stiffness) เครื่องทดสอบที่ใช้เป็นเครื่อง INSTRON รุ่น 4466 แสดงผลผ่านโปรแกรม INSTRON Series IX ทดสอบการดัดงอแบบ 3 จุด (3-Point loading) มีการควบคุมอุณหภูมิภายในห้องทดลองที่ 20 องศาเซลเซียส ความชื้นห้องอยู่ที่ 65% กำหนดจุดรองรับ (support) ของชิ้นงานในระยะ 400 มิลลิเมตร จากขนาดต้นแบบ 600 มิลลิเมตร ตั้งระยะบล็อคชิ้นไม้ที่ทดสอบฝั่งละ 100 มิลลิเมตร และกดบริเวณกลางของชิ้นไม้ ตั้งค่าความเร็วในการกดเพิ่มขึ้น 10 มม. ต่อนาที กดจนกระทั่งวัสดุเกิดการแตกหัก หรือจนกว่าจะไม่สามารถคืนรูปได้เหมือนเดิม

ภาพที่ 40 แสดงการเตรียมเครื่องทดสอบไม้ไผ่และไม้ยางพาราประกับกาวภายในห้องทดสอบ

1) ไม้ยางพาราประกับกาว (Para-wood) แทนด้วยรหัส A พบว่าไม้ยางพารามีค่าความเค้นคราก (Yield Strength) สูงสุดที่ 2.299 กิโลนิวตัน (kN) วัสดุไม่มีความสามารถที่จะรับน้ำหนักเพิ่มได้อีกเมื่อเสียรูป และแตกหักแบบบริเวณรอยแตกที่แรงดึง (Simple Tension) บริเวณจุดที่มีการเข้าไม้แบบรอยต่อ (finger joint) มีค่าความต้านทานแรงอัดสูงสุดที่ 52.73 เมกะปาสกาล (MPa) และมีอัตราการคืนตัว (Toughness) เฉลี่ยอยู่ที่ 0.02 มิลลิเมตร

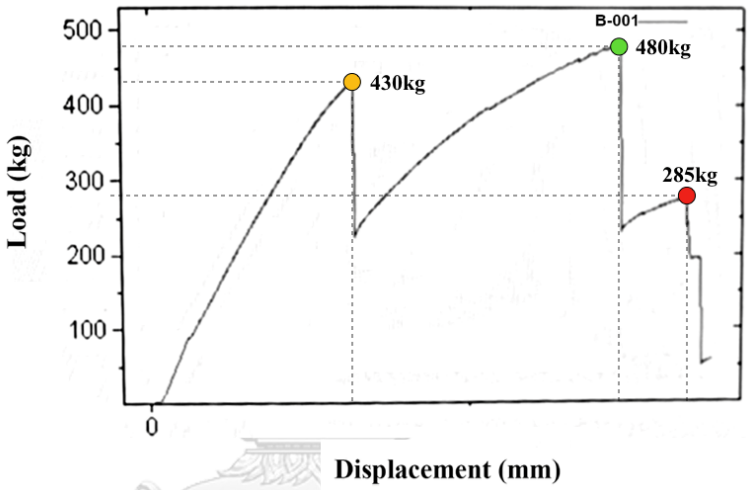



ภาพที่ 41 กราฟแสดงผลการทดสอบไม้ยางพาราประกับกาว Para-wood รหัส A



ภาพที่ 42 แสดงการหักของไม้บริเวณรอยแตกแรงดึงของไม้ยางพาราประกับกาว Para-wood รหัส A

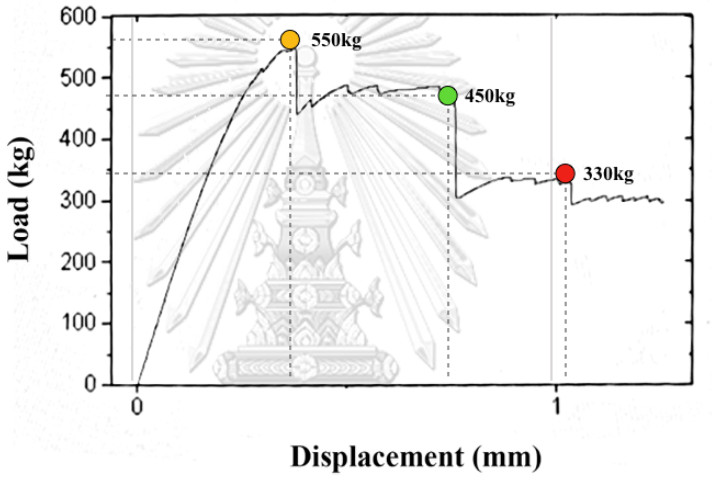
2) แบบซิงเกิ้ล เลเยอร์ (Singer layer) แทนด้วยรหัส B พบว่าเกิดบริเวณรอยต่อไม้ (Finger Joint) เนื่องจากกาวในส่วนของรอยต่อไม้เป็นกาวอัดประสานไม้จากไม้ยางพาราที่ทำการนำมาทดสอบ เป็นที่ผลิตจากระบบอุตสาหกรรม พบว่าไม้ที่เกิดการแตกหัก สามารถรับน้ำหนักเพิ่มขึ้นได้มากกว่าการแตกหักในครั้งแรก มีค่าความต้านทานแรงดัดสูงสุดที่ 50.15 เมกะปาสกาล มีอัตราการคืนตัว (Toughness) ที่ 0.0744 มม. หรือเทียบเท่า 1 เท่าตัว ของระยะเวลาการทดสอบ ที่ช่วง 250 – 500 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร




ภาพที่ 43 กราฟแสดงผลการทดสอบไม้ไผ่และไม้ยางพาราประกับกาวแบบ Single layer รหัส B

ภาพที่ 44 แสดงการหักของไม้บริเวณรอยแตก ของแบบ Single layer รหัส B

3) แบบดับเบิ้ล เลเยอร์ (Double layer) แทนด้วยรหัส C พบว่าเกิดบริเวณรอยต่อไม้ (Finger Joint) เช่นเดียวกันกับต้นแบบในกลุ่ม B และ D แต่มีช่วงเวลาการรับน้ำหนักบรรทุกได้นานกว่าต้นแบบรหัส B-1 เนื่องจากมีชั้นของไม้ไผ่ที่มากกว่า และไม้ยางพาราประกับกาวแบบ Double layer รหัส C-1 พบว่าการรับน้ำหนักบรรทุก มีค่าความต้านทานแรงดัดสูงสุดที่ 56.48 เมกะปาสกาล เมื่อมีค่าความเค้นคราก (Yield Strength) สูงสุดที่ 2.184 กิโลนิวตัน มีอัตราการคืนตัว (Toughness) มากสุดที่ 0.1396 มม. หรือเทียบเท่า 1 ใน 2 ของระยะเวลาการทดสอบ ที่ช่วง 450 – 480 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

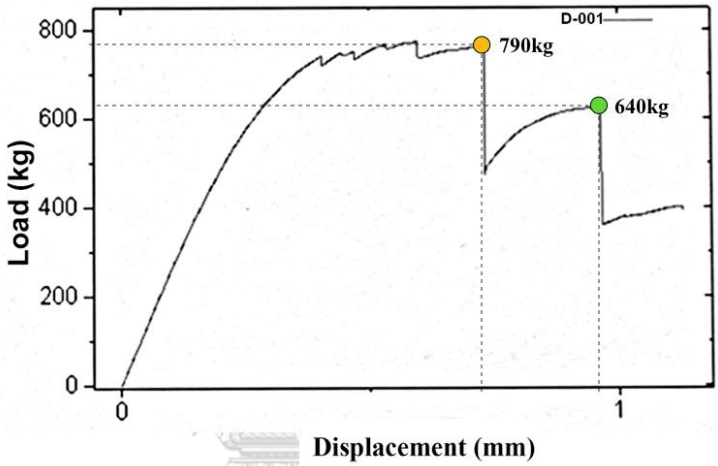



ภาพที่ 45 กราฟแสดงผลการทดสอบไม้ไผ่และไม้ยางพาราประกับกาวแบบ Double layer รหัส C

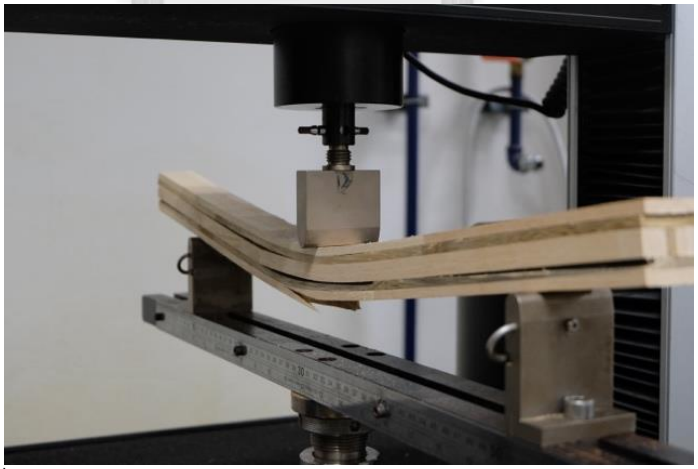
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพที่ 46 แสดงการหักของไม้บริเวณรอยแตก ของแบบ Double layer รหัส C

4) แบบเอช เลเยอร์ (H Layer) แสดงผลการทดสอบไม้ไผ่และไม้ยางพาราประกับกาว H layer รหัส D-1 แสดงให้เห็นว่าต้นแบบในกลุ่มรหัส D1 มีค่าความต้านทานแรงดัดสูงสุดที่ 76.97 เมกะปาสกาล หรือเทียบเท่า 784.875569 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และมีพฤติกรรมการรับน้ำหนักที่สามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้นานที่สุด มีอัตราการคืนตัว (Toughness) มากสุดที่ 0.1574 มม. หรือเทียบเท่า 1 ใน 4 ของระยะเวลาการทดสอบที่ช่วง 450 – 600 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งถือว่ามีอัตราการคืนตัวมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับต้นแบบในกลุ่ม A, B และ กลุ่ม C




ภาพที่ 47 กราฟแสดงผลการทดสอบไม้ไผ่และไม้ยางพาราประกับกาว H layer รหัส D



ภาพที่ 48 แสดงการหักของไม้บริเวณรอยแตก ของแบบ H layer รหัส D-1

จากการแปรผลจากโปรแกรม INSTRON Series IX โดยเครื่องทดสอบ INSTRON รุ่น 4466 พบว่าต้นแบบที่มีค่าความเค้นคราก (Yield Strength) คือต้นแบบในกลุ่ม D รูปแบบ H layer มีค่าการต้านแรงดัดสูงสุดที่ 76.97 เมกะปาสกาล ในส่วนของกลุ่มต้นแบบ B และ C ยังมีคุณสมบัติที่ไม่มีความแตกต่างจากกลุ่ม A ซึ่งเป็นไม้ยางพาราตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ และสามารถรับน้ำหนักได้สูงสุดที่ 760 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และในช่วงที่วัสดุเริ่มเกิดการแตกหัก วัสดุยังสามารถรับน้ำหนักได้ที่ 620 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร คุณสมบัติเชิงกลรูปแบบนี้ สามารถซ่อมแซมชิ้นส่วนของวัสดุที่เสียหายได้ เมื่อนำไปใช้เป็นวัสดุก่อสร้าง อาคารจะไม่เกิดการวิบัติทันทีเมื่อเกิดการเสียรูป

ตารางที่ 6 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติไม้ไผ่และไม้ยางพาราประกับกาว

| No. | Yield Strength (kN) | MOR Modulus of Rupture (MPa) | MOE Modulus of Elastic | Young's Modulus (Stiffness) |
|---|---|---|---|---|
| A-1 | 2.299 | 52.73 | 7,480 | 9,150 |
| A-2 | 1.810 | 43.73 | 10,260 | 10,350 |
| A-3 | 2.208 | 50.01 | 7,446 | 8,924 |
| B-1 | 2.144 | 49.40 | 5,818 | 6,231 |
| B-2 | 1.684 | 38.02 | 8,826 | 9,078 |
| B-3 | 2.184 | 50.15 | 8,535 | 9,352 |
| C-1 | 2.289 | 52.53 | 7,156 | 9,341 |
| C-2 | 2.435 | 56.48 | 7,396 | 8,371 |
| C-3 | 2.235 | 51.78 | 3,906 | 9,248 |
| D-1 | 1.722 | 38.50 | 8,676 | 12,840 |
| D-2 | 3.439 | 76.97 | 8,641 | 10,390 |
| D-3 | 2.753 | 60.92 | 4,942 | 9,712 |

เมื่อเทียบกับพฤติกรรมของไม้ไผ่และไม้ยางพาราประกับกาวทั้ง พบว่าทั้ง 3 รูปแบบไม่เกิดการเสียรูปในทันที เมื่อเกิดการวิบัติในส่วนของไม้ยางพาราชั้นล่าง โดยไม้ไผ่และไม้ยางพาราประกับกาวยังสามารถรับแรงต่อได้ รูปแบบ H layer ไม้ที่มีอัตราการคืนตัว (Toughness) ได้ดีที่สุดที่ 0.1574 มม. ส่วนรูปแบบ Double layer จุดได้เปรียบกว่ารูปแบบ H layer เรื่องอัตราการคืนตัว (Toughness) มากสุดที่ 0.1396 มม. แม้ว่าค่าอัตราการคืนตัว (Toughness) จะน้อยกว่ารูปแบบ H layer แต่อัตราการคืนตัวสามารถรับแรงต่อเทียบเท่า 1 ใน 2 ของระยะเวลาการทดสอบ ที่ช่วงแรงกด 450 – 480 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จึงสรุปได้ว่าชั้นของไม้ไผ่ มีผลต่อการรับน้ำหนักประลัยและช่วยเพิ่มอัตราการคืนตัว (Toughness)

การผลิตวัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา พบว่า รูปแบบเอช เลเยอร์ (H layer) มีขั้นตอนการผลิตที่มากกว่า รูปแบบดับเบิ้ล เลเยอร์ (Double layer) เนื่องจากมีขั้นตอนประกับกาวในไม้ทิศทางตั้งและทิศทางนอน ทำให้ใช้เวลาในการผลิตนานกว่า 1 รอบการประกับกาว หากใช้วิธีการประกับเย็น (Cold press) จะใช้เวลามากกว่ารูปแบบดับเบิ้ล เลเยอร์ (Double layer) ถึง 15 ชั่วโมง และมีการใช้ไม้ยางพาราที่ไม่คุ้มค่า เนื่องจากมีส่วนที่ต้องตัดออกมากกว่าเท่าตัว เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่ม รูปแบบดับเบิ้ล เลเยอร์ (Double layer) ซึ่งใช้เวลาในการประกับกาวเพียงรอบเดียว และมีส่วนที่ต้องไสออกน้อยกว่า ส่งผลให้งบประมาณในการผลิต และขนาดของไม้รูปแบบดับเบิ้ล เลเยอร์ (Double layer) มีความสอดคล้องกับระบบอุตสาหกรรมไม้ในประเทศไทย

### 3.2 วิธีการผลิตวัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา ขนาด 2x4 นิ้ว

ขั้นตอนการผลิตวัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา ใช้แนวคิดการผลิตที่สอดคล้องกับระบบอุตสาหกรรมไม้ ไม้ยางพาราที่นำมาใช้ มีความหนาชุดละ 25 มิลลิเมตร การผลิตจะทำเป็นชุดและนำมาตัดเป็นท่อนให้ได้ขนาด 2x4 นิ้ว ภายหลังการประกับ โดยรูปแบบดับเบิ้ล เลเยอร์ (Double layer) 1 ชุด ประกอบด้วยไม้ยางพาราหนา 25 มิลลิเมตร จำนวน 4 ชุด และไม้ไผ่ประกับกาว จำนวน 2 ชุด วิธีการผลิตแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่ 1) ขั้นตอนประกับชั้นไม้ไผ่ 2) ขั้นตอนประกับไม้ไผ่และไม้ยางพารา 3) ขั้นตอนตัดขนาด 2x4 นิ้ว

1) ขั้นตอนประกับชั้นไม้ไผ่ นำไม้ไผ่ตัดตามแนวยาว โดยใช้เครื่องเลื่อยไฟฟ้าตามแนวยาวไสขนาดให้ได้ความหนา 5 มิลลิเมตร นำมาทากาวลาเท็กซ์ตามมาตรฐาน DIN204/205 D4 ในอัตราส่วน 100 ต่อ 15 นำมาประกับโดยวิธีอัดเย็น (Cold press) ทิ้งไว้เป็นเวลา 15 ชั่วโมง ทำการขัดคราบกาวบริเวณพื้นผิวชั้นไม้ไผ่ออก ให้เหลือเพียงกาวบริเวณที่ชิ้นไม้ติดกัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาพที่ 49 แสดงขั้นตอนประกับชั้นไม้ไผ่

2) ขั้นตอนประกับไม้ไผ่และไม้ยางพารา นำชั้นไม้ไผ่วางเรียงกับแผ่นไม้ยางพาราสำเร็จรูป ขนาดกว้าง 60 เซนติเมตร ยาว 240 เซนติเมตร ทากาวลาเท็กซ์ตามมาตรฐาน DIN204/205 D4 ในอัตราส่วน 100 ต่อ 15 นำมาประกับโดยเครื่องอัดประกับไม้ประกับกาวแบบอัดเย็น (Cold press) ทิ้งไว้เป็นเวลา 15 ชั่วโมง สามารถอัดได้ 5 ชุด ต่อ 1 รอบ

ภาพที่ 50 แสดงเครื่องอัดประกับไม้ประกับกาวแบบอัดเย็น (Cold press)

ภาพที่ 51 ไม้ยางพาราแผ่นสำเร็จรูปในระบบอุตสาหกรรม

ภาพที่ 52 แสดงขั้นตอนประกับไม้ไผ่และไม้ยางพารา

3) ขั้นตอนการตัดขนาด 2x4 นิ้ว การตัดไม้วัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพาราที่อัดประกับเสร็จเป็นชุด จะเสียระยะคลองเลื่อยไป 5 มิลลิเมตร เนื่องจากใบเลื่อยที่ใช้เป็นใบเลื่อยอุตสาหกรรม มีขนาดใหญ่ทำให้เสียระยะคลองเลื่อยมากกว่าการทำวัสดุต้นแบบ ไสความหนาทางตั้ง ให้ได้ความหนา 4 นิ้ว และไสความหนาทางนอน ให้ได้ 2 นิ้ว จากนั้นจึงตัดความยาวให้ได้ 2.40 เมตร โดยตัดฝั่งหัวและท้ายไม้ ในส่วนที่ไม้ไผ่ยื่นเกินออกมาให้เรียบร้อย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพที่ 53 ขั้นตอนการไสความหนาให้ได้ขนาด 2x4 นิ้ว

ภาพที่ 54 วัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวไม้ยางพาราประกับกาวสำหรับเตรียมตัดขนาดความยาว

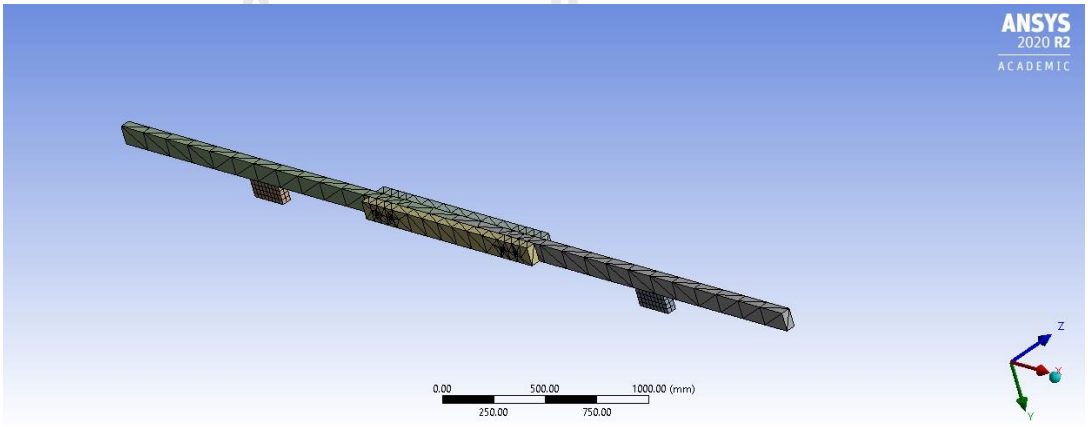
ภาพที่ 55 แสดงขั้นตอนการตัดหัวและท้ายของวัสดุ

ภาพที่ 56 วัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวไม้ยางพารา ขนาด 2x4 นิ้ว

**3.3 การวิเคราะห์ Finite Element Analysis**

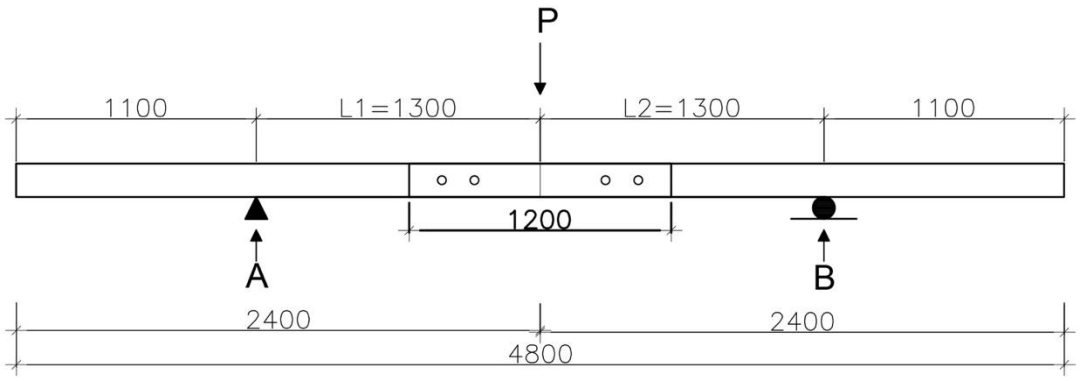
การวิเคราะห์ไฟไนอิลิเมนต์ในส่วนวัสดุ ขนาด 2x4 นิ้ว สร้างชิ้นงานโดยใช้โปรแกรม ANSYS 2020 R2 และการประมวลผล โดยประกอบด้วยโครงสร้างตาข่าย (Mesh) จำนวนอิลิเมนต์ทั้งหมด 21,363 จุด ประกับด้วยไม้ชนิดเดียวกันกับคานสองฝั่ง ขนาดความยาวของไม้ที่ใช้ประกับคานทั้ง 2 รูปแบบ ขนาดความยาว 1.20 เมตร ยึดกับสกรูชนิดโบลท์ (Bolts) ขนาด ½ x 6 Inch จำนวน 4 ตัว ทดสอบการดัดงอแบบ 3 จุด (3-Point loading) รวมถึงจำลองแรงโน้มถ่วงของโลกไว้ในโปรแกรม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย




ภาพที่ 57 การสร้างแบบจำลองวัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา ขนาด 2x4 นิ้ว

การทดสอบ กดบริเวณตรงกลางของคานที่มี Max Stress ตั้งค่าแรงกดที่ 0.2082 เมกะปาสกาล (MPa) และกำลังกดที่ 1041 นิวตัน รวมถึงการทดสอบการรับแรงแบบทั้งชิ้น ตั้งค่าแรงกดที่ 4660 เมกะปาสกาล (MPa) และกำลังกดที275 นิวตัน ทั้งนี้ไม่ได้มีการเพิ่มปัจจัย เช่น การรับแรงแผ่นดินไหว การรับแรงลม ใส่คุณสมบัติค่าปัวซองของไม้ยางพารา (Poisson's effect for rubber wood) ที่ 0.288 สำหรับการใช้รับแรงบริเวณตรงกลางของชิ้นงานทั้ง 2 ทิศทาง ตั้งแรงทางตั้ง และแรงทางแนวนอน



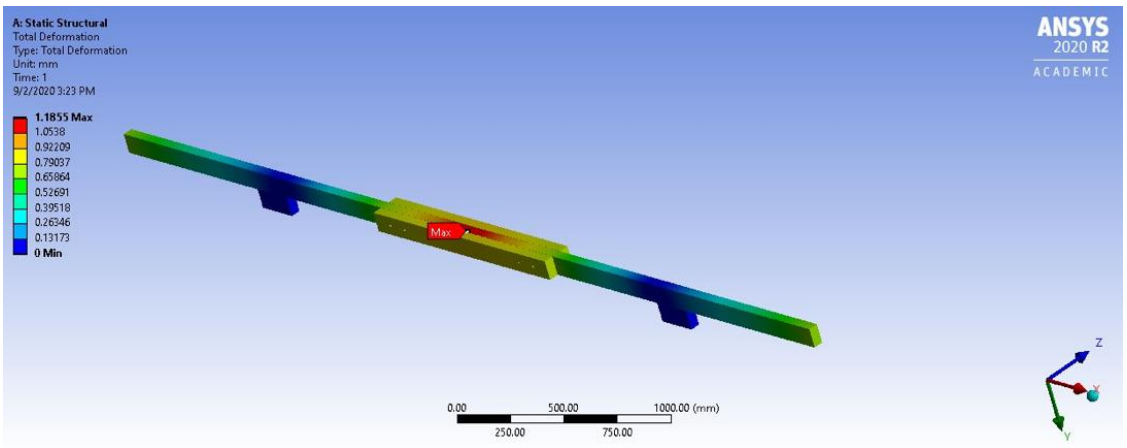

ภาพที่ 58 การวิเคราะห์ Mesh วัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา ขนาด 2x4 นิ้ว

ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธี Static Structural แสดงระยะยุบตัวทั้งหมดจากด้านบน และด้านล่างของชิ้นงาน บริเวณเสา ทั้งการทดสอบแบบกดบริเวณกลาง และกดแบบทั้งชิ้นงาน ส่วนที่มีระยะยุบตัว (deformation) สูงที่สุดอยู่บริเวณส่วนกลางด้านในบริเวณรอยต่อของคานไม้ทั้งสองชิ้น อยู่ที่ 1.1855 มิลลิเมตร จากการทดลองสร้างชิ้นงาน วัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพาราพบว่าคุณภาพของ Skewness mesh และ Orthogonal quality mesh เฉลี่ยอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ (acceptable) คานมีความยาวทั้งหมด 4.80 เมตร โดยมีระยะเสาห่าง 2.60 เมตร มีระยะคานยื่น 1.10 เมตร ทั้งสองฝั่ง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 7 แสดงค่าพารามิเตอร์คุณสมบัติของชิ้นงานทดสอบไม้

| Types | ความหนาแน่น (kg/m^3) | ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) (MPa) | *ค่าปัวซอง* (*Poisson*'s Ratio) (N/A) |
|---|---|---|---|
| วัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา ขนาด 2x4 นิ้ว | 699 | 7396 | 0.288 |




ภาพที่ 59 แสดงระยะยุบตัว (Deformation) ของวัสดุโครงสร้างผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา ขนาด 2x4 นิ้ว

ผลการทดสอบ statistic test ในส่วนของคาน ขนาด 2” x 4” พบว่า วัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา ขนาด 2x4 นิ้ว สามารถวางระยะพาดคานได้ตั้งแต่ 2600 – 3000 มิลลิเมตร ตามตารางที่ 8 แสดงข้อแนะนำการใช้วัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา ขนาด 2x4 นิ้ว ซึ่งมีระยะยุบตัว (deformation) ไม่เกิน 2.5 มิลลิเมตร ตามมาตรฐาน ASTM D 143 – 94 ในส่วนของคานยื่นสามารถรับแรงดัดได้ในความลึกไม่เกิน 900 มิลลิเมตร ในกรณีที่ออกแบบคานทั้งสองฝั่งเท่ากัน และไม่อยู่ในสภาพแวดล้อมที่วัสดุโดนน้ำ หรือลมฝน และไม่สามารถใช้ระยะพาดที่มากกว่า 3200 มิลลิเมตร ได้เนื่องจากระยะยุบตัวจะเพิ่มไปอยู่ที่ 2.76 มิลลิเมตร

ตารางที่ 8 แสดงข้อแนะนำการใช้วัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา ขนาด 2x4 นิ้ว

| Span (mm) | Cantilever Span (mm) | Deformation (mm) |
|---|---|---|
| 2600 | 900 | 1.1855 |
| 2800 | 800 | 1.6402 |
| 3000 | 700 | 2.1639 |
| 3200 | 600 | 2.7647 |
| 3400 | 500 | 3.4313 |
| 3600 | 400 | 4.1818 |
| 3800 | 300 | 5.0228 |

พฤติกรรมการยุบตัวของโครงสร้างไม้ได้ว่าพฤติกรรมที่เกิดขึ้นมีปัจจัยได้แก่ ลักษณะการจัดวางโครงสร้างไม้ วิธีการยึดระหว่างไม้ ขนาดของไม้ ความหนาแน่นของไม้ ค่าโมดูลัสยืดยุ่น และระยะห่างระหว่างเสาทำให้การยุบตัวของโครงสร้างแตกต่างกันออกไป เนื่องจากคุณสมบัติทางกลที่แตกต่างกันของส่วนประกอบของไม้ยางพารา และไม้ไผ่ ส่งผลให้ความแข็งแรงและแรงโน้มถ่วงต่อน้ำหนักต่างกัน เพื่อที่จะหาระยะเสาจึงต้องกำหนดเงื่อนไขของคุณสมบัติของไม้แต่ละชนิด ผลดีที่สุดที่ระยะพาดของคานที่ 2.60 เมตร และควรเกิน 3.00 เมตร จากการทดสอบคุณสมบัติของไม้ด้วยแรงโน้มถ่วงในแต่ละระยะของเสาพบว่าระยะของเสาที่มีผลต่อโครงสร้างไม้แต่ละชนิดแรงใน ทางตั้ง (compression force) จากแรงโน้มถ่วงทางแนวนอน (vertical displacement) ของคาน



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

# บทที่ 4
# แนวทางการออกแบบวัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพาราสำหรับหน่วยพักอาศัย

การออกแบบหน่วยพักอาศัยที่ใช้วัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพาราใช้ส่วนประกอบของโครงสร้างใช้วัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา รูปแบบ “Double layer” ขนาดหน้าตัด 2x4 นิ้ว ขนาดความยาว 2.40 เมตร การออกแบบหน่วยพักอาศัยที่ใช้วัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา แบ่งโครงสร้างออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ 1) พื้น 2) ผนัง 3) หลังคา ออกแบบให้สามารถแยกส่วนประกอบ และสามารถซ่อมแซมโครงสร้างเฉพาะส่วนได้ โดยข้อมูลที่ใช้เป็นข้อแนะนำในการออกแบบใช้ผลการศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา

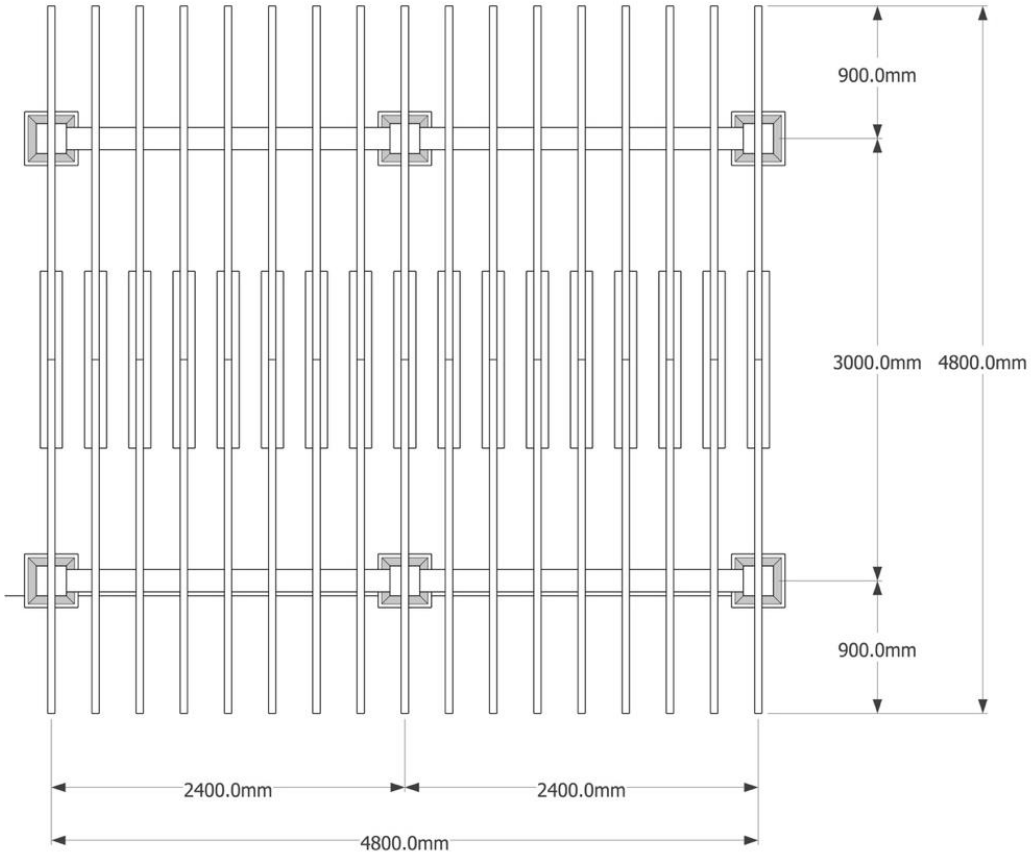
## 4.1 แนวทางการออกแบบสำหรับหน่วยพักอาศัย

แนวทางการออกแบบอาคารหน่วยพักอาศัยเชิงประยุกต์ ใช้ไม้ขนาด 2x4 นิ้ว ในส่วนโครงสร้างทั้งหมด 57.35 ลบ.ฟุต พื้นมีระยะพาดสำหรับการวางตงพื้น (Span) ไม่เกิน 3.00 เมตร และระยะคานยื่น (Cantilever Span) ไม่น้อยกว่า 0.90 เมตร โดยระยะยุบตัวไม่เกิน 2.50 มิลลิเมตร ตามมาตรฐาน ASTM D 143 – 94 ลักษณะของโครงเคร่าผนัง (Wall framing) เป็นผนังรับน้ำหนัก (Wall bearing) แทนเสาไม้ขนาด 8 นิ้วตามลักษณะนิยม สามารถประกอบแยกชิ้น ระหว่างพื้นและโครงสร้างหลังคาได้ ในส่วนของโครงสร้างหลังคาใช้เป็นแบบรูปแบบวางยื่น (Gable Overhang) จันทันออกแบบโดยใช้ไม้ 3 ท่อน ประกอบเป็นลักษณะ “Y Unit” เพื่อใช้ในการพาดกับผนัง สามารถถอดประกอบแยกชิ้นได้ วัสดุแผ่นปิดผนังภายนอกใช้แผ่นเรียบความหนาไม่น้อยกว่า 4 มิลลิเมตร ที่สามารถหาได้ในระบบอุตสาหกรรมในประเทศไทย

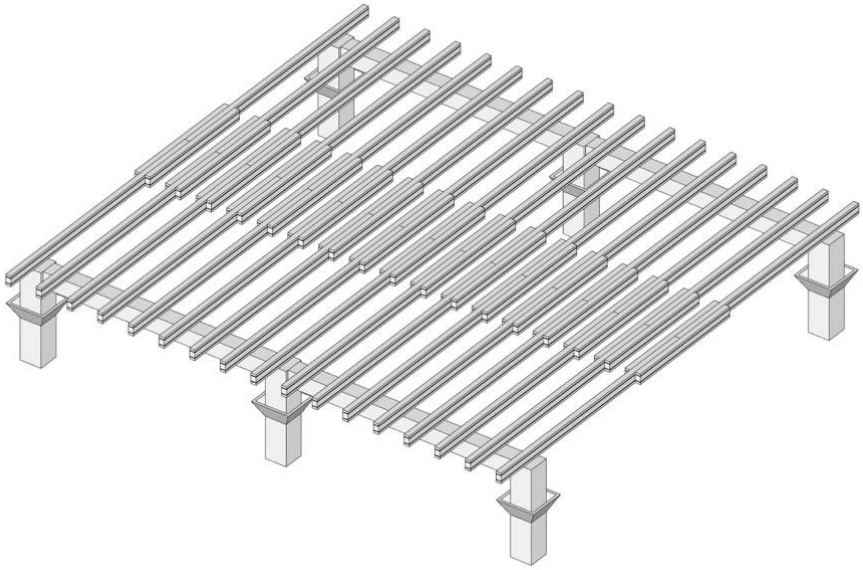
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

### 4.1.1 พื้น

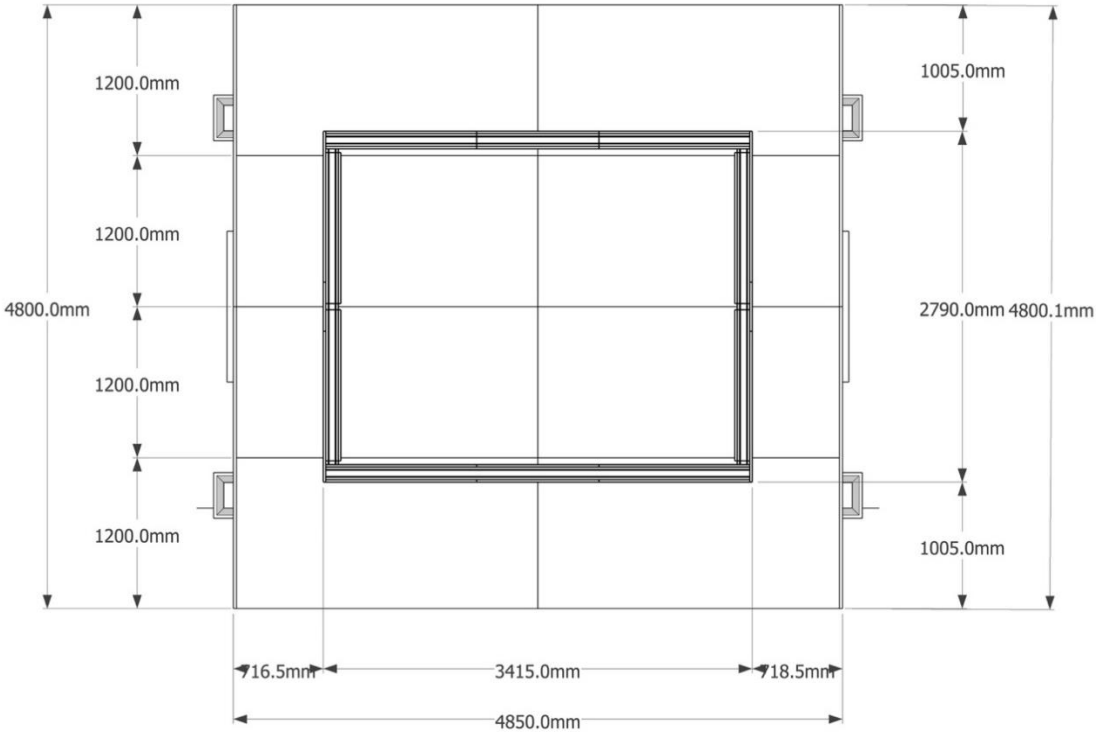
พื้นเป็นวัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา ขนาด 2x4 นิ้ว ทดแทนขนาด 2x6 นิ้ว ตามวิธีการก่อสร้างตามลักษณะนิยม วางตงแต่ละชิ้นพื้นห่างกัน 30 เซนติเมตร โดยวางพาดระหว่างคาน ระยะเสาทั้งหมด 3.00 เมตร ตงพื้นประกอบด้วยส่วนของตงพื้น และส่วนของไม้ประกับข้าง เพื่อเพิ่มความยาวให้แก่ตงพื้น ใช้แนวคิดการวางตงแบบอิสระ วัสดุแผ่นปิดพื้น ใช้แผ่นสมาร์ทบอร์ด ความหนา 20 มิลลิเมตร ขนาด 2.40 x 1.20 เมตร จำนวน 8 แผ่น เป็นจุดเชื่อมต่อการกระจายแรงแทน




ภาพที่ 60 แสดงการวางตำแหน่งตงพื้น ขนาด 2x4 นิ้ว ตามแนวคานคอนกรีตเสริมเหล็ก



ภาพที่ 61 แสดงภาพฉายไอโซเมตริกการวางตำแหน่งตงพื้นตามแนวคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

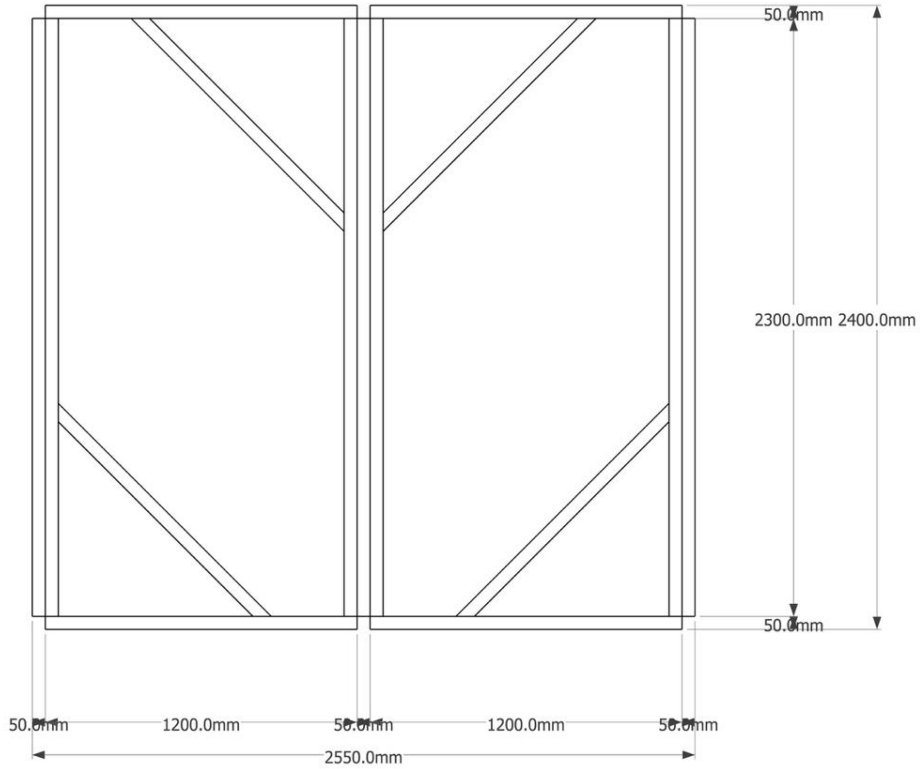



ภาพที่ 62 แสดงการวางวัสดุแผ่นปิดพื้นตามระยะผนัง

**4.1.2 ผนัง (Wall framing)**

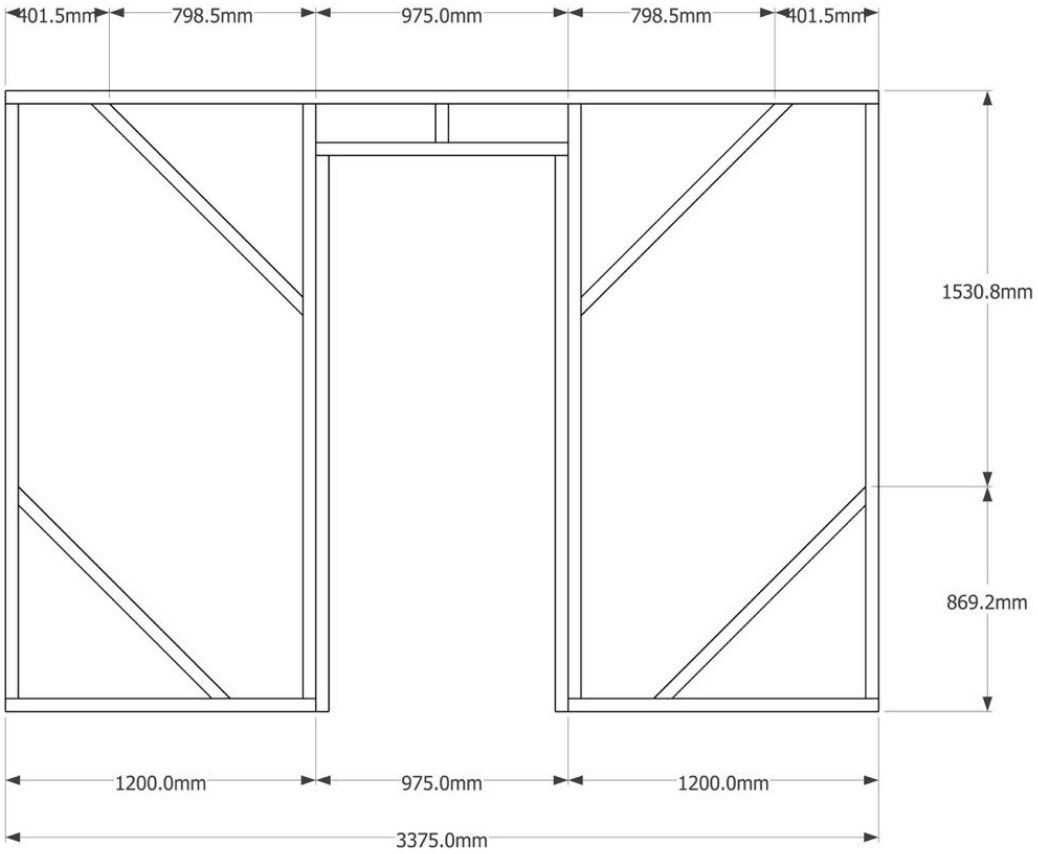
ผนังถูกออกแบบโดยวิธีทำเป็นกรอบผนัง (Wall framing) และนำมาประกอบกันทั้งหมด 4 ด้าน เพื่อให้อาคารหน่วยพักอาศัยสามารถก่อสร้างได้โดยใช้จำนวนแรงงานคนไม่เกิน 2 คน สามารถเคลื่อนย้ายกรอบโครงเคร่าผนังได้สะดวก กรอบผนังมีความสูงรวมทั้งหมด 2.40 เมตร กว้าง 2.55 เมตร และสามารถต่อความกว้างได้ไม่จำกัด มีไม้ทางตั้งประกับเชื่อมระหว่างกรอบผนังสำหรับวางพาดจันทัน กรอบผนังมีค้ำยันวางในแนวทแยง เพื่อเพิ่มการถ่ายแรงจากจันทันลงมายังผนังรับน้ำหนัก ประกอบด้วย 1) ผนังด้านข้าง 2) ผนังด้านหน้า 3) ผนังด้านหลัง สามารถปิดแผ่นผนัง (wall sheathing) ที่มีความหนาไม่น้อยกว่า 6 มิลลิเมตร เช่น สมาร์ทบอร์ด เฌอร่าบอร์ด หรือวัสดุที่สามารถหาได้ตามท้องถิ่น เช่น ฟากผนังไม้ไผ่ ผนังไม้ไผ่อัดประสาน ฯลฯ

1) ผนังด้านข้าง อาคารประกอบด้วยโครงเคร่าผนัง จำนวน 2 ส่วน กว้างส่วนละ 1.20 เมตร ระยะความสูงรวม 2.40 เมตร ติดตั้งไม้ทางตั้งไว้บริเวณด้านข้างซ้าย ขวา และระหว่างโครงเคร่าผนัง เพื่อเป็นไม้รับจันทันหลังคา กรอบผนังมีค้ำยันวางในแนวทแยงวางเฉียงเข้าหาประตู เพื่อถ่ายเทแรงจากผนังรับน้ำหนักลงมาบริเวณตงพื้น



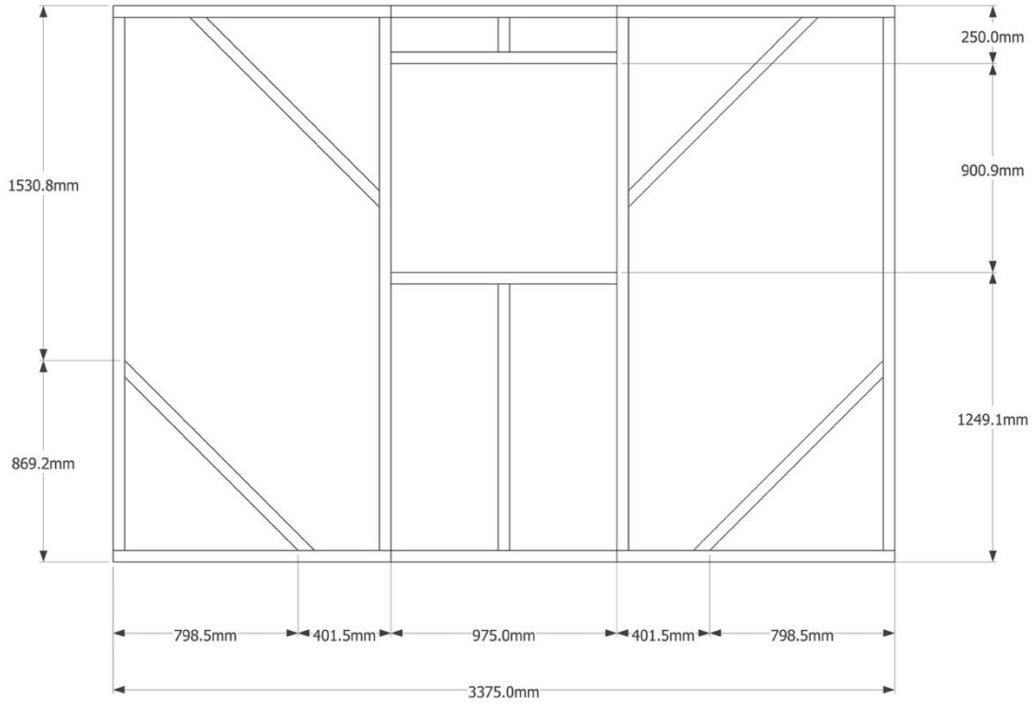

ภาพที่ 63 แสดงผนังด้านข้างอาคาร

2) ผนังด้านหน้าอาคารประกอบด้วยโครงเคร่าผนังกว้าง 1.20 เมตร จำนวน 2 ส่วน และเว้นช่องตรงกลางเป็นช่องเปิดสำหรับใส่บานประตู สามารถใส่ประตูได้ตั้งแต่ขนาดความกว้าง 0.70 – 0.90 เมตร ความสูงบานประตูตั้งแต่ 1.80 – 2.00 เมตร ตามระยะทับหลังประตู กรอบผนังมีค้ำยันวางในแนวทแยง ฝั่งละ 2 ชิ้น วางเฉียงเข้าหาประตู เพื่อถ่ายเทแรงจากผนังรับน้ำหนักลงมาบริเวณตงพื้น ไม้บนทับหลังประตู ใช้ไม้ต่อกันแบบบากร่องเฉียง 45 องศา เพื่อเชื่อมไม้ 2 ท่อน ให้ได้ความยาวรวม 3.37 เมตร

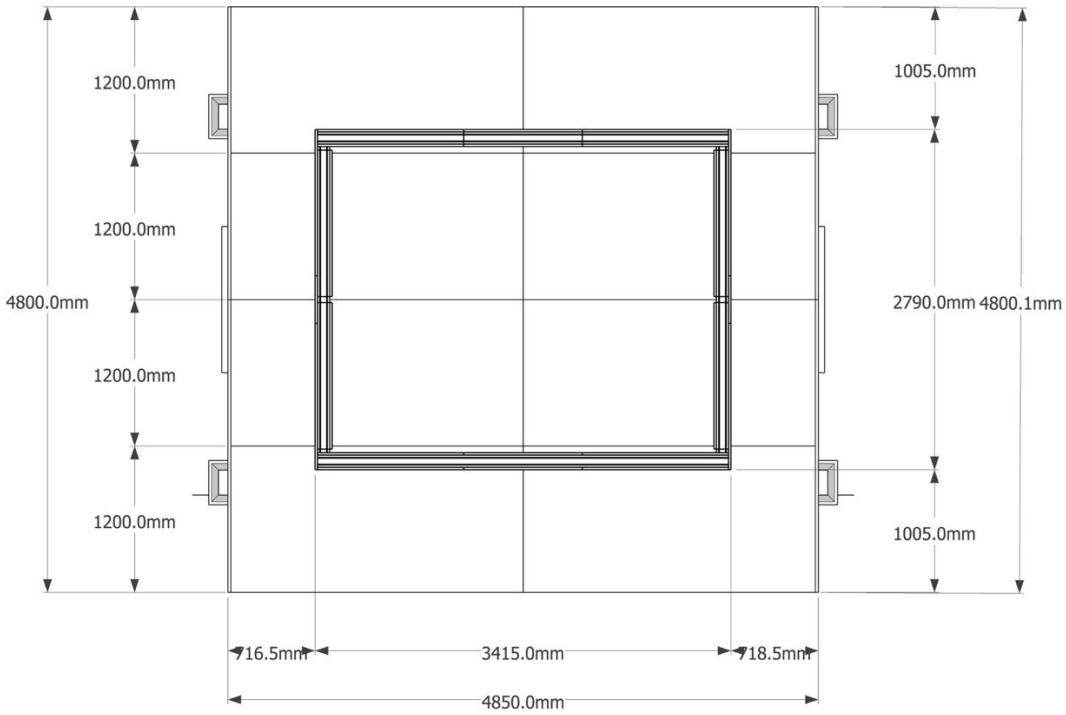



ภาพที่ 64 แสดงผนังด้านหน้าอาคาร

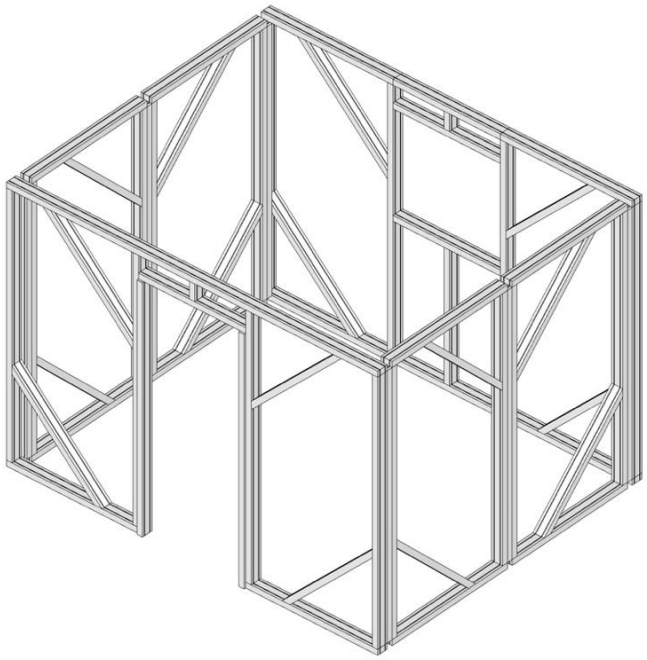
3) ผนังด้านหลังอาคารประกอบด้วยโครงเคร่าผนังกว้าง 1.20 เมตร จำนวน 2 ส่วน และเว้นช่องตรงกลางเป็นช่องเปิดสำหรับใส่บานหน้าต่าง สามารถใส่หน้าต่างกว้าง 0.70 - 0.90 เมตร ติดตั้งบานเปิดได้ทั้งแบบ บานวิสโก้ บานเปิด และบานเลื่อนคู่สลับ ขนาดของวงกบบานเปิด สามารถใช้กรอบอลูมิเนียมในระบบอุตสาหกรรม หรือวงกบไม้เนื้องแข็งชนิดที่หาได้ตามท้องถิ่น กรอบผนังมีค้ำยันวางในแนวทแยง ฝั่งละ 2 ชิ้น วางเฉียงเข้าหาไม้ตั้งแนวกรอบหน้าต่าง เพื่อถ่ายเทแรงจากผนังรับน้ำหนักลงมาบริเวณตงพื้น ไม้บนทับหลังหน้าต่าง ใช้ไม้ต่อกันแบบบากร่องเฉียง 45 องศา เพื่อเชื่อมไม้ 2 ท่อน ให้ได้ความยาวรวม 3.37 เมตร




ภาพที่ 65 แสดงผนังด้านหลังอาคาร




ภาพที่ 66 แสดงผังบริเวณตำแหน่งผนังบนแผ่นพื้น



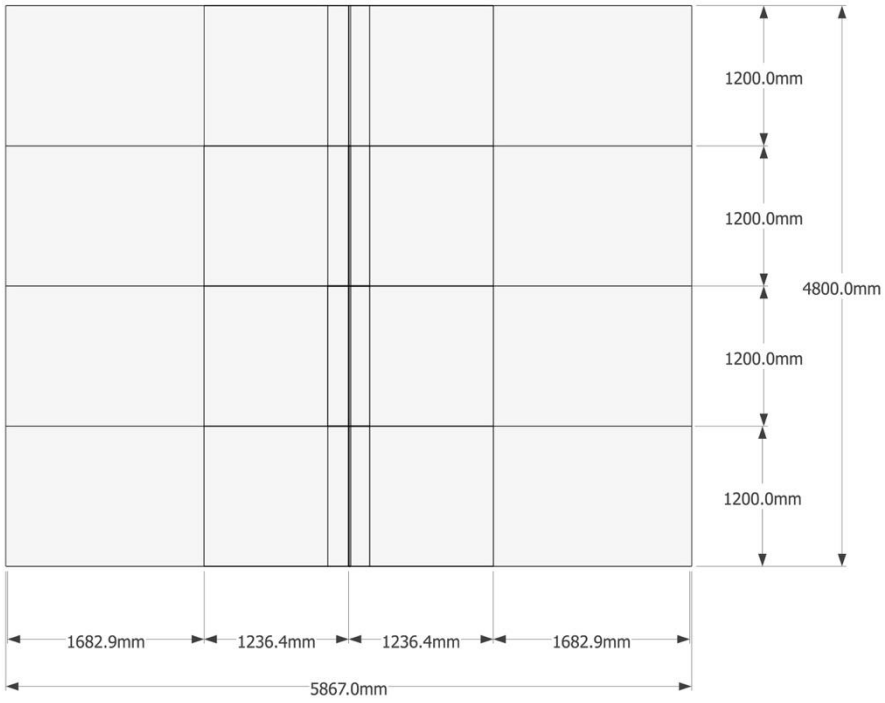
ภาพที่ 67 แสดงภาพฉายไอโซเมตริกการวางผนัง (Wall framing)

การประกอบโครงเคร่าผนัง และการยึดผนังทั้ง 4 ด้าน ใช้วิธีการเข้ามุม 90 องศา ใช้น๊อตกรูแบบโบลท์ (Bolt) ขนาดความยาว 6 นิ้ว ชนิดตัวผู้ และตัวเมีย พร้อมใส่ประเก็นกันน๊อตคลาย ไม้ค้ำยันในกรอบผนัง วางเฉียง 45 องศา ตัดขนาดเริ่มต้น 1.20 เมตร ยึดด้วยตะปูสำหรับงานไม้ ความยาว 55 มิลลิเมตร ตอกทแยงบริเวณบนและล่างเข้ากับผนัง เก็บรายละเอียดด้วยการอุดซิลิโคนสีเนื้อ เพื่อปิดหัวตะปูที่ใช้ตอกไม้ทแยง

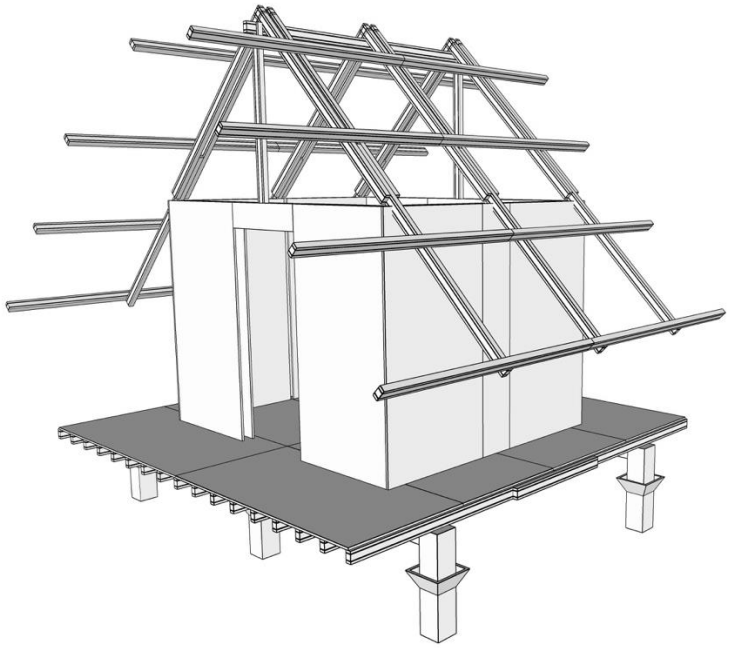
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**4.1.3 หลังคา**

หลังคาใช้วิธีการประกับไม้จันทันเป็นลักษณะตัว “Y unit” ประกอบด้วยวัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา 3 ชิ้น ความยาว 2.40 เมตร ประกับ 3 ชิ้น เหลื่อมระยะ 0.60 เมตร วางระยะห่างจันทัน 1.20 เมตร ระยะห่างแปร 1.20 เมตร ความยาวหลังคา สามารถทำได้ตั้งแต่ 4.20 เมตร และเพิ่มส่วนต่อความยาวได้อีก 0.30 เมตร ตามภาพที่ 69 แสดงภาพไอโซเมตริกโครงสร้างหลังคาอาคารวัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและยางพารา ขนาด 2x4 นิ้ว ในกรณีที่ต้องการคลุมให้เกินระยะฐานราก หรือปรับความสูงของหลังคาตามความเหมาะสมของพื้นที่ ปิดแผ่นหลังคา (roof sheathing) ด้วยไม้เกล็ดไม้อัดเรียงชิ้น (Oriented strand board: OSB) หนา 10 มิลลิเมตร วางแผ่นกันซึม (eave protection) หนา 2 มิลลิเมตร และมุงด้วยหลังคชิงเกิ้ลรูฟ (shingle roof) หรือวัสดุที่สามารถหาได้ตามท้องถิ่น เช่น ฟากไม้ไผ่ หญ้าคา ฯลฯ



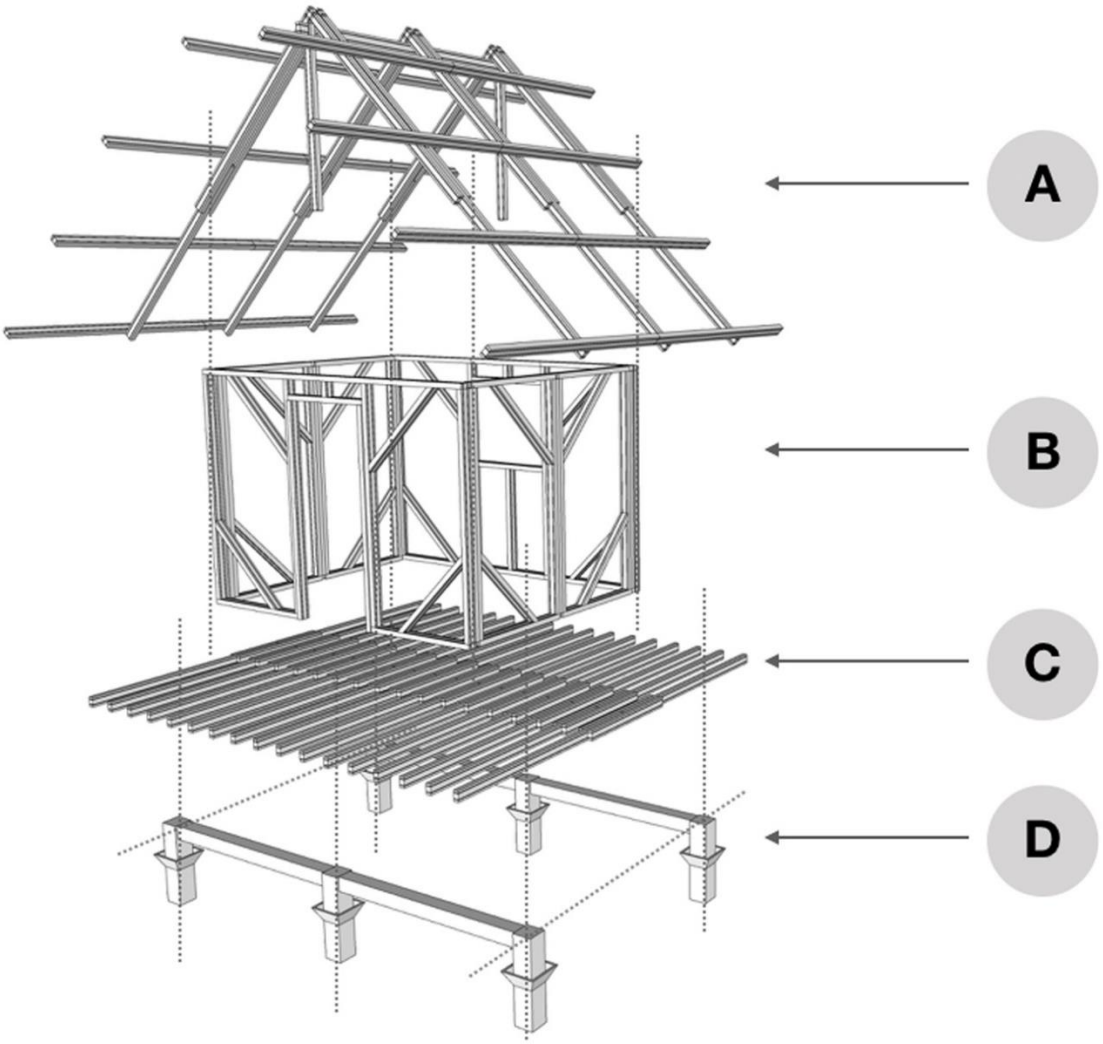

ภาพที่ 68 แสดงระยะการติดตั้งแผ่นหลังคาของชายคาอาคารหน่วยพักอาศัย



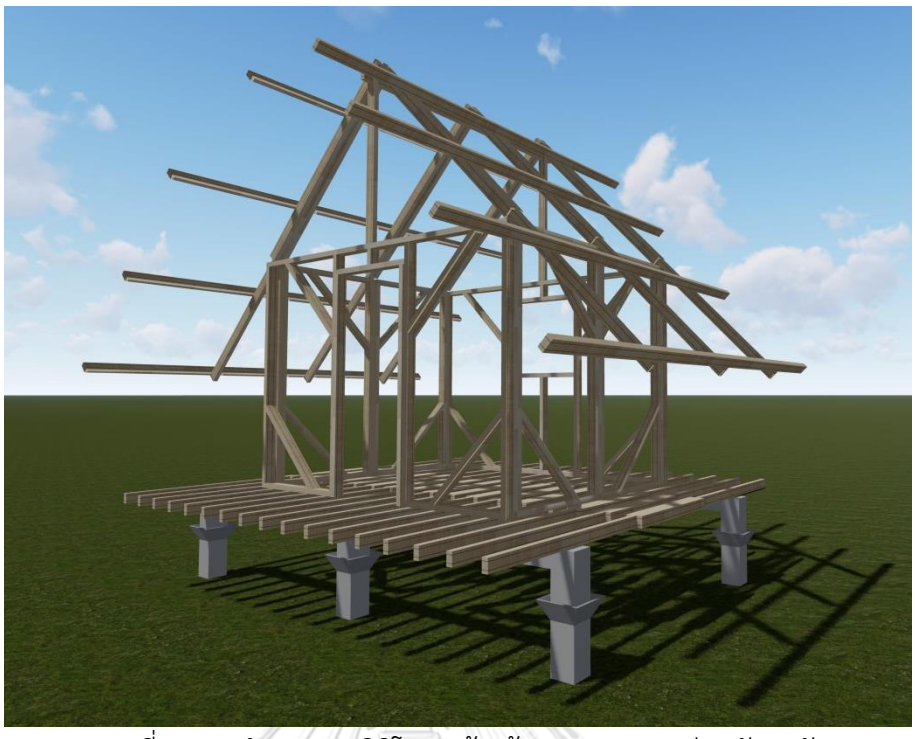
ภาพที่ 69 แสดงภาพไอโซเมตริกโครงสร้างหลังคาอาคารวัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและยางพารา ขนาด 2x4 นิ้ว

**4.1.4 องค์ประกอบของต้นแบบอาคารหน่วยพักอาศัย**

องค์ประกอบของต้นแบบอาคารหน่วยพักอาศัย ประกอบด้วยโครงสร้างหลังคา (A) โครงเคร่าผนัง (B) ตงพื้น (C) และ ฐานราก (D) เป็นพื้นที่อาคารทั้งหมด 23.04 ตารางเมตร แบ่งเป็นพื้นที่ภายในทั้งหมด 8.5 ตารางเมตร และ พื้นที่ชานรอบอาคาร 14.5 ตารางเมตร การถ่ายแรงจากจันทันจะลงมาที่บริเวณผนังรับน้ำหนักทั้งสองฝั่ง และลงสู่ตงพื้น กรอบโครงเคร่าผนังของอาคาร จำเป็นต้องวางในแนวคานคอนกรีตเสริมเหล็ก ขนาดของอาคารสามารถเพิ่มส่วนผนังทางลึกของอาคาร และเพิ่มจำนวนจันทันหลังคา ตามแนวคิดการออกแบบต้นแบบอาคารหน่วยพักอาศัย และต้องเพิ่มคานในส่วนฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็กทุก ๆ 3.00 เมตร




ภาพที่ 70 แสดงภาพไอโซเมตริกโครงสร้างอาคารวัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและยางพารา ขนาด 2x4 นิ้ว



ภาพที่ 71 รูปจำลองสามมิติโครงสร้างต้นแบบอาคารหน่วยพักอาศัย

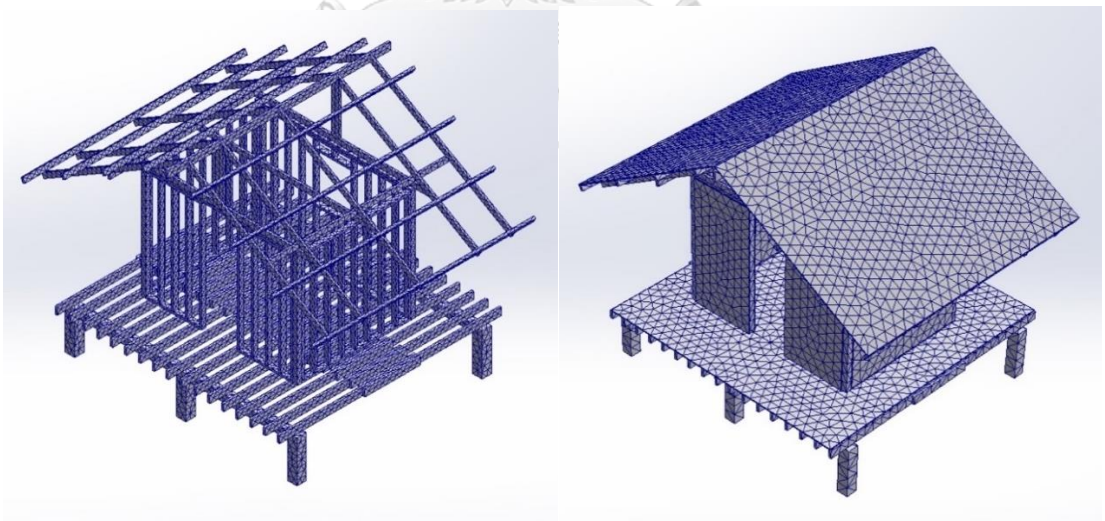
ภาพที่ 72 รูปจำลองสามมิติต้นแบบอาคารหน่วยพักอาศัย

**4.2 การออกแบบและทดสอบคุณสมบัติเชิงกลทางสถาปัตยกรรม**

เปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงกลทางสถาปัตยกรรมของวิธีการก่อสร้างตามลักษณะนิยม (Conventional) และการก่อสร้างเชิงประยุกต์โครงสร้างวัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา 2x4 นิ้ว สำหรับอาคารหน่วยพักอาศัย ด้วยการสร้างโครงสร้างตาข่าย (mesh) ด้วยกระบวนการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบ (Computational aided design: CAD) เพื่อการวิเคราะห์ไฟไนอิลิเมนต์เพื่อทดสอบการให้แรง และวิเคราะห์พฤติกรรมการรับแรงของอาคาร เพื่อนำไปสู่การแก้ไขจุดที่ไม่สามารถรับแรง หรือรับแรงไม่ได้ตามมาตรฐานไม้ประกับกาวก่อนการก่อสร้างจริง

**4.2.1 การออกแบบโครงสร้างตาข่ายเพื่อการวิเคราะห์ไฟไนอิลิเมนต์**

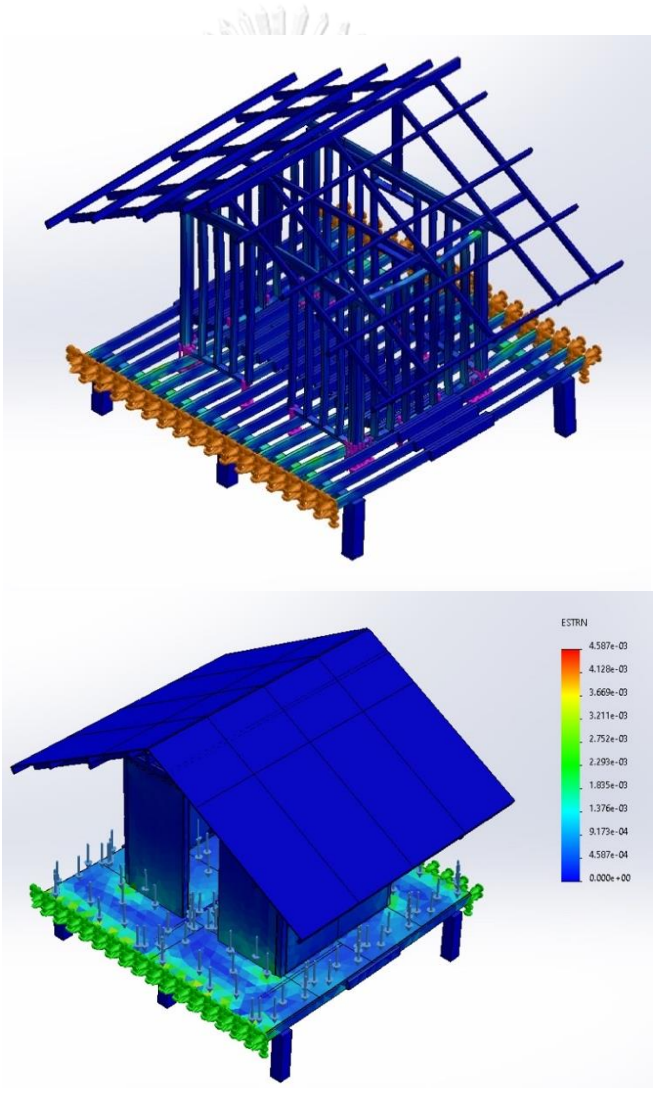
1) วิธีก่อสร้างตามลักษณะนิยม สร้างตามแบบจำลองของวัสดุ ประกอบด้วย โครงสร้างไม้ วัสดุปิดภายนอกแผ่นเรียบ คอนกรีตเสริมเหล็กในส่วนคาน และฐานราก ประกอบโครงสร้างตาข่าย (mesh) ด้วยจุดต่อ (node) จำนวน 91,934 จุด และอิลิเมนต์ทั้งหมด 39,114 ชิ้น ความหนาแน่น (Density) ของวัสดุในส่วนโครงสร้างมีค่าเท่ากับ 560 $kg/m^3$ ในส่วนขอบงโครงสร้างไม้ และ 1,300 $kg/m^3$ ในส่วนของวัสดุปิดผิวภายนอก ตามข้อมูลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุโครงสร้างผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพาราจากห้องทดลอง และจำลองค่าแรงโน้มถ่วงของโลกเท่ากับ 9.81 $m/s^2$ น้ำหนักอาคารในส่วนโครงสร้างทั้งหมดเท่ากับ XXX กิโลกรัม



ภาพที่ 73 แสดงการสร้าง mesh เพื่อกำหนดคุณสมบัติ

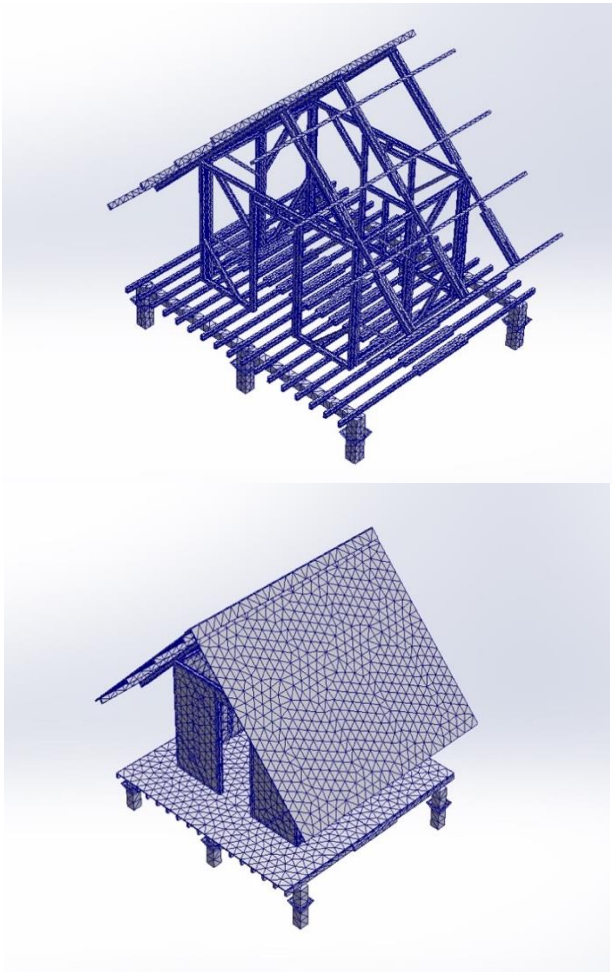
จากการทดสอบด้วยวิธีการวิเคราะห์ไฟไนอิลิเมนต์ และทดลองเพิ่มแรงในทิศทางเดียวกันอย่างเท่ากันจะเห็นจุดที่โครงสร้างมีความแข็งแรง และจุดที่โครงสร้างไม่แข็งแรง ไม้ยางพารามีค่า MOR เท่ากับ 6.2118 เมกะปาสคาน (MPa) ในขนาด 2x4 นิ้ว และ 6.8646 เมกะปาสคาน (MPa) ใน

ขนาด 2x6 นิ้ว จากภาพที่ 74 แสดงการวิเคราะห์ไฟไนอิลิเมนต์วิธีการก่อสร้างตามลักษณะนิยม พบว่าบริเวณส่วนกลางของโครงเคร่าผนังของอาคารที่ใช้วิธีการก่อสร้างตามลักษณะนิยมมีค่าคุณภาพของโครงสร้างตาข่าย (mesh quality) อยู่ในระดับที่สามารถยอมรับได้ (acceptable) แสดงค่าสีฟ้า เนื่องจากการกระจายตัวของค่าความเครียด (Equivalent Strain) โครงเคร่าผนังส่วนผนังรับน้ำหนักจะต้องรับน้ำหนักทั้งจากหลังคา และน้ำหนักของผนัง ที่โน้มเข้าบริเวณกลางของอาคาร จึงทำให้ไม่สามารถรับน้ำหนักได้ ประกอบกับไม้ยางพารา ขนาด 2x6 นิ้ว ตามแบบลักษณะนิยมมีคุณสมบัติเชิงกลที่ไม่สามารถนำมาใช้เป็นโครงสร้างได้ เนื่องจากบริเวณที่มีการเชื่อมต่อไม้ (finger joint) จะแตกหัก ตามข้อมูลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลไม้ยางพาราในห้องทดลอง




ภาพที่ 74 แสดงการวิเคราะห์ไฟไนอิลิเมนต์วิธีการก่อสร้างตามลักษณะนิยม

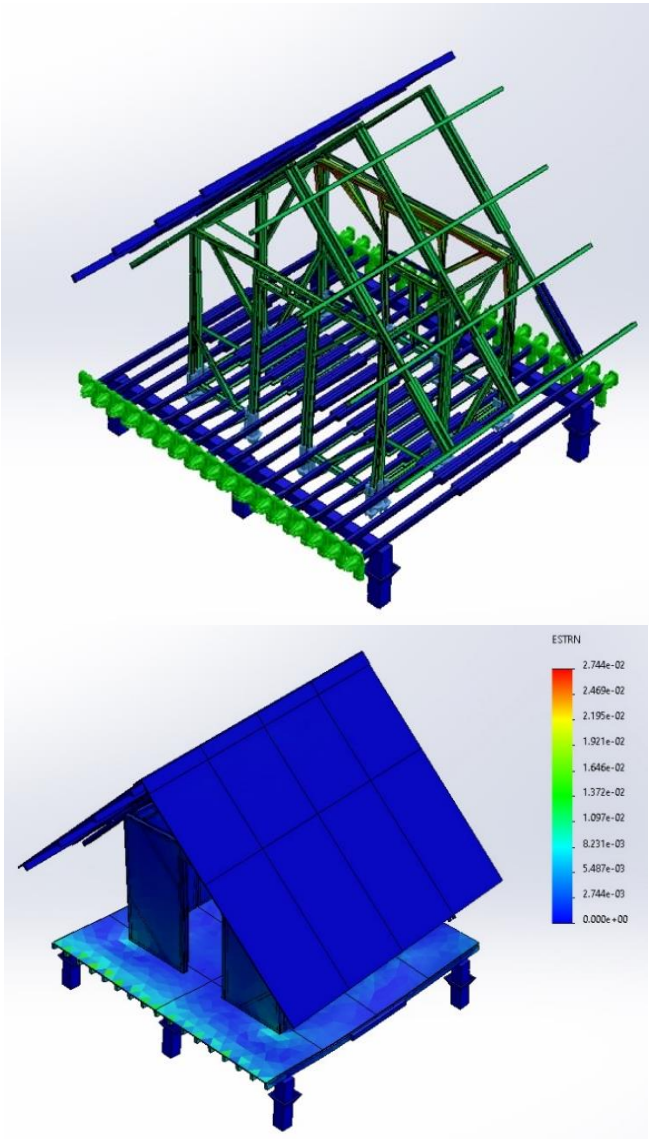
2) วิธีก่อสร้างเชิงประยุกต์ สร้างตามแบบจำลองของวัสดุ ประกอบด้วย โครงสร้างไม้ วัสดุปิดภายนอกแผ่นเรียบ คอนกรีตเสริมเหล็กในส่วนคาน และฐานราก ประกอบโครงสร้างตาข่าย (mesh) ด้วยจุดต่อ (node) จำนวน 115,189 จุด และอิลิเมนต์ทั้งหมด 46,690 ชิ้น ความหนาแน่น (Density) ของวัสดุในส่วนโครงสร้างมีค่าเท่ากับ 741 kg/$m^3$ และ 1,300 kg/$m^3$ ในส่วนของวัสดุปิดผิวภายนอก ตามข้อมูลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุโครงสร้างผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพาราจากห้องทดลอง และจำลองค่าแรงโน้มถ่วงของโลกเท่ากับ 9.81 m/$s^2$ น้ำหนักอาคารในส่วนโครงสร้างทั้งหมดเท่ากับ XXX กิโลกรัม



ภาพที่ 75 แสดงการสร้าง mesh เพื่อกำหนดคุณสมบัติวิธีการก่อสร้างเชิงประยุกต์

จากการทดสอบด้วยวิธีการวิเคราะห์ไฟไนอิลิเมนต์ และทดลองเพิ่มแรงในทิศทางเดียวกันอย่างเท่ากันจะเห็นการกระจายตัวของค่าความเครียด (Equivalent Strain) จุดที่โครงสร้างมีความแข็งแรง และจุดที่โครงสร้างไม่แข็งแรง เพื่อทำการพัฒนารายละเอียดในจุดที่ยังไม่แข็งแรง จากการทดสอบพบว่าวัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา มีค่า MOR เท่ากับ 7.396 เมกะปาสคาน

(MPa) จุดที่ต้องทำการปรับปรุง ได้แก่ 1) บริเวณกลางของตงพื้น แก้ไขด้วยวิธีการเปลี่ยนวิธีการยึดน๊อตชนิดโบลท์ (bolt) จากรูปแบบยึดตามแนว เป็นการยึดน๊อตชนิดโบลท์ (bolt) สลับแนว เพื่อลดการฉีดของไม้ตามแนวเสี้ยน 2) อกไก่ แก้ไขด้วยการเพิ่มตั้งเอก หรือไม้ค้ำยันในช่วงขึ้นโครงสร้างหลังคา และตัดออกภายหลังการติดตั้งแปร 3) แปรหลังคา แก้ไขด้วยการลดระยะยื่นในส่วน “Y unit” ส่วนต่อขยาย ก็จะสามารถทำให้จุดที่ไม้แข็งแรง อยู่ในระยะยื่นของจันทัน ทำให้ไม่เกิดการแกว่งของจันทัน




ภาพที่ 76 แสดงการสร้าง mesh เพื่อกำหนดคุณสมบัติ

**4.3 วิเคราะห์ระยะเวลาการก่อสร้างโดยใช้วิธีก่อสร้างเชิงประยุกต์**

การวิเคราะห์ระยะเวลาการก่อสร้างโดยใช้วิธีการก่อสร้างเชิงประยุกต์ วัสดุที่ใช้เป็นวัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา 2x4 นิ้ว ในประเด็น 1) ระยะเวลาในการก่อสร้างอาคารหน่วยพักอาศัย 2) ปริมาตรวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างเปรียบเทียบกับการก่อสร้างตามลักษณะนิยม เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์เปรียบเทียบการใช้วัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา 2x4 นิ้ว

**4.3.1 วิเคราะห์ระยะเวลาในการก่อสร้างอาคารหน่วยพักอาศัย**

วิธีการก่อสร้างเชิงประยุกต์ไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา 2x4 นิ้ว เก็บข้อมูลจากการก่อสร้างจริง ใช้ระยะเวลาทั้งหมด 16 วันปฏิบัติงาน ใช้แรงงานก่อสร้าง จำนวน 2 คน ประกอบด้วย ช่างไม้ 1 คน และช่างปูน และงานทั่วไป 1 คน ใช้ระยะเวลาในการก่อสร้างตั้งแต่วันที่ 19 ธันวาคม พ.ศ.2563 ถึง 6 มีนาคม พ.ศ.2564 รวมระยะเวลา 78 วัน เนื่องจากต้องใช้ระยะเวลาในหมวดงานเสาและคานคอนกรีตเสริมเหล็กในปูนแห้งเป็นเวลา 30 วัน หากก่อสร้างในพื้นที่ที่ไม่จำเป็นต้องสร้างงานฐานราก งานเสาสำเร็จ และงานคานคอนกรีตเสริมเหล็ก จะสามารถลดระยะเวลาการทำงานเหลือ 48 วัน รวมวันหยุด และระยะเวลาการขนส่งวัสดุ

ตารางที่ 9 แสดงระยะเวลาในการก่อสร้างอาคารหน่วยพักอาศัย

| หมวดงาน | วันที่ปฏิบัติงาน |
|---|---|
| 1.งานขุดฐานราก | 19 ธันวาคม 2563 |
| 2.งานเสาสำเร็จ | 22 ธันวาคม 2563 |
| 3.งานคานคอนกรีตเสริมเหล็ก | 3 มกราคม 2564 |
| 5.ประกอบตงพื้น | 13 กุมภาพันธ์ 2564 |
| 6.งานติดตั้งตงพื้น | 14 กุมภาพันธ์ 2564 |
| 7.งานติดตั้งแผ่นพื้น หนา 20 มม. | 15 กุมภาพันธ์ 2564 |
| 8.งานประกอบโครงเคร่าผนัง | 16 กุมภาพันธ์ 2564 |
| 9.งานติดตั้งโครงเคร่าผนัง | 20 กุมภาพันธ์ 2564 |
| 10.งานประกอบจันทัน | 21 กุมภาพันธ์ 2564 |
| 11.งานติดตั้งจันทันและแป | 23 กุมภาพันธ์ 2564 |
| 12.งานติดตั้งแผ่นไม้อัดเรียงชิ้น (OSB) | 25 กุมภาพันธ์ 2564 |
| 13.งานติดตั้งวัสดุมุงหลังคา | 3 มีนาคม 2564 |
| 14.งานติดตั้งประตู และหน้าต่าง | 4 มีนาคม 2564 |
| 15.งานติดตั้งระบบไฟฟ้า | 5 มีนาคม 2564 |
| 16.งานเก็บรายละเอียดสีเคลือบไม้ | 6 มีนาคม 2564 |
| รวมระยะเวลาก่อสร้าง | 16 วันปฏิบัติงาน |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**4.3.2 ปริมาณวัสดุในการก่อสร้างอาคารหน่วยพักอาศัย**

จากการเปรียบเทียบปริมาณวัสดุในการก่อสร้างอาคารหน่วยพักอาศัยโดยวิธีการก่อสร้างตามลักษณะนิยม (Conventional) และวิธีการก่อสร้างเชิงประยุกต์ไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา 2x4 นิ้ว จากองค์ประกอบของอาคารทั้งหมด 9 องค์ประกอบ พบว่าการออกแบบด้วยวิธีการก่อสร้างเชิงประยุกต์ สามารถลดปริมาตรไม้ จาก 72.44 ลบ.ฟุต หรือเพียง 46.40 ลบ.ฟุต คิดเป็นไม้ยางพารา 39.50 ลบ.ฟุต และไม้ไผ่ 6.895 ลบ.ฟุต ตามตารางที่ 10 แสดงการเปรียบเทียบปริมาตรไม้ที่ใช้ในการก่อสร้าง

ตารางที่ 10 แสดงการเปรียบเทียบปริมาตรไม้ที่ใช้ในการก่อสร้าง

| หมวดงาน | วิธีการก่อสร้าง ตามลักษณะนิยม (Conventional) | | วิธีการก่อสร้างเชิงประยุกต์ ไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา 2x4 นิ้ว | |
|---|---|---|---|---|
| องค์ประกอบ | | | | |
| | จำนวนไม้ (ท่อน) | ปริมาตรไม้ (ลบ.ฟุต) | จำนวนไม้ (ท่อน) | ปริมาตรไม้ (ลบ.ฟุต) |
| 1.ฐานรากคอนกรีต | - | - | - | - |
| 2.ตงพื้น | 51 (2x6 นิ้ว) | 33.48864 | 51 (2x4 นิ้ว) | 22.32576 |
| 3.เสา | 4 | 1.75104 | - | - |
| 4.โครงเคร่าผนัง | 50 | 21.888 | 39 | 17.07264 |
| 5.จันทันพราง | 6 | 2.62656 | - | - |
| 6.ขื่อ | 6 | 2.62656 | - | - |
| 7.ตั้งเอก | 3 | 1.31328 | - | - |
| 8.จันทัน | 6 | 2.62656 | 18 | |
| 9.อกไก่ | 2 | 0.87552 | 2 | 0.87552 |
| 10.แป | 12 | 5.25312 | 16 | 7.00416 |
| **รวมปริมาตรไม้ไผ่** | - | - | - | **6.89500** |
| **รวมปริมาตรไม้ยางพารา** | **140** | **72.44928** | **126** | **39.50000** |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จึงสรุปได้ว่าไม้ไผ่สามารถลดการใช้ไม้ยางพาราในการก่อสร้างอาคารหน่วยพักอาศัยได้ 6.895 ลบ.ฟุต และช่วยเพิ่มคุณสมบัติเชิงกลในการนำมาใช้โครงสร้างวัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา และวิธีการก่อสร้างเชิงประยุกต์สามารถลดปริมาตรไม้ที่ใช้ตามวิธีการก่อสร้างตามลักษณะนิยม สามารถลดส่วนประกอบของอาคารได้แก่ เสา จันทันพราง ขื่อ และตั้งเอก การลดส่วนประกอบของหลังคาในขณะที่ยังสามารถสนับสนุนการรับน้ำหนักวัสดุมุงหลังคาได้ และยังสามารถลดปริมาณไม้จากที่ใช้ไม้คิดเป็นปริมาตรไม้จาก 72.44 ลูกบาศก์ฟุต เหลือเพียง 46.40 ลูกบาศก์ฟุต และลดระยะเวลาในการก่อสร้างหน่วยพักอาศัยได้ 20% เมื่อเทียบกับรูปแบบการก่อสร้างตามลักษณะนิยม



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

# บทที่ 5
# สรุปผลการศึกษา

ผลการศึกษาในงานวิจัยนี้แบ่งเป็น 4 ส่วน ได้แก่ 1) พัฒนาการไม้ประกับกาว ที่มุ่งเน้นการศึกษางานวิจัยในระดับนานาชาติ และระดับชาติ เพื่อหาความสอดคล้องของวิธีการศึกษา และแนวโน้มการเลือกใช้ไม้ในการนำมาผลิตเป็นไม้ประกับกาว 2) คุณสมบัติเชิงกลของวัสดุผสมไม้ไผ่และไม้ยางพาราประกับกาว เป็นการศึกษาเพื่อหารูปแบบที่สามารถนำมาผลิตไม้ประกับกาวที่มีสอดคล้องกับระบบอุตสาหกรรมการผลิตไม้แปรรูปในประเทศไทย 3) คุณสมบัติเชิงกลทางสถาปัตยกรรมของวัสดุผสมไม้ประกับกาวและไม้ยางพารา เป็นการนำผลการออกแบบโครงสร้างวัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา ขนาด 2x4 นิ้ว มาวิเคราะห์ผ่านประบวนการไฟไนอิลิเมนต์ ว่าส่วนประกอบของอาคารที่มีการลดทอนลง สามารถนำมาใช้ออกแบบเป็นโครงสร้างได้หรือไม่ 4) แนวทางการก่อสร้างวัสดุผสมไม้ประกับกาวและไม้ยางพาราสำหรับหน่วยพักอาศัย เป็นการทดลองนำผลจากกาศึกษาทั้งหมด มาทดลองสร้างจริง เพื่อหาเทคนิคการก่อสร้าง และการติดตั้งวัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพาราใช้งานในสภาพแวดล้อมจริง

## 5.1 อภิปรายผล

### 5.1.1 สรุปพัฒนาการไม้ประกับกาว

จากการทบทวนวรรณกรรมงานวิจัยไม้ประกับกาว ทั้งในระดับนานาชาติ และระดับชาติ และได้ทำการวิเคราะห์แนวโน้มงานวิจัยของไม้ประกับกาว และไม้อัดประสาน รวมถึงการเปรียบเทียบความสอดคล้องในงานวิจัยในระดับนานาชาติ และระดับชาติ พบประเด็นที่นำเสนอ ดังนี้

1) พัฒนาการไม้ประกับกาวในประเทศไทย มีวิธีการศึกษาสอดคล้องกับพัฒนาการไม้ประกับกาวในระดับนานาชาติ ในส่วนของวิธีการวิจัยที่มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องในประเทศไทย คือ วิธีการประกับไม้ในทางเดียวกัน (glued laminated timber) ที่ยังคงมีงานวิจัยต่อเนื่องมาจนถึง ค.ศ.2018 ช่วงเวลาที่มีการพัฒนาไม้ประกับกาว และไม้อัดประสานมากที่สุด คือช่วงปี ค.ศ.2000-2010 จากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญด้านไม้ประกับกาว พบว่าในช่วงที่มีการพัฒนาไม้ประกับกาวมากสอดคล้องกับกำลังการผลิตวัสดุก่อสร้าง เช่น เหล็ก คอนกรีต ที่มีราคาสูงขึ้นจากราคาน้ำมัน และข้อกำหนดด้านสิ่งแวดล้อม ทั้งด้านสนธิสัญญา กฎหมาย มาตรฐานอาคาร รวมถึงมาตรฐานของวัสดุที่ใช้ก่อสร้างที่เข้ามามีบทบาทกับงานสถาปัตยกรรม

2) วิธีการผลิตไม้ประกับกาว (glued laminated timber) ในการนำมาใช้เป็นโครงสร้างครั้งรก ถูกเรียกว่า “small laminated beam” จนกระทั้งปี ค.ศ.1974 จากการวางเรียงไม้ใน

ทิศทางเดียวกัน เปลี่ยนเป็นรูปแบบไม้อัดประสาน (cross laminated timber) การเรียงไม้สลับทางมากกว่า 3 ชั้น โดยใช้ชื่อเรียกว่า “multi-layer composite” ในช่วงเริ่มต้นของการพัฒนา จนถึงปี ค.ศ.1997 เริ่มมีการใช้ไม้ไผ่เข้ามาในการผลิต เรียกชื่อผลิตภัณฑ์ว่า “Glu-bam”

3) ลักษณะไม้ที่ใช้ในการผลิตไม้ประกับกาว ในช่วงปี ค.ศ.2000 – 2010 เป็นไม้ที่มีระยะเวลาในการปลูกไม่เกิน 15 ปี เช่น ไม้ยางพารา ไม้สน เป็นต้น ในช่วงต่อมาใน ค.ศ.2010 - 2015 มีแนวคิดในการผสมผสานไม้เนื้อแข็ง ไม้เนื้อกลาง ที่ใช้เวลาปลูกมากกว่า 15 ปี เช่น ไม้สัก ไม้เต็ง และไม้เนื้ออ่อน เช่น ไม้ยางพารา ที่ใช้เวลาปลูกน้อยกว่า 15 ปี ภายหลังปี ค.ศ.2016 เริ่มมีการใช้เวลาในการปลูกไม่เกิน 5 ปี อย่างไม้ไผ่ เข้ามาใช้เป็นส่วนประกอบของไม้ประกับกาว แสดงให้เห็นว่าความต้องการทรัพยากรไม้ยังคงมีอย่างต่อเนื่อง สวนทางกับการเติบโตของทรัพยากรไม้

4) มาตรฐานชี้วัดโครงสร้างไม้ประกับกาวในช่วงปี ค.ศ.1974-1993 นิยมนำมาตรฐานของโครงสร้างไม้ทั่วไปมาใช้ในการชี้วัด ยังไม่มีมาตรฐานสำหรับไม้ประกับกาวโดยเฉพาะ จนถึงช่วง ค.ศ.1995 มาตรฐาน EN จึงครอบคลุมเรื่องที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างไม้ประกับกาว ตามมาด้วยในปี ค.ศ.2000 มาตรฐาน ASTM ก็ได้ระบุถึงมาตรฐานการผลิต และการทดสอบคุณสมบัติไม้ประกับกาว จนถึงปี ค.ศ.2012 จึงมีมาตรฐานโครงสร้างไม้ประกับกาวเกิดขึ้นตามมาอย่างเช่น มาตรฐาน AITC 2013, ANSI, JAS เป็นต้น

ตารางที่ 11 อธิบายประเด็นการวิเคราะห์พัฒนาการไม้ประกับกาว

| ช่วงเวลา | ประเด็นการวิเคราะห์พัฒนาการไม้ประกับกาว | | | |
|---|---|---|---|---|
| | วิธีศึกษา | วิธีการผลิต | ลักษณะไม้ที่ใช้ผลิต | มาตรฐานชี้วัด |
| 1901<br>จุดเริ่มต้น | 1) ผลิตกาว เริ่มทดลองผลิตต้นแบบ | 1) เรียงไม้ในทิศทางเดียวกัน<br>2) ใช้กาวฟอร์มัลดีไฮด์ | ไม้เนื้อแข็ง | - |
| **1974-1990 ประเทศไทยเริ่มใช้ไม้ยางพาราในการผลิตไม้ประกับกาว** | 1) ทดลองในอาคารขนาดเล็ก ไม่เกิน 2 ชั้น<br>2) ทดลองเป็นโครงสร้างหลังคา Wide Span | 1) เรียงไม้สลับทิศทาง วางชั้นไม้มากกว่า 3 ชั้น | ไม้เนื้อแข็ง ไม้เนื้อกลาง (ไม้เต็ง, ไม้มะค่า, ไม้สัก, ไม้ยางพารา) | AITC 1952<br>(ยังไม่ครอบคลุมด้านไม้ประกับกาว) |
| 1993 – 1996<br>เริ่มมีการใช้ไม้ทดแทน | 1) ความเป็นไปได้ในการใช้ไม้เนื้ออ่อน<br>2) ทดลองในอาคารขนาดสูงกว่า 2 ชั้น | 1) คานใช้วิธีผลิตแบบไม้ประกับกาว<br>2) ผนัง ใช้วิธีผลิตแบบไม้อัดประสาน | ไม้ทดแทนไม้เนื้อแข็ง (ไม้เรด เมเปิ้ล, ไม้ทิวลิป, ไม้ยางพารา, ไม้สน) | ASTM<br>(ยังไม่ครอบคลุมด้านไม้ประกับกาว)<br>EN 386:1995 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

| ช่วงเวลา | ประเด็นการวิเคราะห์พัฒนาการไม้ประกับกาว | | | |
|---|---|---|---|---|
| | วิธีศึกษา | วิธีการผลิต | ลักษณะไม้ที่ใช้ผลิต | มาตรฐานชี้วัด |
| **1997 – 2011 เริ่มมีการใช้ไม้ไผ่ในการผลิตไม้ประกับกาว** | 1) ใช้คาร์บอนไฟเบอร์เสริมไม้ประกับกาว<br>2) คุณสมบัติการกันไฟ<br>3) การลดปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ในกาว | 1) เริ่มมีการใช้ไม้ไผ่ในการผลิต Glu-bamboo<br>2) ผลิตตามขนาดมาตรฐานไม้แปรรูป | ไม้ที่ใช้ระยะเวลาปลูกไม่เกิน 15 ปี (ไม้ยางพารา, ไม้สน, ไม้สะเดา, ไม้ไผ่) | ASTM (ครอบคลุมด้านไม้ประกับกาว)<br>EN 14080:2013 |
| 2012 – 2015 การเพิ่มคุณสมบัติความยืดหยุ่น | 1) ใช้โพลิเมอร์เข้ามาเป็นส่วนประกอบของกาว และชั้นของไม้ประกับกาว | 1) ผลิตเป็นคานรับน้ำหนัก | ไม้เนื้อแข็งและไม้เนื้ออ่อน ใช้ระยะเวลาปลูก 15 - 30 ปี | ANSI (A190.1)<br>AITC 2013 (ครอบคลุมด้านไม้ประกับกาว)<br>JAS |
| 2016 – 2018 | 1) ศึกษาคุณสมบัติความยืดหยุ่น (Stiffness) ของไม้ประกับกาว<br>2) การกักเก็บคาร์บอนในวัสดุไม้ประกับกาว | 1) ใช้เป็นโครงสร้าง ผนัง พื้น ในรูปแบบโครงสร้างถอดประกอบ แบบผนังรับน้ำหนัก | **ไม้ที่ใช้ระยะเวลาปลูกไม่เกิน 5 ปี (ไม้ไผ่, เศษไม้อัดที่ใช้การเสริมเส้นใยด้วยโพลิเมอร์) และไม้จากสวนป่าอุตสาหกรรม** | ANSI (A190.1)<br>AITC<br>EN 14080:2013<br>JAS |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากการศึกษาพัฒนาการไม้ประกับกาวทั้งในระดับนานาชาติ และระดับชาติ เพื่อให้ได้ฐานข้อมูลที่นำมาใช้ในการตัดสินใจทดลองออกแบบวัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา ขนาด 2x4 นิ้ว โดยใช้จุดเด่นทางด้านอุตสาหกรรมไม้ยางพาราในประเทศไทย ที่มีฐานการผลิตเป็นรูปแบบไม้ประกับกาวอยู่เดิม และไม้ไผ่ซึ่งเป็นพืชโตไว และมีการนำมาใช้เป็นงานวิจัยเพื่อเพิ่มคุณสมบัติเชิงกลในด้านความมีดหยุ่น (Stiffness) ให้กับไม้ประกับกาว ในช่วงภายหลังปี ค.ศ. 1997 มากขึ้น เพื่อที่จะนำมาพัฒนาคุณสมบัติเชิงกลของรูปแบบวัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพาราที่สามารถใช้เป็นโครงสร้างทางสถาปัตยกรรมได้

**5.1.2 คุณสมบัติเชิงกลของวัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา**

การทดสอบคุณสมบัติเชิงกลได้เลือกกรรมวิธีการออกแบบไม้ประกับกาว (Glued laminated timber) ในการเรียงแบบทิศทางเดียวกัน เพื่อให้สอดคล้องในการเปรียบเทียบกับกรรมวิธีผลิตไม้ยางพาราประกับกาว (ชนิดที่ไม่มีส่วนประกอบของไม้ไผ่) ปัจจัยสำคัญของการทดลองนี้ คือการหารูปแบบหน้าตัดวัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา ที่มีคุณสมบัติเชิงกลที่สามารถใช้เป็นโครงสร้างงานสถาปัตยกรรม เพื่อดึงศักยภาพของไม้ไผ่ หากไม่มีการใช้ไม้ไผ่ความสามารถในการรับแรงกด จะทำให้คานเสียหายทันที การผลิตขนาดจำเป็นต้องมีความสอดคล้องกับวิธีการผลิตไม้ยางพาราอัดประสานในระบบอุตสาหกรรมไม้ของประเทศไทย

1) การทดลองหน้าตัดวัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา

การออกแบบเพื่อทดลองหน้าตัดวัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา เพื่อที่จะให้ได้คุณสมบัติเชิงกลที่ดี ต้องออกแบบให้บริเวณกึ่งกลางของแนวแกนสะเทินที่มีค่าความเค้นสูงสุด (Max Stress on Neutral Axis) ไม่มีรอยต่อของชั้นกาว เนื่องจากการทำให้เกิดการแตกหักแบบ simple tension บริเวณด้านใต้ของชั้นไม้ประกับกาว การออกแบบหน้าตัดได้แบ่งการทดสอบไม้เป็น 4 หน้าตัด ได้แก่

(1) แบบไม้ยางพาราประกับกาว เป็นไม้ยางพาราประกับกาว ในรูปแบบไม้แปรรูปที่มีลักษณะการนำไม้ยางพารามาประกับกัน มีรอยต่อบริเวณกึ่งกลางของแนวแกนสะเทินที่มีค่าความเค้นสูงสุด (Max Stress on Neutral Axis)

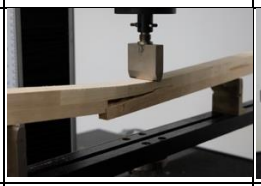
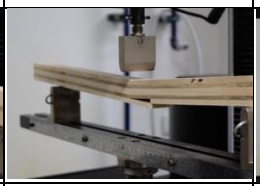
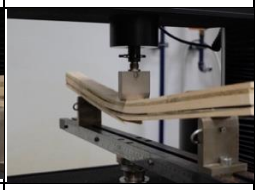
(2) แบบซิงเกิ้ล เลเยอร์ (Single layer) มีลักษณะเป็นชั้นไม้ไผ่ 1 ชั้น หนา 5 มิลลิเมตร บริเวณกึ่งกลาง ระหว่างชั้นไม้ยางพาราชั้นบน และชั้นล่าง มีรอยต่อบริเวณกึ่งกลางของแนวแกนสะเทินที่มีค่าความเค้นสูงสุด (Max Stress on Neutral Axis)

(3) แบบดับเบิ้ล เลเยอร์ (Double layer) มีลักษณะเป็นชั้นไม้ไผ่ 2 ชั้น หนาชั้นละ 5 มิลลิเมตร ระหว่างไม้ยางพาราชั้นบน ชั้นกลาง และชั้นล่าง ไม่มีรอยต่อบริเวณกึ่งกลางของแนวแกนสะเทินที่มีค่าความเค้นสูงสุด (Max Stress on Neutral Axis) เนื่องจากเป็นไม้ยางพาราเต็มท่อน

(4) แบบเอช เลเยอร์ (H Layer) มีลักษณะเป็นไม้ไผ่ 2 ชั้น หนาชั้นละ 5 มิลลิเมตร ในทางขวาง (Horizontal) และไม้ไผ่อีก 1 ชั้น ในทางตั้ง (Vertical) หนา 5 มิลลิเมตร ประกับด้วยไม้ยางพาราในชั้นบน ชั้นกลาง และชั้นล่าง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 12 เปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงกลไม้ยางพาราประกับกาว และวัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา

| | ไม้ยางพาราประกับกาว (1) | ไม้ไผ่และไม้ยางพาราประกับกาว แบบ “Single layer” (2) | ไม้ไผ่และไม้ยางพาราประกับกาว แบบ “Double layer” (3) | ไม้ไผ่และไม้ยางพาราประกับกาว แบบ “H layer” (4) |
|---|---|---|---|---|
| |  | |  |  |
| พฤติกรรมการรับแรงของไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา | 1) ไม้ไม่มีความสามารถที่จะรับน้ำหนักประลัยเพิ่มได้อีกเมื่อเสียรูป และแตกหักแบบบริเวณรอยแตกที่แรงดึง (Simple Tension) | 1) ไม้ที่เกิดการแตกหักสามารถรับน้ำหนักประลัยต่อได้ 1 เท่าตัวของระยะเวลาการทดสอบ ที่ช่วง 250 – 500 kg/cm$^2$ | 1) พบว่าเกิดบริเวณรอยต่อไม้ (Finger Joint) 2) สามารถรับน้ำหนักประลัยต่อไป 1 ใน 2 ของระยะเวลาการทดสอบ ที่ช่วง 450 – 480 kg/cm$^2$ | 1) พบว่าเกิดบริเวณรอยต่อไม้ (Finger Joint) 2) น้ำหนักประลัยต่อได้ 1 ใน 4 ของระยะเวลาการทดสอบ ที่ช่วง 450 – 600 kg/cm$^2$ |

ที่มา: จากการพล็อตกราฟผ่านโปรแกรม INSTRON Series IX เพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมจากการเพิ่มความเร็วในการกดอยู่ที่ 10 มม./นาที

ข้อค้นพบจากการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล พบว่ารูปแบบที่มีคุณสมบัติเชิงกลดีที่สุด คือ รูปแบบ “H Layer” แต่ข้อเสียของรูปแบบ “H Layer” คือต้องใช้ขั้นตอนการผลิตที่มีขั้นตอนมากกว่ารูปแบบ “Double layer” รวมถึงต้องใช้ปริมาณกาวที่มากกว่า จึงสรุปได้ว่า “Double layer” มีคุณสมบัติเชิงกลที่สามารถใช้เป็นโครงสร้างทางสถาปัตยกรรม และมีขั้นตอนการผลิตที่ง่ายที่สุด รวมถึงมีการออกแบบรอยต่อของชั้นไม้ที่ไม่อยู่ในช่วงกึ่งกลางของแนวแกนสะเทินที่มีค่าความเค้นสูงสุด (Max Stress on Neutral Axis)

### 5.1.3 คุณสมบัติเชิงกลทางสถาปัตยกรรมของวัสดุผสมไม้ประกับกาวและไม้ยางพารา

จากการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา จึงได้ทดลองออกแบบอาคารหน่วยพักอาศัยต้นแบบ ความสูง 1 ชั้น ขนาดพื้นที่ 23.04 ตารางเมตร หน้ากว้างอาคาร 4.80 เมตร ลึก 4.80 เมตร โดยใช้เปรียบเทียบกับการก่อสร้างอาคารแบบตามลักษณะนิยม นำมาเปรียบเทียบกับการออกแบบเชิงประยุกต์ ที่ใช้วัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพาราบนสมมติฐานจากผลการทดลอง คุณสมบัติเชิงกลของวัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา ที่

สามารถลดปริมาณการใช้ไม้ จาก 140 ท่อน เหลือเพียง 126 ท่อน หรือคิดปริมาตรไม้เป็น 65.23 ลบ.ฟุต เหลือเพียง 57.35 ลบ.ฟุต คุณสมบัติเชิงกลทางสถาปัตยกรรมของวัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพาราทางสถาปัตยกรรม แบ่งออกเป็น 2 การวิเคราะห์ไฟไนอิลิเมนต์ ได้แก่ 1) คุณสมบัติเชิงกลทางสถาปัตยกรรมในส่วนตงพื้น 2) คุณสมบัติเชิงกลทางสถาปัตยกรรมในส่วนการออกแบบหน่วยพักอาศัย

ภาพที่ 77 แสดงการเปรียบเทียบการออกแบบอาคารแบบตามลักษณะนิยม และการออกแบบเชิงประยุกต์

1) คุณสมบัติเชิงกลทางสถาปัตยกรรมในส่วนตงพื้น การใช้ระยะเสาของวัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพาราในการออกแบบเชิงประยุกต์ สามารถใช้ระยะเสาห่างกันมากสุดได้ในระยะ 3.00 เมตร ที่ระยะยุบตัวของคาน 2.1639 มิลลิเมตร สามารถใช้ตงพื้นยาวได้สูงสุด 3.70 เมตร รวมระยะคานยื่น อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D143 ที่ระยะยุบตัวของตัวอย่างยุบตัวไม่เกิน 2.50

มิลลิเมตร เนื่องจากหากเพิ่มระยะเสาที่ 3.20 เมตร ส่งผลให้ระยะยุบตัวเพิ่มไปที่ 2.7647 มิลลิเมตร ถือเป็นการเพิ่มระยะยุบตัวของคานเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และในระยะเสา 3.20 เมตร ไม่เหมาะกับการนำมาใช้ออกแบบเชิงสถาปัตยกรรม

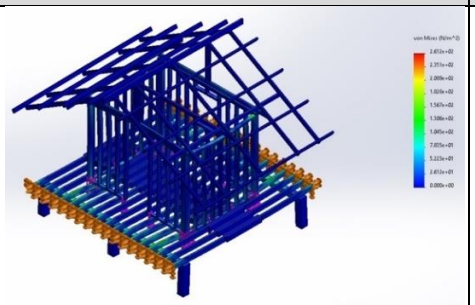
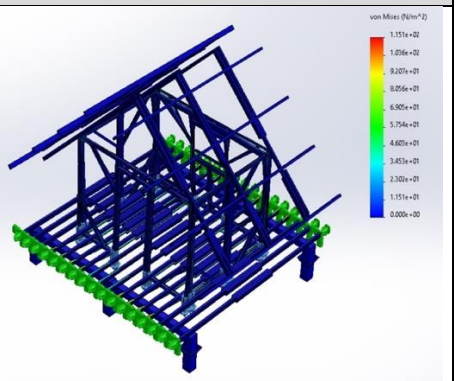
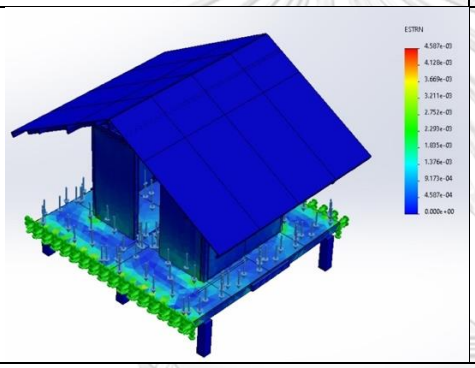
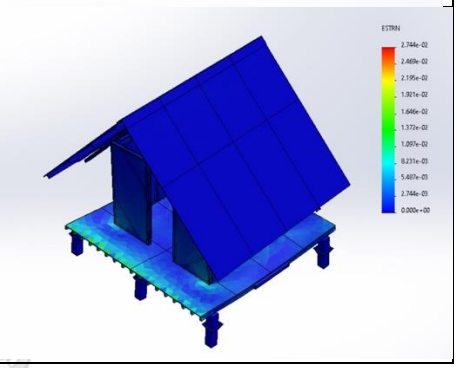
ตารางที่ 13 ข้อแนะนำการใช้ระยะเสาของวัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา ขนาด 2 x 4 นิ้ว

| ระยะเสา (มม.) | ระยะคานยื่น (มม.) | ระยะการยุบตัวของคาน (มม.) | ระยะโก่งตัวสูงสุด ($\delta_{max}$) (มม.) | ความยาวตงพื้นสูงสุด (เมตร) |
|---|---|---|---|---|
| 2600 | 900 | 1.1855 | 2.1000 | 3.50 |
| 2800 | 800 | 1.6402 | 2.4600 | 3.60 |
| **3000** | **700** | **2.1639** | **2.8600** | **3.70** |
| 3200 | 600 | 2.7647 | 3.3000 | 3.80 |

จากตารางที่ 13 แสดงข้อแนะนำการใช้ระยะเสาของวัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา ขนาด 2 x 4 นิ้ว ระยะเสาที่สามารถนำมาใช้ในการออกแบบเชิงประยุกต์ ในอาคารหน่วยพักอาศัย ขนาด 24 ตารางเมตร แบบ 1 ชั้น มากที่สุด คือระยะเสา 3000 มม. ระยะคานยื่น 700 มม. เพื่อให้ได้ความยาวตงพื้นสูงสุดที่ 3.70 เมตร จึงตัดสินใจนำระยะนี้เพื่อใช้กับวัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา ขนาด 2x4 นิ้ว

2) คุณสมบัติเชิงกลทางสถาปัตยกรรมในส่วนการออกแบบหน่วยพักอาศัย การจำลองแบบและวิเคราะห์ไฟไนอิลิเมนต์ ในรูปแบบการนำไปใช้เป็นองค์ประกอบของอาคารหน่วยพักอาศัย เพื่อหาการกระจายแรงของทั้งอาคาร จากการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ด้านการวิเคราะห์แรงกระทำต่อโครงสร้าง (Static Stress) พบว่าหน่วยพักอาศัยแบบดั่งเดิมมีการยุบตัวในส่วนกลางของผนังมากกว่าหน่วยพักอาศัยวัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา 1.123e +1 mm ในการวิเคราะห์การกระจายตัวของค่าความเครียด (Equivalent Strain) พบว่าหน่วยพักอาศัยแบบดั่งเดิมมีการกระจายของแรงได้ในระดับ 0.50-0.80 “Good” และ หน่วยพักอาศัยวัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา มีการกระจายแรงได้ในระดับ 0-0.25 “Excellent” ยกเว้นส่วนของคานยื่น มีการกระจายแรงในระดับ 0.25-0.50 “Very good”

ตารางที่ 14 เปรียบเทียบการวิเคราะห์แรงกระทำต่อโครงสร้าง

| ประเด็นการวิเคราะห์ | หน่วยพักอาศัยตามลักษณะนิยม (Conventional) | หน่วยพักอาศัยเชิงประยุกต์ วัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา (Glued bamboo laminated with Para-timber) |
|---|---|---|
| 1.การวิเคราะห์แรงกระทำต่อโครงสร้าง |  |  |
| 2.การกระจายตัวของค่าความเครียด (Equivalent Strain) |  |  |

3) สรุปแนวทางมาตรฐานเบื้องต้น ใช้วิธีการนำผลของคุณสมบัติเชิงกลของไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา ขนาด 2x4 นิ้ว นำมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานไม้ประกับกาว เพื่อวิเคราะห์ในประเด็นคุณสมบัติทั่วไป เกรดของวัสดุ และมาตรฐานการใช้กาวประกับ จากการเปรียบเทียบกับมาตรฐานไม้ประกับกาวที่ใช้เป็นมาตรฐาน ทั้งในมาตรฐาน JAS No.1152 และ ASTM D 245 – 06 พบว่าในประเด็นคุณสมบัติทั่วไป ไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา ขนาด 2x4 นิ้ว มีคุณสมบัติค่าเฉลี่ย (Average Value) อยู่ในระดับ 9.3 $N/mm^2$ ซึ่งน้อยกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ที่ 9.5 $N/mm^2$ และในส่วนคุณสมบัติค่าเฉลี่ยขั้นต่ำ (Min. Value) มีค่าเฉลี่ยที่ 8.3 $N/mm^2$ ซึ่งมากกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ที่ 8.0 $N/mm^2$ ในส่วนของปริมาณการใช้สารประกอบฟลอมัลดีไฮน์ในกาว (Formaldehyde emission amount) พบว่ามีไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา ขนาด 2x4 นิ้ว อยู่ในระดับ 1.5 มิลลิกรัม/ลิตร ได้คะแนนระดับ “F**” การแบ่งเกรดวัสดุ เป็นวัสดุที่ใช้น็อตยึดปลายที่ไม่เห็นในผิวนอกของวัสดุ ไม่เกิน 30 มิลลิเมตร ทำให้อยู่ในไม้ประเภทเกรด 2 ตามมาตรฐาน JAS No.1152

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 15 สรุปแนวทางมาตรฐานเบื้องต้น

| ประเด็นมาตรฐาน JAS No.1152 | **เกรด 1** | **เกรด 2** |
|---|---|---|
| ค่าความชื้นของไม้ 15% หรือน้อยกว่า | 12% (ตามมาตรฐานอุตสาหกรรมไม้ของประเทศไทย) | |
| สารประกอบฟลอมัลดีไฮน์ในกาว (Formaldehyde emission amount) | 1.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ระดับคะแนน (F **) | |
| การใช้น็อตยึดบนผิวภายนอก | **น้อยกว่า 10 มิลลิเมตร** | น้อยกว่า 30 มิลลิเมตร |
| การใช้น็อตยึดภายในวัสดุที่ไม่เห็นจากผิวนอก | ไม่กำหนด | **น้อยกว่า 30 มิลลิเมตร** |
| การตัดเพื่อลดตำหนิของชิ้นวัสดุ | ตัดตำหนิไม้เกือบทั้งหมด | **2 มิลลิเมตร หรือไม่น้อยกว่า 3 มิลลิเมตร และความกว้างน้อยกว่า 50 มิลลิเมตร** |
| | | |
| **Programs output** | | |
| **โมดูลัสแตกหัก (Modulus of Rapture)** | 56.48 MPa | |
| **แรงอัดขนานเสี้ยน (Compression Parallel Perpendicular to grain)** | **Compress Failures** มีการแตกหักรูปแบบ Simple Tension | |
| **โมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elastic)** | 7,369 $N/m^2$ | |
| | | |
| ประเด็นมาตรฐาน ASTM 245- 06 | ค่าเฉลี่ย (Average Value) 9.5 $N/mm^2$ | ค่าเฉลี่ยขั้นต่ำ (Min. Value) 8.0 $N/mm^2$ |
| ไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา ขนาด 2x4 นิ้ว | 9.3 $N/mm^2$ | **8.3 $N/mm^2$** |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**5.1.4 แนวทางการก่อสร้างวัสดุผสมไม้ประกับกาวและไม้ยางพาราสำหรับหน่วยพักอาศัย**

แม้ว่าการวิทยานิพนธ์เล่มนี้ จะใช้วิธีการออกแบบเชิงประยุกต์ที่ยังไม่ได้คำนึงถึงประเด็นการผลิตในภาคอุตสาหกรรมไม้ของประเทศไทย ในแต่ละส่วนประกอบของอาคาร แต่ก็ได้นำคุณสมบัติเชิงสถาปัตยกรรมของวัสดุผสมไม้ประกับกาวและไม้ยางพารามาใช้ทดลองในการก่อสร้างจริง การก่อสร้างหน่วยพักอาศัยที่ใช้วัสดุผสมไม้ประกับกาวและไม้ยางพารา แบ่งออกเป็น 4 ขั้น ตอน ได้แก่ 1) ขั้นผลิตวัสดุผสมไม้ประกับกาวและไม้ยางพารา 2) ขั้นตอนจัดเตรียมฐานราก 3) ขั้นตอนประกอบส่วนประกอบวัสดุผสมไม้ประกับกาวและไม้ยางพารา 4) ขั้นตอนติดตั้งวัสดุปิดอาคารหน่วยพักอาศัย

1) ขั้นตอนการก่อสร้างฐานรากและงานดิน ทำการตีกรอบของพื้นที่ทั้งหมดของอาคารหน่วยพักอาศัย ขนาด 23.04 ตารางเมตร โดยวัดขนาดความกว้าง 4.80 เมตร และความลึก 4.80 เมตร นำเอ็นมาจับระดับระยะของแนวเสา และคาน ให้ได้ระยะกึ่งกลางของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กทุกต้น ขุดหลุมเพื่อทำฐานรากแผ่ ลึก 60 เซนติเมตร กว้าง 80 x 80 เซนติเมตร ใส่เหล็กตะแกรงก่อนเทปูนชนิดโครงสร้าง วางเสาสำเร็จ ขนาดหน้าตัด 6 นิ้ว ผูกเหล็กสำหรับหล่อคาน ขนาดความสูง 15 เซนติเมตร หนา 10 เซนติเมตร ใส่เหล็กปลอกห่างทุก 20 เซนติเมตร

ภาพที่ 78 แสดงขั้นตอนการจับระดับระยะของแนวเสา และคาน

ภาพที่ 79 แสดงเสาสำเร็จขนาดหน้าตัด 6 นิ้ว

ภาพที่ 80 แสดงขั้นตอนการผูกเหล็กหล่อคาน

(1) ขั้นตอนการประกอบส่วนประกอบของโครงสร้างอาคารหน่วยพักอาศัย ประกอบตงพื้นด้วยการประกอบไม้ทางยาว 2 ท่อน ความยาวรวม 4.80 เมตร ประกับด้วยไม้ความยาว 1.20 เมตร ทั้งสองฝั่งบริเวณกึ่งกลางของตงพื้น ยึดด้วยแคมป์ ติดตั้งสกรูโบลท์ ขนาดยาว 6 นิ้ว วางตงพื้นเรียงกันทั้งหมด 17 ชุด เว้นระยะ 30 เซนติเมตร ยึดด้วยเหล็กฉากบริเวณคาน แผ่นพื้น ใช้พื้นสมาร์ทบอร์ด ขนาด 1.20 x 2.40 เมตร หนา 20 มิลลิเมตร น้ำหนัก 43.5 กก. ต่อแผ่น ยึดด้วยตะปูสำหรับงานคอนกรีต ขนาด 1.5 นิ้ว ทุก 30 เซนติเมตร

ภาพที่ 81 แสดงขั้นตอนการประกอบตงพื้น

ภาพที่ 82 แสดงการวางตงพื้นบนคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

ภาพที่ 83 แสดงการยึดตงพื้นด้วยเหล็กฉากกับคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

ภาพที่ 84 แสดงการติดตั้งแผ่นพื้นความหนา 20 มิลลิเมตร

2) ขั้นตอนการขึ้นโครงเคร่าผนัง (wall framing) ประกอบโครงเคร่าผนังทีละฝั่ง จนครบทั้ง 4 ฝั่งตามแบบก่อสร้าง นำโครงเคร่าผนังมาวางบนพื้นอาคารทีละฝั่ง ในส่วนผนังด้านหน้าที่ความยาวของไม้ เกินระยะ 2.40 เมตร ใช้วิธีเข้าไม้แบบ 45 องศา เพื่อต่อความยาวของโครงเคร่าผนังด้านหน้า และโครงเคร่าผนังด้านหลัง ติดตั้งสกรูโบลท์ ขนาดยาว 6 นิ้ว ติดตั้งไม้ค้ำยันขนาดความยาว 1.20 เมตร ตัดเข้ามุม 45 องศา แผ่นผนัง ใช้พื้นบอร์ด ขนาด 1.20 x 2.40 เมตร หนา 6 มิลลิเมตร น้ำหนัก 26.1 กก. ต่อแผ่น ยึดด้วยตะปูตอกคอนกรีต ขนาด 1.5 นิ้ว ระยะยึดตะปูไม่เกิน 20 เซนติเมตร ยิงซิลิโคนบริเวณรอยต่อระหว่างพื้น และผนัง

ภาพที่ 85 แสดงโครงเคร่าผนังทั้ง 4 ฝั่ง

ภาพที่ 86 แสดงแผ่นเรียบสำหรับติดตั้งกับโครงเคร่าผนัง

3) ขั้นตอนการขึ้นโครงสร้างหลังคา ประกอบจันทันโดยใช้วัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา 3 ท่อน ความยาว 2.40 เมตร ประกอบเป็นลักษณะ “Y unit” ติดตั้งสกรูโบลท์ ขนาดยาว 6 นิ้ว บากจันทันหลังคาเพื่อวางบนโครงสร้างผนัง ติดตั้งบนโครงสร้างหลังคา ติดตั้งสกรูโบลท์กับโครงสร้างหลังคา รองจันทันด้วยตั้งเอกทั้งฝั่งด้านหน้า และหลังอาคาร เพื่อให้ไม่เกิดการแกว่งของผนัง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพที่ 87 แสดงการบากจันทันหลังคาเพื่อวางบนโครงสร้างผนัง

ภาพที่ 88 แสดงการวางจันทันหลังคา

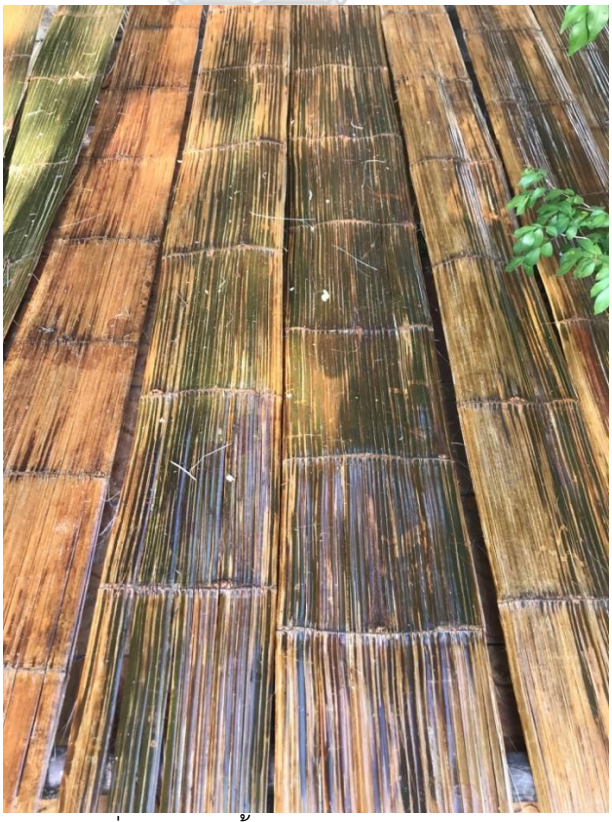
ติดตั้งตัวยึดจันทันให้ติดกับโครงเคร่าผนัง โดยการตัดเศษไม้เป็นสามเหลี่ยม ยึดด้วยน๊อต ความยาว 55 มิลลิเมตร วางแปหลังคาโดยใช้ไม้ทางตั้ง ทุกระยะ 1.20 เมตร กรุโครงสร้างหลังคาด้วยแผ่นไม้อัดเรียงชิ้น (OSB) หนา 10 มิลลิเมตร ปูแผ่นพลาสติกกันน้ำ หนา 2 มิลลิเมตร ทากาวซิลิโคนใต้แผ่นพลาสติกกันน้ำ ยึดด้วยตะปูหมุดขนาดเล็ก

ภาพที่ 89 แสดงการยึดจันทัน

ภาพที่ 90 แสดงการวางจันทันบนโครงสร้างผนัง

ภาพที่ 91 แสดงการติดตั้งแผ่นไม้เรียงชิ้น และพลาสติกกันน้ำ

ภาพที่ 92 แสดงโครงสร้างภายในผนัง และโครงสร้างหลังคา



ภาพที่ 93 แสดงขั้นตอนการเตรียมฟากหลังคา

ภาพที่ 94 แสดงขั้นตอนการติดตั้งฟากหลังคาไม้ไผ่

การติดตั้งฟากไม้ไผ่ เริ่มจากขั้นตอนการทาเคลือบฟากด้วยสีย้อมไม้ เลือกสีที่มีความใกล้เคียงกับไม้ไผ่ที่แห้ง ตากแห้งไว้ประมาณ 1 วัน ตัดปลายของฟากไม้ไผ่ที่มีการแตกให้เรียบร้อย คัดเลือกฟากไม้ไผ่ที่มีความกว้างของแผ่นใกล้เคียงกัน สำหรับเรียงไว้ในแถวบน และแถวล่าง โดยทั่วไปฟากไม้ไผ่จะมีความกว้างประมาณ 25-30 เซนมิเมตร ขึ้นอยู่กับลำไผ่ที่ได้จากธรรมชาติ ยึดฟากไม้ไผ่กับแผ่นไม้อัดเรียงชิ้น (OSB) ด้วยเครื่องยิงหัวตะปู ต่อเข้ากับปั๊มลม

ภาพที่ 95 แสดงอาคารหลังจากติดตั้งฟากไม้ไผ่

**5.1.5 สรุปแนวทางการออกแบบโครงสร้างวัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา**

1) จากการศึกษาพัฒนาการไม้ประกับกาวทั้งในระดับนานาชาติ และระดับชาติ สามารถอนุมานได้ว่ารูปแบบ โครงสร้างวัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา เหมาะสมกับการออกแบบไม้ประกับกาวในรูปแบบการเรียงในทิศทางเดียวกัน (Glued laminated timber) เนื่องจากการวางในรูปแบบขวางชั้นแบบไม้อัดประสาน (Cross laminated timber) สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของคุณสมบัติเชิงกลกับการออกแบบในรูปแบบแผ่นบอร์ด มากกว่าการออกแบบโครงเคร่า วัสดุที่มีความเหมาะสมจะนำมาเป็นวัสดุทางเลือกสำหรับประเทศไทย คือไผ่ เนื่องจากสามารถทดแทนการใช้ไม้ในระบบป่าอุตสาหกรรม ให้เกิดความพอเพียงต่อการใช้ทรัพยากร

2) คุณสมบัติเชิงกลของวัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา ในส่วนของค่าความยืดหยุ่นในวัสดุ (Stiffness) ส่งผลให้สามารถรับแรงกดเป็นเวลานานได้ เมื่อโครงสร้างเกิดความเสียหาย สามารถซ่อมแซมในส่วนที่เสียหายได้ก่อนที่จะมีการแตกหักบริเวณส่วนชั้นล่างของโครงสร้าง ซึ่งในจุดนี้กระบวนการไฟไนอิลิเมนต์ จะช่วยเรื่องการทำนายพฤติกรรม จากการเพิ่มของน้ำหนักไม้ประกับกาวได้ (Gudiyono N. et al., 2020) จากการวิเคราะห์คุณสมบัติวิสโคอิลาสติก (Viscoelasticity) ในกรณีที่ไม่มีไม้ไผ่ จะทำให้โครงสร้างเสียหาย และไม่มีการคืนรูปของวัสดุ ส่งผลให้ไม่สามารถใช้เป็นโครงสร้างทางสถาปัตยกรรม

3) จากการออกแบบโครงสร้างวัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา พบว่าการใช้ไม้ประกับกาวขนาด 2x4 นิ้ว ที่มีส่วนของไม้ยางพารา จะช่วยให้ตะปูสามารถยึดเกาะกับวัสดุโครงสร้างได้ดียิ่งขึ้นเมื่อเทียบกับการทำไม้ไผ่ประกับกาวเพียงอย่างเดียว (Davis C., 2009) วิเคราะห์จุดอ่อนของไม้ไผ่ ที่เกิดความเสียหายจากการยึดแบบสลักเกลียว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**5.2 ข้อสังเกต และแนวทางการพัฒนางานวิจัย**

**5.2.1 ทิศทางการพัฒนาไม้ประกับกาวในประเทศไทย**

จากการศึกษาพัฒนาการไม้ประกับกาว ทั้งในระดับนานาชาติ และระดับชาติ ในขอบเขตชนิดของไม้ประกับกาว ได้แก่ 1) ไม้ประกับกาว 2) ไม้ไผ่ประกับกาว 3) ไม้อัดประสาน 4) ไม้ไผ่อัดประสาน และการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญด้านไม้ประกับกาว และการเก็บข้อมูลจากผู้ประกอบการไม้ประกับกาว ในเขตพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทย มีข้อสังเกตเพิ่มเติม ดังต่อไปนี้

1) ขั้นตอนการผลิตวัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา ชนิดของไม้ยางพาราจำเป็นต้องผลิตในห้องที่มีการควบคุมความชื้น หรือหากเป็นพื้นที่ภายนอกห้องที่ควบคุมความชื้นจำเป็นต้องผลิตให้ครบทุกขั้นตอนภายในระยะเวลา 3-4 วัน เนื่องจากกระบวนการไสเปิดหน้าไม้ ทำให้เชื้อราทำลายเนื้อไม้ยางพารา อันมีปัจจัยมาจากสภาพแวดล้อมของประเทศไทย มีความชื้นที่สูงกว่ามาตรฐานความชื้นไม้ที่ระบุไว้ไม่เกินที่ความชื้น (moisture content) ร้อยละ 12% ภายหลังการ

ประกับกาว จำเป็นต้องพ่นเคมีเพื่อป้องกันศัตรูไม้ ประเภท ปลวก เชื้อรา เป็นต้น ตามด้วยการเคลือบน้ำยาเคลือบไม้ที่มีโพลียูริเทรน

2) ผลผลิตไม้ยางพาราในช่วงปี ค.ศ.1997-2000 เป็นไม้ยางพาราที่มีขนาดความยาวไม่เกิน 1.50 เมตร เนื่องจากเป็นไม้ที่ถูกตัดภายหลังการทำสวนยางพารา เพื่อผลิตน้ำยางพารา ไม้ยางพาราที่เหมาะสมกับการนำมาใช้เป็นโครสร้าง ไม่ควรมีความยาวน้อยกว่า 1.20 เมตร ความสูงไม้ควรน้อยกว่า 1 นิ้ว และความกว้างไม้ควรน้อยกว่า 4 นิ้ว เพราะจะทำให้มีส่วนที่เข้าไม้เชื่อมกันเป็นจำนวนมาก ส่งผลให้การรับแรงดัด เกิดการแหกหักบริเวณส่วนที่มีการเข้าไม้

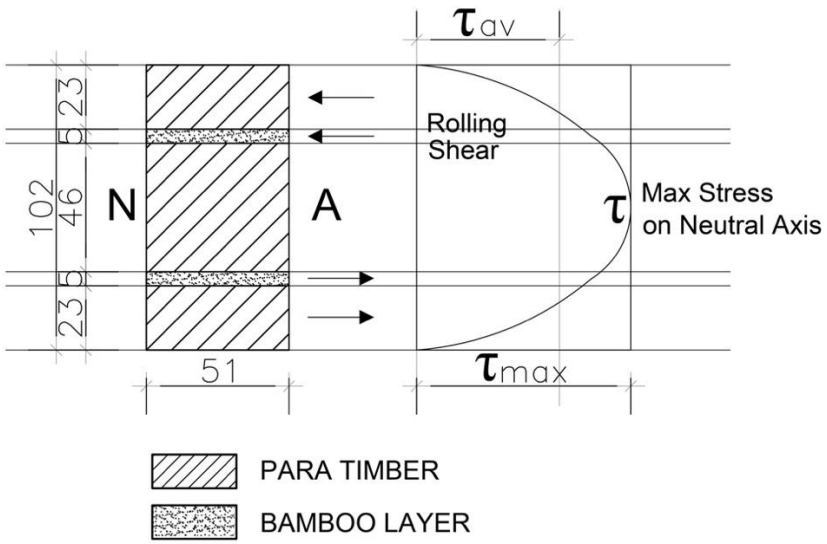
3) งานวิจัยในช่วงปี ค.ศ.2016 – 2019 มีแนวโน้มใช้ไม้เนื้อแข็งผสมผสานกับชั้นของไม้เนื้ออ่อน และเน้นการทดสอบความยืดหยุ่น (Stiffness) ของไม้ประกับกาวมากกว่าการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของไม้ประกับกาวเนื่องจากฐานข้อมูลด้านคุณสมบัติเชิงกลของชนิดไม้แต่ละชนิดมีการวิจัยมาก่อนปี ค.ศ.2000 และพบว่ามีการนำไม้ที่มีคุณสมบัติเป็นพืชโตไวมาใช้ เพื่อเป็นไม้ทางเลือก หรือเป็นส่วนประกอบในชั้นของไม้ประกับกาว ยกตัวอย่างเช่น ไม้ไผ่ ไม้สะเดา เป็นต้น อันมีปัจจัยมาจากการผลิตป่าอุตสาหกรรมยังไม่สามารถผลิตได้ทันต่อความต้องการใช้ไม้

### 5.2.2 การออกแบบวัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา

จากการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา โดยผ่านการทดสอบคุณสมบัติอ้างอิงขนาดต้นแบบตามมาตรฐาน ASTM D143 – 94 ข้อสังเกตจากการผลิตวัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพาราในรูปแบบอุตสาหกรรม มีข้อสังเกตุด้านการออกแบบเพิ่มเติมดังต่อไปนี้

1) จากการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา ในส่วนการออกแบบหน้าตัดของวัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา นอกจากการออกแบบหน้าตัดให้รอยเชื่อมของไม้ ไม่อยู่ในช่วงแนวแกนสะเทินที่มีค่าความเค้นสูงสุด (Max Stress on Neutral Axis) การออกแบบให้วัสดุจำเป็นต้องออกแบบขั้นตอนการผลิตให้มีขั้นตอนน้อยที่สุด โดยเฉพาะในส่วนขั้นตอนการประกับกาวด้วยเครื่องอัดประสานไฟฟ้า ควรอัดกาวและไม้ให้เสร็จในรอบเดียว สามารถเรียงไม้หลายทิศทางทั้งแนวเสี้ยน และขวางเสี้ยนได้ แต่ทิศทางในการอัดไม้ ควรมีทิศทางเดียว เพื่อลดต้นทุนการผลิตเมื่อเทียบกับไม้ยางพาราประกับกาวแปรรูปในระบบอุตสาหกรรม ดังนั้นการออกแบบวัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา จึงออกแบบชั้นไม้ไผ่เป็นแบบ “double layer” แม้ว่าคุณสมบัติเชิงกลในรูปแบบ “H layer” จะมีส่วนที่ดีกว่า แต่ขั้นตอนการผลิตในส่วนขั้นตอนการประกับกาวด้วยเครื่องอัดประสานไฟฟ้าต้องใช้ 2 รอบ ในทั้งแนวตั้ง และแนวนอน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY




ภาพที่ 96 แสดงหน้าตัดของวัสดุที่ไม่มีชั้นไม้อยู่ในช่วงแนวแกนสะเทินที่มีค่าความเค้นสูงสุด

2) การออกแบบชั้นไม้ยางพาราของวัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา ต้องสามารถนำไม้ยางพาราที่มีความหนาในระบบอุตสาหกรรมไม้ของประเทศไทยมาใช้ได้ เพื่อให้สอดคล้องกับรูปแบบการผลิตไม้ยางพาราที่มีอยู่เดิม ส่งผลให้กระบวนการผลิตไม้ในระบบอุตสาหกรรม และการผลิตวัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา สามารถทำควบคู่ในฐานอุตสาหกรรมเดียวกันได้

3) การทดสอบคุณสมบัติของกาวในการประกับไม้ จากการนำชิ้นไม้ต้นแบบไปต้มน้ำร้อน 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง พบว่ากาวที่ใช้อุตสาหกรรมไม้ยางพาราประกับกาวในปัจจุบันไม่ผ่านการทดสอบ ในขณะที่กาวอุตสาหกรรม ในรูปแบบกาวอัดประสานไม้ Class D4 ที่ใช้ประกับไม้ไผ่ สามารถทนต่อการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D143 – 94 ได้

ภาพที่ 97 แสดงการทดสอบคุณสมบัติของกาวในการประกับไม้

**5.2.3 การนำคุณสมบัติเชิงกลมาใช้ในงานสถาปัตยกรรม**

การนำคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา ขนาด 2x4 นิ้ว มาใช้ในงานสถาปัตยกรรม ในรูปแบบอาคารหน่วยพักอาศัยขนาดพื้นที่ 23.04 ตารางเมตร ความสูงอาคาร 1 ชั้น มีข้อสังเกตุเพิ่มเติมดังต่อไปนี้

1) การประกับไม้ส่วนตงพื้นที่ สามารถใช้วัสดุอื่น ๆ เช่น เหล็กแผ่น ไม้เนื้อแข็ง หรือวัสดุยึดอื่น ๆ นอกเหนือจากวัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการรับแรงและช่วยลดน้ำหนักของวัสดุ เพื่อเป็นการช่วยลดระยะยุบตัวของตงพื้น เนื่องจากเมื่อวิเคราะห์ไฟไนอิลิเมนต์บริเวณจุดกึ่งกลางของคาน โดยขยายภาพเป็น 10 เท่า แสดงให้เห็นส่วนที่มีการใช้วัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและยางพารา ประกับตงพื้นทั้งสองฝั่ง พบว่าค่า “mesh metric spectrum” แสดงอยู่ในระดับ 1.1855 ซึ่งเกินกว่าระดับ “Unacceptable” จึงทำให้อนุมานได้ว่าเป็นจุดที่มีระยะยุบตัว (Deformation) มากที่สุด อันเกิดจากปัจจัยได้แก่ ระยะเสา และน้ำหนักของวัสดุตงพื้น ที่มีการประกับตรงกลาง ซึ่งอาจแก้ปัญหาด้วยการลดขนาดความหนา หรือใช้วัสดุชนิดอื่นทดแทน

2) การออกแบบโครงเคร่าผนัง มีข้อสังเกตจากการจำลองแบบวิเคราะห์ ด้วยวิธีการไฟไนอิลิเมนต์ พบว่าทิศทางการวางไม้พลาดภายในโครงเคร่า มีผลต่อการถ่ายน้ำหนักจากโครงสร้างหลังคา เนื่องจากวิธีการก่อสร้างเชิงประยุต์ได้มีการตัดส่วนประกอบของเสารับน้ำหนักออกไป เป็นการใช้ผนังรับน้ำหนักแทน ไม้ที่พลาดเป็น “diagonal brace” จึงมีผลต่อการถ่ายแรงจากโครงสร้างหลังคา จึงสรุปได้ว่าทิศทางที่ดีที่สุด คือการวาง “diagonal brace” ในทิศทางเข้าหากึ่งกลางของอาคาร ในแต่ละฝั่งของผนัง ซึ่งได้ผลดีกว่าวิธีการวางแบบตรงขนานกับผนังในวิธีการก่อสร้างตามลักษณะนิยม

3) คานคอนกรีตเสริมเหล็กของอาคารหน่วยพักอาศัยที่ใช้รับตงพื้น สามารถใช้เหล็กรูปตัวแอล “L” เพื่อยึดตงพื้นเข้ากับคานคอนกรีตเสริมเหล็กเพิ่มเติม เนื่องจากการยึดตงพื้นเข้ากับคานคอนกรีตเสริมเหล็กด้านบนโดยตรง จะทำให้การติดตั้งแผ่นพื้นสมาร์ทบอร์ดไม่มีระยะให้ยึดเพียงพอ อีกทั้งเหล็กรูปตัวแอล “L” จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการรับแรงบริเวณใกล้กับเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

4) โครงสร้างหลังคา ภายหลังการปูกระดานไม้อัดชนิดกันน้ำ และแผ่นกันน้ำแล้ว สามารถเปลี่ยนแปลงวัสดุมุงหลังคาเป็นวัสดุอื่น นอกเหนือจากหลังคาชิงเกิ้ลรูฟ โดยสามารถใช้วัสดุที่หาได้ตามท้องถิ่น เพื่อการตกแต่งให้เข้ากับบริบทของพื้นที่ที่ทำการก่อสร้างอาคารหน่วยพักอาศัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

## 5.3 ข้อเสนอแนะ

วัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารายังขาดการผลิตวัตถุดิบที่มีความเหมาะสมกับการนำไปผลิตในรูปแบบอุตสาหกรรม แม้ว่าจะมีการพัฒนารูปแบบการก่อสร้างให้สอดคล้องกับวิธีการก่อสร้างแบบดั่งเดิม แต่ก็ยังไม่มีกรรมวิธีในการก่อสร้างที่ถูกจัดทำในรูปแบบคู่มือ หรือการส่งต่อความรู้ที่เป็นสากล อย่างไรก็ตามเมื่อมีความต้องการไม้ที่ป้อนเข้าสู่ระบบอุตสาหกรรมเพิ่มมากขึ้น พืชชนิดโตไวจึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจในการนำมาใช้ร่วมเพื่อการผลิตไม้ในระบบอุตสาหกรรม งานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอข้อเสนอแนะ และข้อสังเกต เพื่อใช้ในการพัฒนาการก่อสร้าง และการผลิตในระบบอุตสาหกรรม

### 5.3.1 ข้อเสนอแนะสำหรับการก่อสร้าง

1) จากฐานข้อมูลงานวิจัยไม้ประกับกาว ทั้งในระดับนานาชาติ และระดับชาติ ตลอดระยะเวลาตั้งแต่ปี ค.ศ.1901 จนถึงปี ค.ศ.2019 จะเห็นพัฒนาการไม้ประกับกาวไม่ได้มีเพียงงานวิจัยเพียงอย่างเดียว ซึ่งโครงสร้างไม้ประกับกาว อาจต้องศึกษาจากกรณีศึกษาในงานสถาปัตยกรรม หรือศึกษาจากเทคนิคการก่อสร้างในประเด็นการติดตั้งไม้ประกับกาวเพื่อใช้เป็นโครงสร้าง

2) โครงสร้างวัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพารา สามารถเลือกส่วนประกอบของฝาผนัง วัสดุมุงหลังคา ที่เป็นวัสดุที่สามารถหาได้ในพื้นที่ และประยุกต์ให้เข้ากับบริบทของภูมิปัญญาและความถนัดของช่างฝีมือในพื้นที่ จากข้อสรุปด้านคุณสมบัติเชิงกล โครงสร้างวัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและไม้ยางพาราสามารถซ่อมโครงสร้างได้ เนื่องจากมีคุณสมบัติเชิงกลที่ยืดหยุ่นเพียงพอที่จะไม่ทำให้อาคารเกิดการแตกหักในส่วนของโครงสร้างในทันที ซึ่งหากมีการศึกษาวิธีการซ่อมโครงสร้างไม้ประกับกาว ก็จะทำให้อาคารสามารถใช้งานในระยะเวลาที่เกิน 15 ปี เพื่อใช้ในการเป็นหน่วยพักอาศัยถาวร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3) โครงเคร่าผนัง สามารถปรับรูปแบบ และขนาดไปตามความเหมาะสมของขนาดอาคารหน่วยพักอาศัย โดยด้านหน้าของอาคารหน่วยพักอาศัย ไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงระยะพลาดของโครงสร้างหลังคา แต่ต้องคำนึงถึงระยะช่องเปิดต่าง ๆ เช่น ประตู หน้าต่าง ช่องเปิด

### 5.3.2 ข้อเสนอแนะด้านการผลิตในระบบอุตสาหกรรม

1) การผลิตวัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและยางพารา เป็นไม้แปรรูปในระบบอุตสาหกรรมให้ขนาดที่สอดคล้องกับไม้แปรรูป จำเป็นต้องศึกษารายละเอียดของอุตสาหกรรมไม้ยางพารา ในกรณีที่ต้องการผลิตเป็นขนาดอื่น เช่น ขนาด 2x6 นิ้ว ขนาด 4x4 นิ้ว ว่ามีขนาดความหนาสอดคล้องสามารถมาใช้ผลิตร่วมกันได้ นอกจากความหนา 2x4 นิ้ว ที่ทดลองในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

2) การเลือกไม้ไผ่ที่เหมาะสมกับการนำมาใช้เพื่อการผลิตวัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและยางพารา จำเป็นต้องมีขั้นตอนการวางระยะของแต่ละชิ้นให้ไม่ตรงกับระยะตัดซอยเป็นท่อน เพื่อไม่ให้เกิดการแตกหัก หรือฉีกขาด ของชั้นไม้ไผ่ เมื่อมีการตัดซอยเป็นท่อน

3) การควบคุมการผลิตไม้ไผ่ ทั้งระยะเวลาในการปลูก ความหนาที่ต้องการ ให้มาจากแหล่งที่มาของทรัพยากร เพื่อควบคุมคุณสมบัติของวัสดุ ยังไม่สามารถจัดการได้ เนื่องจากไผ่เป็นพืชที่ขึ้นตามธรรมชาติ และมีการรวบรวมจากหลายแหล่งเข้าสู่ระบบอุตสาหกรรม

4) ระยะเวลา ฤดูกาล และขั้นตอนการผลิต ยังมีความไม่แน่นอน เนื่องจากไผ่ เป็นพืชที่ต้องตัดในช่วงที่มีสภาพแวดล้อมมีความชื้นน้อย เพื่อไม่ให้ไผ่มีความชื้นเยอะเกินในลำต้นของไผ่ ทำให้แต่ละช่วงเวลามีต้นทุนการผลิตที่ไม่เท่ากัน ซึ่งจะมีผลโดยตรงต่อราคาต้นทุน ระยะเวลาในการผลิต

**ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยต่อไป**

ในการวิจัยครั้งนี้มีข้อจำกัดด้านเวลา ทำให้ยังไม่สามารถวิจัยแบบเจาะลึก และใช้ระยะเวลานาน (long term study) ในแต่ละส่วนนอกเหนือจากส่วนคานได้ ในส่วนของการจำลองในรูปแบบไฟไนอิลิเมนต์ ยังมีข้อจำกัดด้านการกำหนดค่าของวัสดุที่ได้รับการปรับปรุง เช่น การทาเคลือบไม้ด้วยสารเคมีที่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน เป็นต้น รวมถึงรูปแบบการก่อสร้างอาคารหน่วยพักอาศัยแบบใหม่ โดยใช้วัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและยางพารา ยังไม่เป็นที่แพร่หลายในประเทศไทย ทำให้ต้องมีการศึกษากรรมวิธีในการก่อสร้าง หรือการสร้างคู่มือแสดงขั้นตอนการติดตั้ง ให้สามารถใช้วัสดุผสมไม้ไผ่ประกับกาวและยางพาราได้อย่างถูกต้อง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

# บรรณานุกรม


ภาษาไทย

การยางแห่งประเทศไทย. (2559). ระบบฐานข้อมูลยางพารา: รายงานการปลูกยางพารา ปี พ.ศ.2559. การยางแห่งประเทศไทย.

จรัญพัฒน์ ภูวนันท์. (2542). การศึกษาความเป็นไปได้เบื้องต้น ในการนำระบบก่อสร้าง *2"x4"* ของแคนาดามาประยุกต์ใช้ในประเทศไทย. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ อี.ที.พับลิชชิ่ง.

เฉลิม มหิทธิกุล. (2514). เปรียบเทียบคุณสมบัติของคานไม้ประกับขนาดเล็กที่ทำจากไม้ยางพารา และกาวธรรมชาติกับคานไม้ยางพารา (*Comparison on the properties of small laminated beam made from para rubber timber and natural glue with para rubber timber beam)*. คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชินพงศ์ ลาภจิตร. (2544). การศึกษาระบบก่อสร้างอาคารพักอาศัยด้วยโครงสร้างไม้ *2x4* นิ้วของออสเตรเลียเปรียบเทียบระบบก่อสร้างทั่วไป (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต), คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,

ชุติมณฑน์ เสียงสุทธิวงศ์ และ สุปรีดี ฤทธิรงค์. (2556). การศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุไผ่ประกับที่ทำจากพันธุ์ไผ่ไทยเพื่อใช้ออกแบบคานไม้สำหรับอาคารสาธารณะขนาดเล็ก (Mechanical Properties of Laminated Bamboo made from Thai Species for Beam of Small Commercial Buildings). โครงการประชุมวิชาการ ประจำาปี 2556 (*Proceedings of the Built Environment Research Associates Associates Conference, BERAC* 4), 31-36.

โชติ รักติประกร. (2505). ไม้อัดและไม้ประกับ (*PLYWOOD AND LAMINATED CONSTRUCTION)*: แผนกวิชาวนผลิตภัณฑ์ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ตระกูล อร่ามรักษ์. (2526). การออกแบบโครงสร้างไม้ (*Timber Structure Design)*. กรุงเทพฯ: ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ตระกูล อร่ามรักษ์ และ สมนึก ลิ้มทองสิทธิคุณ. (2524). กลสมบัติของไม้ยางอาบน้ำยา. วารสารวิทยาสารเกษตรศาสตร์ สาขาวิทยาศาสตร์, 15(2).

ทรงเกียรติ เที้ยธิทรัพย์. (2545). เทคนิคการก่อสร้างอาคารด้วยไม้ไผ่ การออกแบบและสร้างอาคารตัวอย่าง ณ พื้นที่โครงการพัฒนาดอยตุง อำเภอแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ธนา อุทัยภัตรากรู. (2559). โครงการออกแบบและก่อสร้างหอศิลป์ไม้ไผ่. (วิทยานิพนธ์สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต), สถาบันอาศรมศิลป์,

นพดล กีรติจิรัฐิติกาล, สมิตร ส่งพิริยะกิจ และคณะ. (2552). ไม้ประกับโครงสร้าง: การสร้างมูลค่าเพิ่มแก่ไม้สนและไม้ยางพารา (*Structural glued laminated timber: the value adding to pine and para*


จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

*timber)*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

นพดล กีรติจิรัฐิติกาล และคณะ. (2551). กำลังดัดของไม้ประกับกาว โดยใช้ไม้ยางพารา (*Blending strength of glued laminated para timber)*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

บุญส่ง สมเพราะ, วัลยุทธ เฟื่องวิวัฒน์ ปิยะวดี บัวจงกล และ วรัญญู ราษฎร์เจริญ. (2556). คุณสมบัติของไม้ไผ่ บางชนิดเพื่อการก่อสร้าง. Retrieved from http://forprod.forest.go.th/forprod/techtransfer/document/คลังความรู้/2.ไม้เศรษฐกิจในประเทศไทย/1.ไผ่/5.คุณสมบัติของไม้ไผ่(Thai).pdf

วรธรรม อุ่นจิตติชัย, ประเสริฐ วาณิชย์เจริญ ทินกร พิริยโยธา วรวิทย์ พลทัสสะ และ กำพล ชูปรีดา. (2557). การคลี่ไม้ไผ่ด้วยไอน้ำเพื่อผลิตไม้ไผ่ประสาน (*Flattening bamboo culm with steaming press for laminated board)*. กรุงเทพฯ: กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

วรพจน์ ประชาเสรี และ ธนิยา เกาศล. (2557). พฤติกรรมภายใต้การดัดและการเฉือนของคานไม้ยางพาราประกอบเสริมกำลังด้วยวัสดุพอลิเมอร์เสริมเส้นใย (*Flexural and shear behavior of fiber reinforced polymer reinforced para wood glue laminated beams)*. ปัตตานี: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

วัลยุทธ เฟื่องวิวัฒน์, ปิยะวดี บัวจงกล และ วิมลสิริ อินทรประสิทธิ์. (2559). การวิจัยไม้ประกับจากไม้พะยูงตัดขยายระยะจากสวนป่า (*Study on Dalbergia cochinchinensis Pierre Laminated from Thinning Plantation)*. กรุงเทพฯ: กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

วินิต ช่อวิเชียร์. (2528). ทฤษฎีโครงสร้าง. กรุงเทพฯ: ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วิรัช ชื่นวาริน. (2519). ลักษณะโครงสร้างและองค์ประกอบของลำไม้ไผ่สามชนิด: รายงานวนศาสตร์วิจัย (เล่มที่ 47). กรุงเทพฯ: คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศรานิตย์ กลิ่นคล้ายกัน. (2551). *Glulam :* โครงสร้างไม้เพื่องานสถาปัตยกรรมยั่งยืน. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต), สาขาสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,

ศวิษฐ์ พิริยะสุรวงศ์ และ เทิดศักดิ์ เตชะกิจขจร. (2562). พัฒนาการไม้ประกับกาวในประเทศไทย. วารสารวิชาการการออกแบบสภาพแวดล้อม, 7(1).

ศูนย์ศึกษาการค้าระหว่างประเทศ คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย. (2556). รายงานฉบับสมบูรณ์ (*Final Report)* โครงการพัฒนาความร่วมมือด้านอุตสาหกรรมกับประเทศเพื่อนบ้าน (ยุทธศาสตร์การพัฒนาความร่วมมือด้านอุตสาหกรรมภายใต้กรอบโครงการพัฒนาเขตเศรษฐกิจสามฝ่ายอินโดนีเซีย-มาเลเซีย-ไทย: *IMT-GT)* Retrieved from http://www.thaifta.com/trade/study/imtgt_chap5-2.pdf

สมิตร ส่งพิริยะกิจ. (2561, สัมภาษณ์ 12 กรกฎาคม 2561). อาจารย์คณะวิทยาลัยเทคนิคอุตสาหกรรม.

สอาด บุญเกิด. (2528). ไม้ไผ่บางชนิดในประเทศไทย. กรุงเทพฯ ภาควิชาวนวัฒนวิทยา คณะวนศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สำนักวิจัยเศรษฐกิจและผลิตผลป่าไม้. (2547). การใช้ประโยชน์ไม้ขั้นพื้นฐาน (พิมพ์ครั้งที่ 5): สำนักวิจัยเศรษฐกิจและผลิตผลป่าไม้ กรมป่าไม้.

สุชาติ ไทยเพชร. (2547). Physical and Mechanical Properties of Five Bamboo Species in Thailand. *Sustainable Management and Utilization from Bamboo, Retrieved from Royal Forest Department*, 41-45.

สุทธิชา บรรจงรัตน์ และ สุปรีดี ฤทธิรงค์. (2556). การศึกษาคุณสมบัติทางกลของพันธุ์ไผ่ไทยในงานโครงสร้างเรียบง่าย. *Built Environment Research Associates Conference - BERAC* 4. Retrieved from http://www.berac.tds.tu.ac.th/BERAC/BERAC4/01bulding tech1.pdf

โสรัจ พฤฒิโกมล และ ประชม ทางทอง. (2553). การออกแบบและศึกษาความเป็นไปได้ของผลิตภัณฑ์ที่ทำจากไม้ไผ่อัดประสาน เพื่อส่งเสริมรายได้ให้ชุมชนจังหวัดกาญจนบุรี โดยเทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ (*Product Design and Project Feasibility of Pressed Bamboo to Promote Community Business of the Villagers of Kanchanaburi Provinceby Using Quality Function Deployment)*. นครปฐม: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์.

อมรรัตน์ ชุมภู, ศักรินทร์ ชูดวง รัตนา อัตภูมิสุวรรณ์ และ อรรถกร เก่งพล. (2551). การประเมินศักยภาพในการแข่งขันเฟอร์นิเจอร์ไม้ไผ่อัดประสาน เพื่อจำหน่ายภายในและภายนอกประเทศ (*The Evaluation of Competitiveness in Laminated Bamboo Furniture for Domestics and Global Markets)*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

อัศวิน ระวิโชติ. (2550). *Phuettikam karn rab namnak banthuk khong khan mai prasan kao. (In Thai) [Behavior of glued laminated grider under loading].* (Master's Thesis), Rangsit University, Bangkok.

อินเตอร์วู้ด ทิมเบอร์. (2561, สัมภาษณ์ 23 กุมภาพันธ์ 2561).

<u>ภาษาอังกฤษ</u>

Aishwarya M. & Stefan M. R. (2016). *Combined glued laminated timber using hardwood and softwood lamellas.* (Master's Thesis), Växjö: Linnaeus University,

ANSYS Inc. (2016). ANSYS Composites PrepPost User's Guide. *ANSYS Inc: Canonsburg PA, USA*.

Archila, H. F. (2015). *Thermo-Hydro-Mechanically Modified Cross Laminated Guadua-Bamboo Panels.* (PhD Thesis), Bath: University of Bath,

Archila, H. F., et al. (2017). *Elastic response of cross laminated engineered bamboo panels subjected to in plane loading*. Bath: University of Bath.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ASTM D143. (2007). Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber. *ASTM International, West Conshohocken, PA*.

ASTM D245-06. (2019). Standard Practice for Establishing Structural Grades and Related Allowable Properties for Visually Graded Lumber. *ASTM International, West Conshohocken, PA*.

ASTM D2555-17a. (2017). Standard Practice for Establishing Clear Wood Strength Values. *ASTM International, West Conshohocken, PA*.

ASTM D3737-18e1. (2018). Standard Practice for Establishing Allowable Properties for Structural Glued Laminated Timber (Glulam). *ASTM International, West Conshohocken, PA*.

Badescu, A.-M. L., et al. (2011). Mechanical Properties of wooden laminated structures glued with a furan resin based adhesive. *Proceeding of the International Conference on Urban Sustainability, Cultural Sustainbility, Green Development and Clean Car*(In English), 143-147.

Bazan, I. M. M. (1980). *Ultimate bending strength of timber beams.* (Ph.D Dissertation), Nova Scotia Technology College, Halifax, N.S. (269)

Brandner, R., et al. (2016). Cross laminated timber (CLT): overview and development. *European Journal of Wood and Wood Products,* 74(3), 331-351.

Canadian wood-frame house construction. (2005). *Canadian wood-frame house construction*. Ottawa - Ontario: Canada Mortgage and Housing Corporation 2013.

Correal, J., et al. (2010). *Structural behaviour of glue laminated guadao bamboo as a construction material*. Bogotá: Universidad de Los Andes.

Cziesielski, E. (1974). Ho lzerne Dachfla chentragwerke. (In German) [Shell structures for timber roofs]. In Halasz, R. & Scheer, C. (Eds.). *Holzbau-Taschenbuch, Band* 1: *Grundlagen, Entwurf und Konstruktionen, Berlin: Ernst & Sohn*.

Danzig, I. (2011). *Tall wood in Canada: : feasibility study, technical guide, and wood innovation and design centre*. Vancouver: Internationales Holzbau-Forum.

Dârmon R. & Lalu O. (2019). The fire performance of Cross Laminated Timber beams. *Proceeding of the* 12*th International Conference Interdisciplinarity in Engineering* (*In English) Procedia manufacturing,* 32, 121-128.

Davis C. (2009). *Bamboo Connections. The Department of Arcihecture and Civil*

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

*Engineering*. Bath: The University of Bath.

Dröge, G., & Stoy, K.-H. (1981). *Grundzüge des neuzeitlichen Holzbaues*. Berlin: Wilhelm Ernst & Sohn.

Gudiyono N., Suhendro B., Awaludin A. and Triwiyono A. (2020). Creep shear deformation of glue- laminated bamboo. *Internaltional Journal of Geomate,* 19(73), 185-192.

Harte, A. M. (2017). Mass timber – the emergence of a modern construction material. *Journal of Structural Integrity and Maintenance,* 2(3), 121-132.

Hernandez, R., et al. (1996). *Yellow poplar glued-laminated timber: product development and use in timber bridges construction*. WI: Department of Agriculture.

Hetzer O. (1908). *Neue Holzbauweisen*: Deutsche Bauzeitung Patent 98.

Ivens, J., et al. (2018). In-depth study of the microstructure of bamboo fibres and their relation to the mechanical properties. *Journal of Reinforced Plastics and Composites New York: SAGE Publising,* 0(0), 1-15.

Jacob Fish and Ted Belytschko. (2007). *A First Course in Finite Elements*. John Wiley & Sons, Ltd.

Jeleč, M., Varevac, D., & Rajčić, V. (2018). Cross-laminated timber (CLT) – a state of the art report. *Gradevinar,* 70(2), 75-95.

Jules J.A. Janssen. (1988). *Building with Bamboo*. Practical Action Publishing.

Komariah, R., et al. (2015). Physical-mechanical properties of glued laminated timber made from tropical small-diameter logs grown in Indonesia. *Journal of the Korean Wood Science and Technology,* 43(2), 156-167.

Kwok-Fai Chung and W. K. Yu. (2002). Mechanical properties of structural bamboo for bamboo scaffoldings. *Engineering Structures,* 24(4), 429-442.

Lamlaksakul, W. (2009). *Karn pattana chai mai pra kap chak phai thotthaen mai samrab karn phalit furniture. (In Thai) [Development of aminated bamboo furniture manufacturing]*. Bangkok: King Mongkut's University of Technology North Bangkok.

Lamlaksakul, W., et al. (2007). *Karn oakbab furniture mai pra kap phai doi chai lakkan yasat. (In Thai*) [*Design of laminated bamboo furniture using ergonomics method]*. Bangkok: King Mongkut's University of Technology North Bangkok.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Lehman, E. (2018). 1934: Glued Laminated Timber Comes to America. *Forest History Society, October* 15.

Li, H., et al. (2016). Flexural performance of laminated bamboo lumber beams. *BioResources,* 11(1), 292-943.

Mahdavi, M., Clouston, P. & Arwade, S. R. (2011). Development of laminated bamboo lumber: review of processing, performance, and economical considerations. *Journal of Materials in Civil Engineering,* 23(7), 1036-1042.

Manalo, A., Aravinthan & T., Karunasena, W. (2013). Shear behaviour of glued structural fibre composite sandwich beams. *Construction and Building Materials,* 47, 1317-1327.

Manbeck, H. B., et al. (1993). *Performance of red maple glued-laminated timber beams*. Wisconsin: Forest Products Laboratory.

Munis et al. (2018). Cross laminated timber bamboo. *BioResources,* 13(2), 3809-3816.

Ogawa, H. (2000). Architectural application of carbon fibers. *Development of new carbon fiber reinforced glulam,* 38(2), 211-226.

Oliver William A. (1937). *Stress theory and fact checked on glue laminated timber*: Engin. News-Rec.. 118: 82-83, illus.

Pei, S., et al. (2011). Approximate R-factor for cross-laminated timber walls in multistory buildings. *Journal of Architectural Engineering,* 19(4), 245-255.

Penellum, M., et al. (2018). Relationship of structure and stiffness in laminated bamboo composites. *Construction and Building Materials,* 165, 241-246.

Rug, W., & Rug, F. (1996). Innovations in timber engineering: Hetzer's method. In Gopu, V. (Ed.). *Proceedings of the International Wood Engineering Conference Volume* 4, 435-442. New Orleans: Omnipress.

Scalet, T. (2015). *Cross laminated timber as sustainable construction technology for the future.* (Thesis), Helsinki: Helsinki Metropolia University of Applied Sciences,

Schickhofer, G. (1994). *Starrer und nachgiebiger Verbund bei geschichteten, flächenhaften Holzstrukturen*. Graz: Verlag der Technischen Universität Graz.

Sharma, B., et al. (2015). Engineered bamboo for structural applications. *Construction and Building Materials,* 81, 66-73.

Teeravanich, J. (1975). *Khunnasombat nai kan rap raeng dat khong khan mai pra kap*

*khong maidaeng lae mai yang. (In Thai) [The flexural behavior of glue-laminated beam of Daeng and Yang timbers]*. Bangkok: Chulalongkorn University.

Teibinger, M., & Matzinger, I. (2013). *Construction with cross-laminated timber multi-storey buildings focus on building physics*. Vienna: Holzforschung Austria.

Turner, M. J., Clough R.W., Martin, H. C., & Topp, L. J. (1956). Stiffness and deflection analysis of complex structures. *Journal of the Aeronautical Sciences,* 23(9).

Wieruszewski, M., & Mazela, B. (2017). Cross laminated timber as an alternative form of construction wood. *Drvna industrija : Znanstveni časopis za pitanja drvne tehnologije,* 68(4), 359-367.

Xiao, Y., et al. (2010). Two-by-Four house construction using laminated bamboos. *Proceedings of* 11*th World Conference on Timber Engineer* 2010, 1334-1341. New York: Curran Associates.

Yang, T.-H., et al. (2009). The charring depth and charring rate of glued laminated timber after standard fire exposure test. *Building and Environment,* 44(2), 231-236.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

# ภาคผนวก 1

# Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber

**Designation: D 143 – 94 (Reapproved 2000)$^{\epsilon 1}$**

## Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber[1]

This standard is issued under the fixed designation D 143; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ε) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

*This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.*

$\epsilon^1$ NOTE—Keywords were added in April 2000.

### INTRODUCTION

The need to classify wood species by evaluating the physical and mechanical properties of small clear specimens has always existed. Because of the great variety of species, variability of the material, continually changing conditions of supply, many factors affecting test results, and ease of comparing variables, the need will undoubtedly continue to exist.

In the preparation of these methods for testing small clear specimens, consideration was given both to the desirability of adopting methods that would yield results comparable to those already available and to the possibility of embodying such improvements as experience has shown desirable. In view of the many thousands of tests made under a single comprehensive plan by the U.S. Forest Service, the former Forest Products Laboratories of Canada (now Forintek Canada Corp.), and other similar organizations, the methods naturally conform closely to the methods used by these institutions. These methods are the outgrowth of a study of both American and European experience and methods. The general adoption of these methods will tend toward a world-wide unification of results, permitting an interchange and correlation of data, and establishing the basis for a cumulative body of fundamental information on the timber species of the world.

Descriptions of some of the strength tests refer to primary methods and secondary methods. Primary methods provide for specimens of 2 by 2-in. (50 by 50-mm) cross-section. This size of specimen has been extensively used for the evaluation of various mechanical and physical properties of different species of wood, and a large number of data based on this primary method have been obtained and published.

The 2 by 2-in. (50 by 50-mm) size has the advantage in that it embraces a number of growth rings, is less influenced by earlywood and latewood differences than smaller size specimens, and is large enough to represent a considerable portion of the sampled material. It is advisable to use primary method specimens wherever possible. There are circumstances, however, when it is difficult or impossible to obtain clear specimens of 2 by 2-in. cross section having the required 30 in. (760 mm) length for static bending tests. With the increasing incidence of smaller second growth trees, and the desirability in certain situations to evaluate a material which is too small to provide a 2 by 2-in. cross-section, a secondary method which utilizes a 1 by 1-in. (25 by 25-mm) cross section has been included. This cross section is established for compression parallel to grain and static bending tests, while the 2 by 2-in. cross-section is retained for impact bending, compression perpendicular to grain, hardness, shear parallel to grain, cleavage, and tension perpendicular to grain. Toughness and tension parallel to grain are special tests using specimens of smaller cross section.

The user is cautioned that test results between two different sizes of specimens are not necessarily directly comparable. Guidance on the effect of specimen size on a property being evaluated is beyond the scope of these methods, and should be sought elsewhere.

Where the application, measurement, or recording of load and deflection can be accomplished using electronic equipment and computerized apparatus, such devices are encouraged, providing they do not lower the standard of accuracy and reliability available with basic mechanical equipment.

Copyright © ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.

## 1. Scope

1.1 These methods cover the determination of various strength and related properties of wood by testing small clear specimens.

1.1.1 These methods represent procedures for evaluating the different mechanical and physical properties, controlling factors such as specimen size, moisture content, temperature, and rate of loading.

1.1.2 Sampling and collection of material is discussed in Practice D 5536. Sample data, computation sheets, and cards have been incorporated, which were of assistance to the investigator in systematizing records.

1.1.3 The values stated in inch-pound units are to be regarded as the standard. The SI values are given in parentheses and are provided for information only. When a weight is prescribed, the basic inch-pound unit of weight (lbf) and the basic SI unit of mass (Kg) are cited.

1.2 The procedures for the various tests appear in the following order:

| | Sections |
|---|---|
| Photographs of Specimens | 5 |
| Control of Moisture Content and Temperature | 6 |
| Record of Heartwood and Sapwood | 7 |
| Static Bending | 8 |
| Compression Parallel to Grain | 9 |
| Impact Bending | 10 |
| Toughness | 11 |
| Compression Perpendicular to Grain | 12 |
| Hardness | 13 |
| Shear Parallel to Grain | 14 |
| Cleavage | 15 |
| Tension Parallel to Grain | 16 |
| Tension Perpendicular to Grain | 17 |
| Nail Withdrawal | 18 |
| Specific Gravity and Shrinkage in Volume | 19 |
| Radial and Tangential Shrinkage | 20 |
| Moisture Determination | 21 |
| Permissible Variations | 22 |
| Calibration | 23 |

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

## 2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*

D 198 Methods for Static Tests of Timbers in Structural Sizes[2]

D 2395 Test Methods for Specific Gravity of Wood and Wood-Base Materials[2]

D 3043 Methods of Testing Structural Panels in Flexure[2]

D 3500 Test Method for Structural Panels in Tension[2]

D 4442 Test Methods for Direct Moisture Content Measurement of Wood and Wood-Base Materials[2]

D 4761 Test Method for Mechanical Properties of Lumber and Wood-Base Structural Material[2]

D 5536 Practice for Sampling the Forest Trees for Determination of Clear Wood Properties[2]

E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines[3]

## 3. Summary of Methods

3.1 The mechanical tests are static bending, compression parallel to grain, impact bending toughness, compression perpendicular to grain, hardness, shear parallel to grain (Note 1), cleavage, tension parallel to grain, tension-perpendicular-to-grain, and nail-withdrawal tests. These tests may be made on both green and air-dry material as specified in these methods. In addition, methods for evaluating such physical properties as specific gravity, shrinkage in volume, radial shrinkage, and tangential shrinkage are presented.

NOTE 1—The test for shearing strength perpendicular to the grain (sometimes termed "vertical shear") is not included as one of the principal mechanical tests since in such a test the strength is limited by the shearing resistance parallel to the grain.

## 4. Significance and Use

4.1 These methods cover tests on small clear specimens of wood that are made to provide the following:

4.1.1 Data for comparing the mechanical properties of various species,

4.1.2 Data for the establishment of correct strength functions, which in conjunction with results of tests of timbers in structural sizes (see Methods D 198 and Test Method D 4761), afford a basis for establishing allowable stresses, and

4.1.3 Data to determine the influence on the mechanical properties of such factors as density, locality of growth, position in cross section, height of timber in the tree, change of properties with seasoning or treatment with chemicals, and change from sapwood to heartwood.

## 5. Photographs of Specimens

5.1 Four of the static bending specimens from each species shall be selected for photographing, as follows: two average growth, one fast growth, and one slow growth. These specimens shall be photographed in cross section and on the radial and tangential surfaces. Fig. 1 is a typical photograph of a cross section of 2 by 2-in. (50 by 50-mm) test specimens, and Fig. 2 is the tangential surface of such specimens.

## 6. Control of Moisture Content and Temperature

6.1 In recognition of the significant influence of temperature and moisture content on the strength of wood, it is highly desirable that these factors be controlled to ensure comparable test results.

6.2 *Control of Moisture Content*—Specimens for the test in the air-dry condition shall be dried to approximately constant weight before test. Should any changes in moisture content occur during final preparation of specimens, the specimens shall be reconditioned to constant weight before test. Tests shall be carried out in such manner that large changes in

[1] These methods are under the jurisdiction of ASTM Committee D7 on Wood and are the direct responsibility of Subcommittee D07.01 on Fundamental Test Methods and Properties.

Current edition approved May 15, 1994. Published July 1994. Originally published as D 143 – 22 T. Last previous edition D 143 – 83.

[2] *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.10.

[3] *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 03.01.

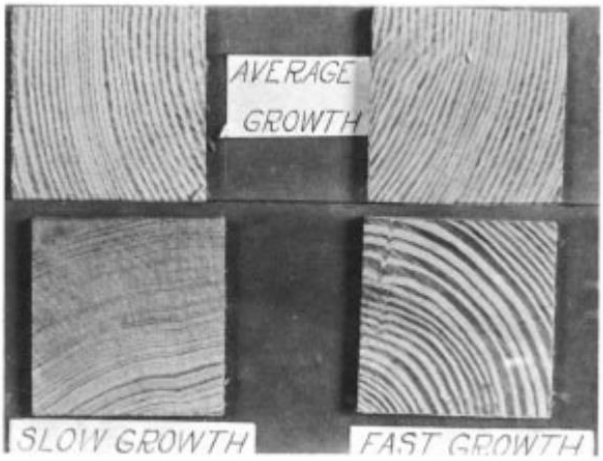



**FIG. 1 Cross Sections of Bending Specimens Showing Different Rates of Growth of Longleaf Pine (2 by 2-in. (50 by 50-mm) Specimens)**

**FIG. 2 Tangential Surfaces of Bending Specimens of Different Rates of Growth of Jeffrey Pine 2 by 2-in. (50 by 50 by 760-mm) Specimens**

moisture content will not occur. To prevent such changes, it is desirable that the testing room and rooms for preparation of test specimens have some means of humidity control.

6.3 *Control of Temperature*—Temperature and relative humidity together affect wood strength by fixing its equilibrium moisture content. The mechanical properties of wood are also affected by temperature alone. When tested, the specimens shall be at a temperature of 68 + 6°F (20 + 3°C). The temperature at the time of test shall in all instances be recorded as a specific part of the test record.

## 7. Record of Heartwood and Sapwood

7.1 *Proportion of Sapwood*—The estimated proportion of sapwood present should be recorded for each test specimen.

## 8. Static Bending

8.1 *Size of Specimens*—The static bending tests shall be made on 2 by 2 by 30 in. (50 by 50 by 760 mm) primary method specimens or 1 by 1 by 16 in. (25 by 25 by 410 mm) secondary method specimens. The actual height and width at the center and the length shall be measured (see 22.2).

8.2 *Loading Span and Supports*—Use center loading and a span length of 28 in. (710 mm) for the primary method and 14 in. (360 mm) for the secondary method. These spans were established in order to maintain a minimum span-to-depth ratio of 14. Both supporting knife edges shall be provided with bearing plates and rollers of such thickness that the distance from the point of support to the central plane is not greater than the depth of the specimen (Fig. 3). The knife edges shall be adjustable laterally to permit adjustment for slight twist in the specimen (Note 2).

NOTE 2—Details of laterally adjustable supports may be found in Fig. 1 of Methods D 3043.

8.3 *Bearing Block*—A bearing block of the form and size of that shown in Fig. 4 shall be used for applying the load for

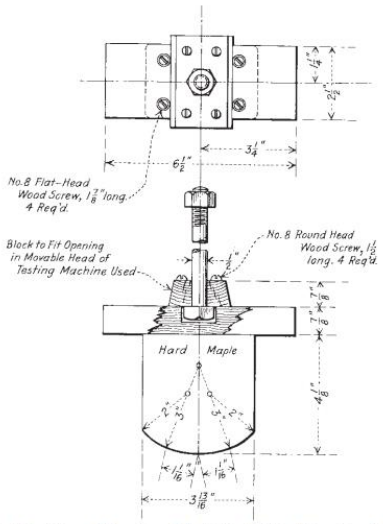



**FIG. 4 Details of Bearing Block for Static Bending Tests**

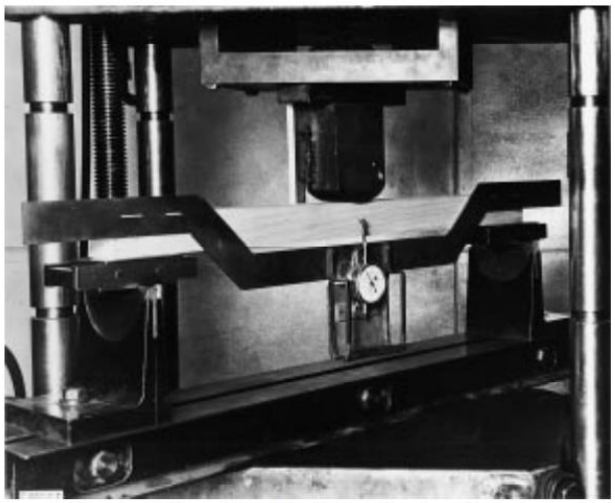


**FIG. 3 Static Bending Test Assembly Showing Method of Load Application, Specimen Supported on Rollers and Laterally Adjustable Knife Edges, and Method of Measuring Deflection at Neutral Axis by Means of Yoke and Dial Attachment (Adjustable scale mounted on loading head is used to measure increments of deformation beyond the dial capacity.)**

primary method specimens. A block having a radius of 1½ in. (38 mm) for a chord length of not less than 2 in. (50 mm) shall be used for secondary method specimens.

8.4 *Placement of Growth Rings*—The specimen shall be placed so that the load will be applied through the bearing block to the tangential surface nearest the pith.

8.5 *Speed of Testing*—The load shall be applied continuously throughout the test at a rate of motion of the movable crosshead of 0.10 in. (2.5 mm)/min (see 22.3), for primary method specimens, and at a rate of 0.05 in. (1.3 mm)/min for secondary method specimens.

8.6 *Load-Deflection Curves*:

8.6.1 Load-deflection curves shall be recorded to or beyond the maximum load for all static bending tests. The curves shall be continued to a 6 in. (150 mm) deflection, or until the specimen fails to support a load of 200 lbf (890 N) for primary method specimens and to a 3 in. (76 mm) deflection or until the specimen fails to support a load of 50 lbf (220 N) for secondary method specimens.

8.6.2 Deflections of the neutral plane at the center of the length shall be taken with respect to points in the neutral plane above the supports. Alternatively, deflection may be taken relative to the tension surface at midspan. However, take care to ensure that vertical displacements which may occur at the reactions are accounted for.

8.6.3 Within the proportional limit, deflection readings shall be taken to 0.001 in. (0.02 mm). After the proportional limit is reached, less refinement is necessary in observing deflections, but it is convenient to read them by means of the dial gage (Fig. 3) until it reaches the limit of its capacity, normally approximately 1 in. (25 mm). Where deflections beyond 1 in. are encountered, the deflections may be measured by means of the scale mounted on the loading head (Fig. 3) and a wire mounted at the neutral axis of the specimen of the side opposite the yoke. Deflections are read to the nearest 0.01 in. (0.2 mm) at 0.10 in. (2.5 mm) intervals and also after abrupt changes in load.

8.6.4 The load and deflection of first failure, the maximum load, and points of sudden change shall be read and shown on the curve sheet (Note 3) although they may not occur at one of the regular load or deflection increments.

NOTE 3—See Fig. 5 for a sample static bending data sheet form.

the failure develops (Fig. 6). The fractured surfaces may be roughly divided into "brash" and "fibrous", the term "brash" indicating abrupt failure and" fibrous" indicating a fracture showing splinters.

8.8 *Weight and Moisture Content*—The specimen shall be

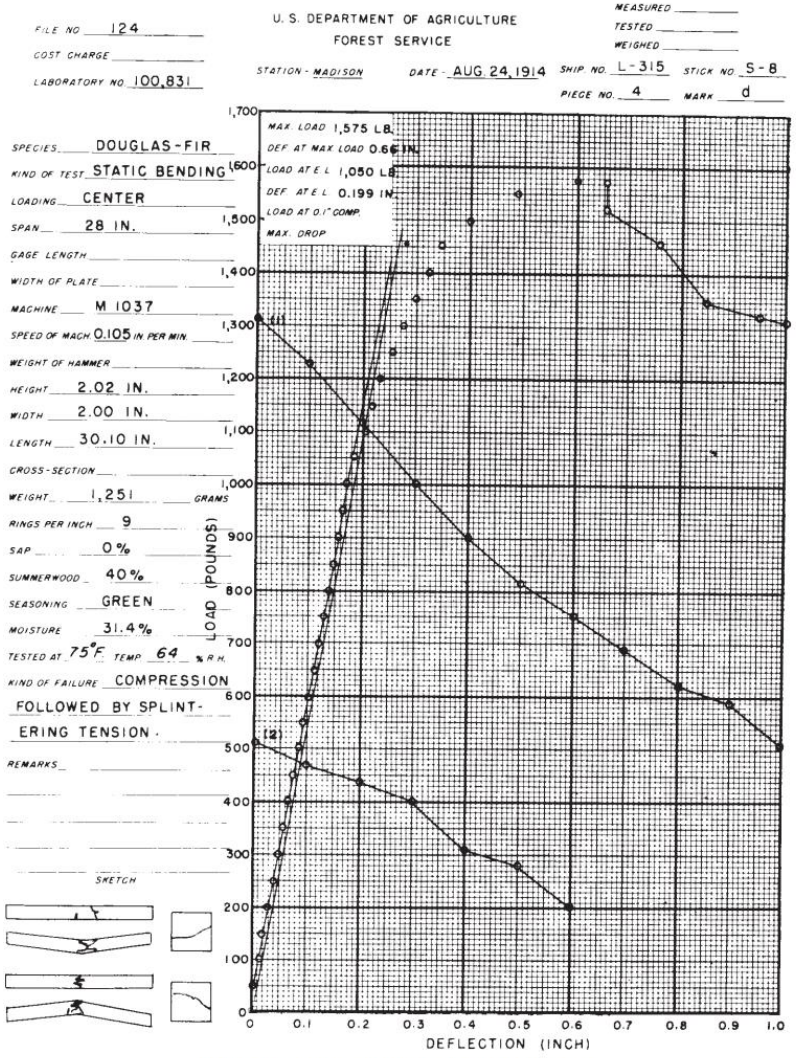
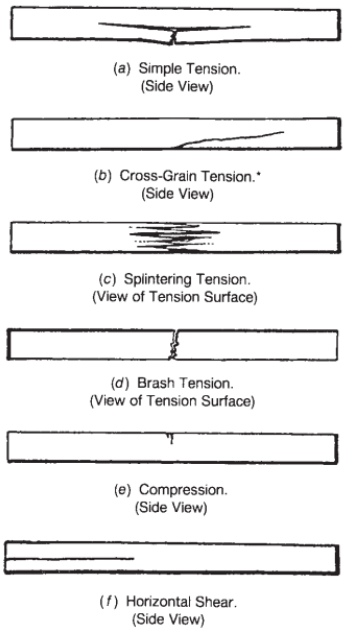



**FIG. 5 Sample Data Sheet for Static Bending Test**

8.7 *Description of Static Bending Failures*—Static bending (flexural) failures shall be classified in accordance with the appearance of the fractured surface and the manner in which

weighed immediately before test, and after the test a moisture section approximately 1 in. (25 mm) in length shall be cut from the specimen near the point of failure. (see 21.1 and 22.1).




NOTE 1—The term "cross grain" shall be considered to include all deviations of grain from the direction of the longitudinal axis or longitudinal edges of the specimen. It should be noted that spiral grain may be present even to a serious extent without being evident from a casual observation.

NOTE 2—The presence of cross grain have a slope that deviates more than 1 in 20 from the longitudinal edges of the specimen shall be cause for culling the test.

**FIG. 6 Types of Failures in Static Bending**

## 9. Compression Parallel to Grain

9.1 *Size of Specimens*—The compression-parallel-to-grain tests shall be made on 2 by 2 by 8 in. (50 by 50 by 200 mm) primary method specimens, or 1 by 1 by 4 in. (25 by 25 by 100 mm) secondary method specimens. The actual cross-sectional dimensions and the length shall be measured (see 22.2).

9.2 *End Surfaces Parallel*—Special care shall be used in preparing the compression-parallel-to-grain test specimens to ensure that the end grain surfaces will be parallel to each other and at right angles to the longitudinal axis. At least one platen of the testing machine shall be equipped with a spherical bearing to obtain uniform distribution of load over the ends of the specimen.

9.3 *Speed of Testing*—The load shall be applied continuously throughout the test at a rate of motion of the movable crosshead of 0.003 in./in. (mm/mm) of nominal specimen length/min (see 22.3).

9.4 *Load-Compression Curves*:

9.4.1 Load-compression curves shall be taken over a central gage length not exceeding 6 in. (150 mm) for primary method specimens, and 2 in. (50 mm) for secondary method specimens. Load-compression readings shall be continued until the proportional limit is well passed, as indicated by the curve (Note 4).

NOTE 4—See Fig. 7 for a sample compression-parallel-to-grain data sheet form.

9.4.2 Deformations shall be read to 0.0001 in. (0.002 mm).

9.4.3 Figs. 8 and 9 illustrate two types of compressometers that have been found satisfactory for wood testing. Similar apparatus is available for measurements of compression over a 2 in. (50 mm) gage length.

9.5 *Position of Test Failures*—In order to obtain satisfactory and uniform results, it is necessary that the failures be made to develop in the body of the specimen. With specimens of uniform cross section, this result can best be obtained when the ends are at a very slightly lower moisture content than the body. With green material, it will usually suffice to close-pile the specimens, cover the body with a damp cloth, and expose the ends for a short time. For dry material, it may sometimes be advisable to pile the specimens in a similar manner and place them in a desiccator, should the failures in test indicate that a slight end-drying is necessary.

9.6 *Descriptions of Compression Failures*—Compression failures shall be classified in accordance with the appearance of the fractured surface (Fig. 10). In case two or more kinds of failures develop, all shall be described in the order of their occurrence; for example, shearing followed by brooming. The failure shall also be sketched in its proper position on the data sheet.

9.7 *Weight and Moisture Content*—See 8.8.

9.8 *Ring and Latewood Measurement*— When practicable, the number of rings per inch (average ring width in millimetres) and the proportion of summerwood shall be measured over a representative inch (centimetre) of cross section of the test specimen. In determining the proportion of summerwood, it is essential that the end surface be prepared so as to permit accurate latewood measurement. When the fibers are broomed over at the ends from sawing, a light sanding, planing, or similar treatment of the ends is recommended.

## 10. Impact Bending

10.1 *Size of Specimens*—The impact bending tests shall be made on 2 by 2 by 30 in. (50 by 50 by 760 mm) specimens. The actual height and width at the center and the length shall be measured (see 22.2).

10.2 *Loading and Span*—Use center loading and a span length of 28 in. (710 mm).

10.3 *Bearing Block*—A metal tup of curvature corresponding to the bearing block shown in Fig. 4 shall be used in applying the load.

10.4 *Placement of Growth Rings*—The specimen shall be placed so that the load will be applied through the bearing block to the tangential surface nearest the pith.

10.5 *Procedure*—Make the tests by increment drops in a Hatt-Turner or similar impact machine (see Fig. 11). The first drop shall be 1 in. (25 mm), after which increase the drops by 1 in. increments until a height of 10 in. (250 mm) is reached. Then use a 2 in. (50 mm) increment until complete failure occurs or a 6 in. (150 mm) deflection is reached.

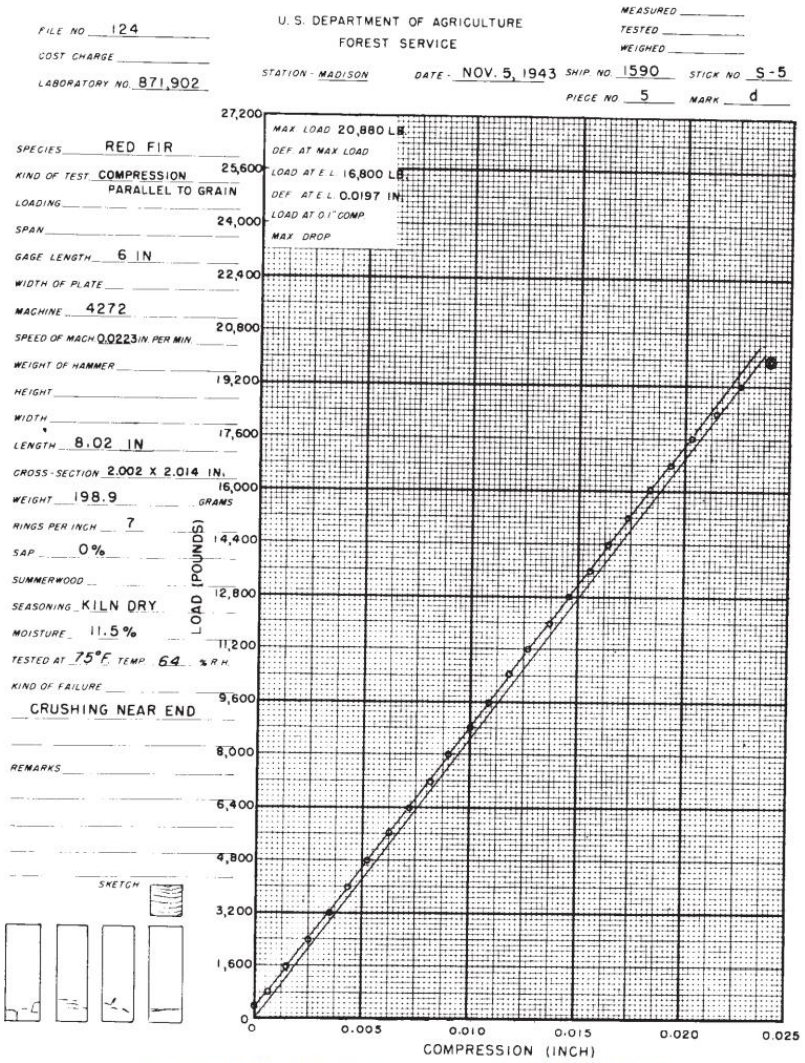



**FIG. 7 Sample Data Sheet for Compression-Parallel-to-Grain Test**

10.6 *Weight of Hammer*—A 50 lbf (22.5 kg) hammer shall be used when, with drops up to the capacity of the machine (about 68 in. (1.7 m) for the small Hatt-Turner impact machine), it is practically certain that complete failure or a 6 in. (150 mm) deflection will result for all specimens of a species. For all other cases, a 100 lbf (45 kg) hammer shall be used.

10.7 *Deflection Records*—When desired, graphical drum records (Note 5) giving the deflection for each drop and the set, if any, shall be made until the first failure occurs. This record will also afford data from which the exact height of drop can be scaled for at least the first four falls.

NOTE 5—See Fig. 12 for a sample drum record.

10.8 *Drop Causing Failure*—The height of drop causing either complete failure or a 6 in. (150 mm) deflection shall be observed for each specimen.

10.9 *Description of Failure*—The failure shall be sketched on the data sheet (Note 6) and described in accordance with the directions for static bending in 8.7.

NOTE 6—See Fig. 13 for a sample impact bending data sheet form. Fig. 14 shows a sample data and computation card.

10.10 *Weight and Moisture Content*—See 8.8.

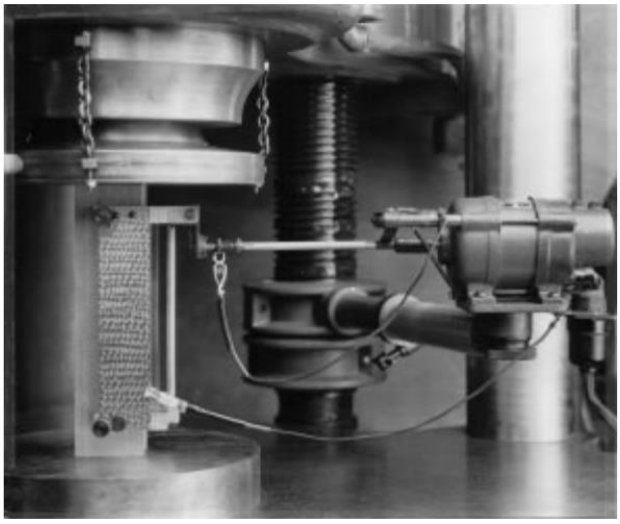


FIG. 8 Compression-Parallel-to-Grain Test Assembly Using an Automatic Type of Compressometer to Measure Deformations (The wire in the lower right-hand corner connects the compressometer with the recording unit.)

FIG. 9 Compression-Parallel-to-Grain Test Assembly Showing Method of Measuring Deformations by Means of Roller-Type Compressometer

## 11. Toughness

11.1 A single-blow impact test on a small specimen is recognized as a valuable and desirable test. Several types of machines such as the Toughness, Izod and Amsler have been used, but insufficient information is available to decide whether one procedure is superior to another, or whether the results by the different methods can be directly correlated. If the Toughness machine is used, the following procedure has been found satisfactory. To aid in standardization and to facilitate comparisons, the size of the toughness specimen has been made equal to that accepted internationally.

11.2 *Size of Specimen*—The toughness tests shall be made on 0.79 by 0.79 by 11 in. (20 by 20 by 280 mm) specimens. The actual height and width at the center and the length shall be measured (see 22.2).

11.3 *Loading and Span*—Center loading and a span length of 9.47 in. (240 mm) shall be used. The load shall be applied to a radial or tangential surface on alternate specimens.

11.4 *Bearing Block*—An aluminum tup (Fig. 15) having a radius of ¾ in. (19 mm) shall be used in applying the load.

11.5 *Apparatus and Procedure*—Make the tests in a pendulum type toughness machine (Note 7) (See Fig. 15). Adjust the machine before test so that the pendulum hangs vertically, and adjust it to compensate for friction. Adjust the cable so that the load is applied to the specimen when the pendulum swings to 15° from the vertical, so as to produce complete failure by the time the downward swing is completed. Choose the weight position and initial angle (30, 45, or 60°) of the pendulum, so that complete failure of the specimen is obtained on one drop. Most satisfactory results are obtained when the difference between the initial and final angle is at least 10°.

NOTE 7—Many pendulum-type toughness machines are based on a design developed and used at the USDA Forest Products Laboratory in Madison, Wisconsin.

11.6 *Calculation*—The initial and final angle shall be read to the nearest 0.1° by means of the vernier (Fig. 15) attached to the machine (Note 8).

NOTE 8—See Fig. 16 for sample data and computation sheet for the toughness test.

The toughness shall then be calculated as follows:

$$T = wL(\cos A_2 - \cos A_1) \quad (1)$$

*Crushing*
This term shall be used when the plane of rupture is approximately horizontal.

*Wedge Split*
The direction of the split, that is whether radial or tangential, shall be noted.

*Shearing*
This term shall be used when the plane rupture makes an angle of more than 45 deg with the top of the specimen.

*Splitting*
This type of failure usually occurs in specimens having internal defects prior to test and shall be the basis for culling the specimen.

*Compression and Shearing Parallel to Grain*
This failure usually occurs in cross-grained pieces and shall be the basis for culling the specimen.

*Brooming or End-Rolling*
This type of failure is usually associated with either an excess moisture content at the ends of the specimen, improper cutting of the specimen, or both. This is not an acceptable type of failure and usually is associated with a reduced load. Consideration should be given to remedial conditions when this type of failure is observed.

**FIG. 10 Types of Failures in Compression**

where:

$T$ = toughness (work per specimen, in. ·lbf (Nm),
$w$ = weight of pendulum, lbf (N),
$L$ = distance from center of the supporting axis to center of gravity of the pendulum, in. (m),
$A_1$ = initial angle (Note 9), degrees, and
$A_2$ = final angle the pendulum makes with the vertical after failure of the test specimen, degrees.

NOTE 9—Since friction is compensated for in the machine adjustment, the initial angle may be regarded as exactly 30, 45, or 60°, as the case may be.

11.7 *Weight and Moisture Content*—The specimen shall be weighed immediately before test, and after test a moisture section approximately 2 in. (50 mm) in length shall be cut from the specimen near the failure (see 21.1 and 22.1).

## 12. Compression Perpendicular to Grain

12.1 *Size of Specimens*—The compression-perpendicular-to-grain tests shall be made on 2 by 2 by 6 in. (50 by 50 by 150 mm) specimens. The actual height, width, and length shall be measured (see 22.2).

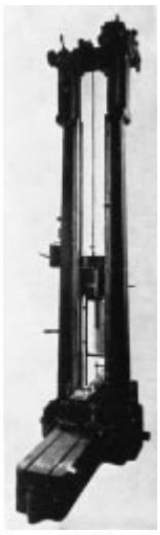


**FIG. 11 Hatt-Turner Impact Machine, Illustrating Method of Conducting Impact Bending Test**

**FIG. 12 Sample Drum Record of Impact Bending Test**

12.2 *Loading*—The load shall be applied through a metal bearing plate 2 in. (50 mm) in width, placed across the upper surface of the specimen at equal distances from the ends and at right angles to the length (Fig. 17). The actual width of the bearing plate shall be measured (see 22.2).

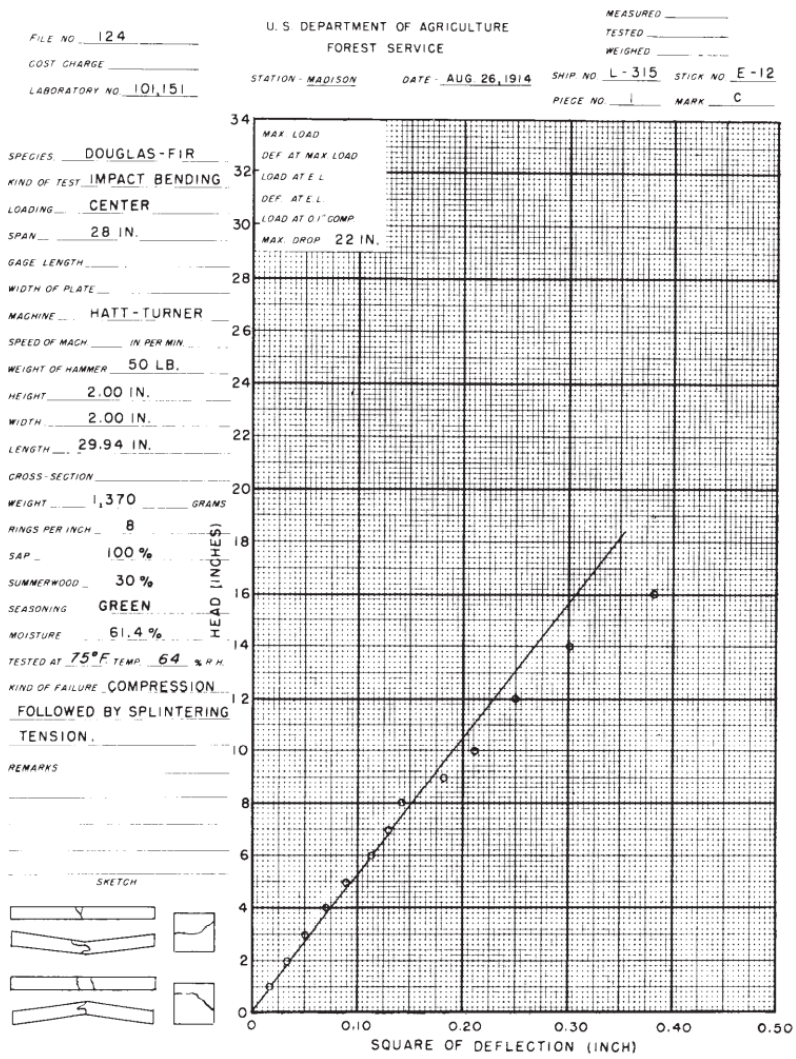



**FIG. 13 Sample Data Sheet for Impact Bending Test**

12.3 *Placement of Growth Rings*—The specimens shall be placed so that the load will be applied through the bearing plate to a radial surface.

12.4 *Speed of Testing*—The load shall be applied continuously throughout the test at a rate of motion of the movable crosshead of 0.012 in. (0.305 mm)/min (see 22.3).

12.5 *Load-Compression Curves*:

12.5.1 Load-compression curves (Note 10) shall be taken for all specimens up to 0.1 in. (2.5 mm) compression, after which the test shall be discontinued. Compression shall be measured between the loading surfaces.

NOTE 10—See Fig. 18 for a sample compression-perpendicular-to-grain data sheet form.

12.5.2 Deflection readings shall be taken to 0.0001 in. (0.002 mm).

12.6 *Weight and Moisture Content*—The specimen shall be weighed immediately before test, and after test a moisture section approximately 1 in. (25 mm) in length shall be cut adjacent to the part under load (see 21.1 and 22.1).

IMPACT BENDING

L-315 (Ship. No.) F-12 (Stock No.) 101151 (Lab. No.)
7 (Piece No.) C (Mark) Station MADISON Date Aug. 20, 1914 124 (Project No.)
Species Douglas Fir Grade Clear Seasoning Green
Rings 8 Sap 100 % Summerwood 30 % Moisture 61.4 %
Hammer 50 lbs. Span 28 in. Length 29.94 in. Height 2.00 in. Width 2.00 in. Weight 1370 g.

| Drop No. | Head. | Def. | Def² | Set. | Drop No. | Head. | Def. | Def² | Set. | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1.0 | 0.13 | 0.017 | | 11 | 12.0 | 0.50 | 0.250 | | Sp. Gr. (at test), | 0.698 |
| 2 | 2.0 | 0.18 | 0.032 | | 12 | 14.0 | 0.55 | 0.302 | | Sp. Gr. (oven dry), | 0.432 |
| 3 | 3.0 | 0.22 | 0.048 | | 13 | 16.0 | 0.62 | 0.384 | | P. S. of E. L., | 10 610 |
| 4 | 4.0 | 0.26 | 0.068 | | 14 | 18.0 | 0.67 | 0.593 | | M. of E., | 1776 |
| 5 | 5.0 | 0.30 | 0.090 | | 15 | | | | | E. Resil., | 3.51 |
| 6 | 6.0 | 0.34 | 0.116 | | 16 | | | | | Max. Drop, | 22 in. |
| 7 | 7.0 | 0.36 | 0.130 | | 17 | | | | | s, | 0.010 |
| 8 | 8.0 | 0.38 | 0.144 | | 18 | | | | | H | 7.88 |
| 9 | 9.0 | 0.43 | 0.185 | | 19 | | | | | Δ | 0.39 |
| 10 | 10.0 | 0.46 | 0.212 | | 20 | | | | | | |

Failure: Compression Followed by Splintering Tension.

FIG. 14 Sample Data and Computation Card for Impact Bending Test

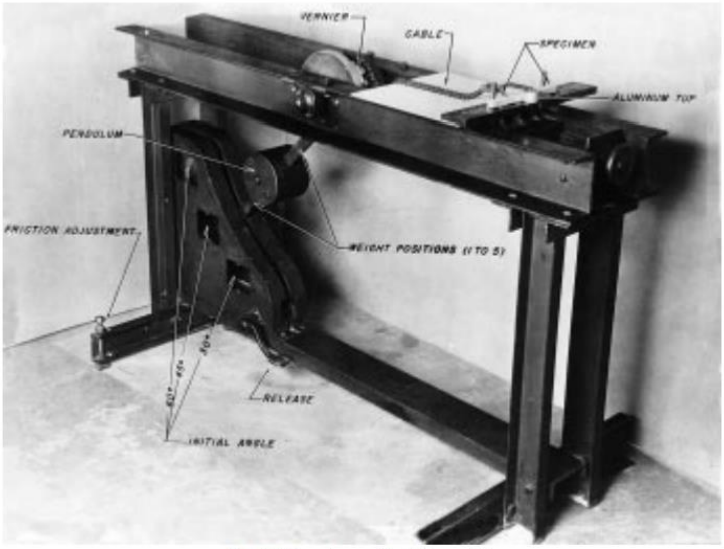



FIG. 15 Toughness Test Assembly

## 13. Hardness

13.1 *Size of Specimens*—The hardness tests shall be made on 2 by 2 by 6 in. (50 by 50 by 150 mm) specimens. The actual cross-sectional dimensions and length shall be measured (see 22.2).

13.2 *Procedure*—Use the modified ball test with a "ball" 0.444 in. (11.3 mm) in diameter for determining hardness (Fig. 19). The projected area of the ball on the test specimen is 1 $cm^2$. Record the load at which the ball has penetrated to one half its diameter, as determined by an electric circuit indicator or by the tightening of the collar against the specimen.

13.3 *Number of Penetrations*—Two penetrations shall be made on a tangential surface, two on a radial surface, and one on each end. The choice between the two radial and between the two tangential surfaces shall be such as to give a fair average of the piece. The penetrations shall be far enough from the edge to prevent splitting or chipping (Note 11).

NOTE 11—See Fig. 20 for a sample data and computation sheet for hardness test.

13.4 *Speed of Testing*—The load shall be applied continuously throughout the test at a rate of motion of the movable crosshead of 0.25 in. (6 mm/min) (see 22.3).

TOUGHNESS

STATION - Madison
SPECIES PACIFIC SILVER FIR SHIPMENT NO 1,651
PROJECT Str. IL SEASONING GREEN MEASURED BY
COST CHARGE 01-3-005 SPAN 9.47 IN. WEIGHED BY
LABORATORY NOS. 268,779A-806A MACHINE NO. 4,715 TESTED BY
DATE FEB. 1, 1950 TEMP. 75 °F. REL. HUMIDITY 64 %

| STICK NO. | LAB. NO. | DIMENSIONS L" x H" x W" | WEIGHT GM. | MOIST. % | SP. GR. | POSITION OF RINGS * RAD. | POSITION OF RINGS * TANG. | WEIGHT | INITIAL ANGLE ° | FINAL ANGLE ° | FINAL ANGLE ' | TOUGHNESS INCH-POUNDS | REMARKS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | 3 | 45 | | | | |
| 22E-3-d-1 | 785A | 11.02 x .794 x .797 | 53.80 | 32.0 | .357 | v | | | | 32 | 30 | 143.8 | |
| 2 | 786A | 11.02 x .789 x .790 | 52.54 | 31.8 | .354 | | v | | | 31 | 56 | 149.7 | |
| 22E-5-c-1 | 787A | 11.02 x .792 x .795 | 53.56 | 35.7 | .347 | v | | | | 33 | 10 | 136.8 | |
| 2 | 788A | 11.02 x .794 x .795 | 53.00 | 39.6 | .333 | | v | | | 34 | 4 | 127.6 | |

* "RAD" LOAD APPLIED TO RADIAL FACE; "TANG" LOAD APPLIED TO TANGENTIAL FACE

**FIG. 16 Sample Data and Computation Sheet for Toughness Test**

13.5 *Weight and Moisture Content*—The specimen shall be weighed immediately before the test, and after the test a moisture section approximately 1 in. (25 mm) in length shall be cut (see 21.1 and 22.1).

## 14. Shear Parallel to Grain

14.1 This section describes one method of making the shear-parallel-to-grain test that has been extensively used and found satisfactory.

14.2 *Size of Specimens*—The shear-parallel-to-grain tests shall be made on a 2 by 2 by 2-½in. (50 by 50 by 63 mm) specimens notched in accordance with Fig. 21 to produce failure on a 2 by 2 in. (50 by 50 mm) surface. The actual dimensions of the shearing surface shall be measured (see 22.2).

14.3 *Procedure*—Use a shear tool similar to that illustrated in Fig. 22, providing a ⅛ in. (3 mm) offset between the inner edge of the supporting surface and the plane of the adjacent edge of the loading surface. Apply the load to and support the specimen on end-grain surfaces. Take care in placing the specimen in the shear tool to see that the crossbar is adjusted, so that the edges of the specimen are vertical and the end rests evenly on the support over the contact area. Observe the maximum load only.

14.4 *Speed of Testing*—The load shall be applied continuously throughout the test at a rate of motion of the movable crosshead of 0.024 in. (0.6 mm)/min (see 22.3).

14.5 *Test Failures*—The failure shall be sketched on the datasheet (Note 12). In all cases where the failure at the base of the specimen extends back onto the supporting surface, the test shall be culled.

NOTE 12—See Fig. 23 for a sample data and computation sheet for the tangential-shear-parallel-to-grain test.

14.6 *Moisture Content*—The portion of the test piece that is sheared off shall be used as a moisture specimen (see 21.1 and 22.1).

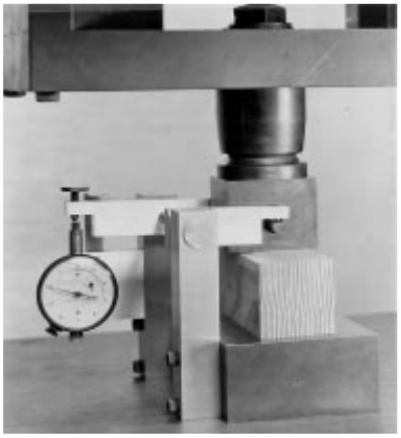


FIG. 17 Compression-Perpendicular-to-Grain Test Assembly Showing Method of Load Application and Measurement of Deformation by Means of Averaging-Type Compressometer

## 15. Cleavage

15.1 *Size of Specimens*—The cleavage tests shall be made on specimens of the form and size in accordance with Fig. 24. The actual width and length at minimum section shall be measured (see 22.2).

15.2 *Procedure*—The specimens shall be held during test in grips as shown in Figs. 25 and 26. Observe the maximum load only.

15.3 *Speed of Testing*—The load shall be applied continuously throughout the test at a rate of motion of the movable crosshead of 0.10 in. (2.5 mm)/min (see 22.3).

15.4 *Sketch of Failure*—The failure shall be sketched on the data sheet (Note 13).

NOTE 13—See Fig. 27 for a sample data and computation sheet for the cleavage test.

15.5 *Moisture Content*—One of the pieces remaining after failure, or a section split along the surface of failure, shall be used as a moisture specimen (see 21.1 and 22.1).

## 16. Tension Parallel to Grain

16.1 One method of determining the tension-parallel-to-grain strength of wood is given in the following procedure.

16.2 *Size of Specimens*—The tension-parallel-to-grain tests shall be made on specimens of the size and shape in accordance with Fig. 28. The specimen shall be so oriented that the direction of the annual rings at the critical section on the ends of the specimens, shall be perpendicular to the greater cross-sectional dimension. The actual cross-sectional dimensions at minimum section shall be measured (see 22.2).

16.3 *Procedure*:

16.3.1 Fasten the specimen in special grips (Fig. 29). Deformation shall be measured over a 2 in. (50 mm) central gage length on all specimens. Take load-extension readings until the proportional limit is passed.

16.3.2 Read deformations to 0.0001 in. (0.002 mm).

16.3.3 Fig. 29 illustrates gripping devices and a type of extensometer that have been found satisfactory.

16.4 *Speed of Testing*—The load shall be applied continuously throughout the test at a rate of motion of the movable crosshead of 0.05 in (1mm)/min (see 22.3).

16.5 *Sketch of Failure*—The failure shall be sketched on the data sheet (Note 14).

NOTE 14—See Fig. 30 for a sample tension-parallel-to-grain-data and computation sheet.

16.6 *Moisture Content*—A moisture section about 3 in. (76 mm) in length shall be cut from the reduced section near the failure (see 21.1 and 22.1).

## 17. Tension Perpendicular to Grain

17.1 *Size of Specimens*—The tension-perpendicular-to-grain tests shall be made on specimens of the size and shape in accordance with Fig. 31. The actual width and length at minimum sections shall be measured (see 22.2).

17.2 *Procedure*—Fasten the specimens during test in grips as shown in Figs. 32 and 33. Observe the maximum load only.

17.3 *Speed of Testing*—The load shall be applied continuously throughout the test at a rate of motion of the movable crosshead of 0.10 in. (2.5 mm)/min (see 22.3).

17.4 *Sketch of Failure*—The failure shall be sketched on the data sheet (Note 15).

NOTE 15—See Fig. 34 for a sample data and computation sheet for the tension-perpendicular-to-grain test.

17.5 *Moisture Content*—One of the pieces remaining after failure or a section split along the surface of failure, shall be used as a moisture specimen (see 21.1 and 22.1).

## 18. Nail Withdrawal

18.1 *Nails*—Nails used for withdrawal tests shall be 0.0985 in. (2.5 mm) in diameter (Note 16). Bright diamond-point nails shall be used. All nails shall be cleaned before use to remove any coating or surface film that may be present as a result of manufacturing operations. Each nail shall be used once.

NOTE 16—A fivepenny common nail meets this requirement. If difficulty is experienced with high-density woods in pulling the nails without breaking the heads, a sevenpenny cement-coated sinker nail with coating removed by use of a suitable solvent, may be used.

18.2 *Preparation of Specimens*—Nails shall be driven at right angles to the face of the specimen to a total penetration of 1¼ in. (32 mm). Two nails shall be driven on a tangential surface, two on a radial surface, and one on each end. The choice between the two radial and two tangential surfaces shall be such as to give a fair average of the piece. On radial and tangential faces, the nails shall be driven a sufficient distance from the edges and ends of the specimen to avoid splitting. In general, nails should not be driven closer than ¾ in. (19 mm) from the edge or 1½ in. (38 mm) from the end of a piece. The two nails on a radial or tangential face should not be driven in line with each other or less than 2 in. (50 mm) apart.

18.3 *Procedure*—Withdraw all six nails in a single specimen immediately after driving. Fasten the specimens during the test in grips as shown in Figs. 35 and 36. Observe the maximum load only (Note 16).

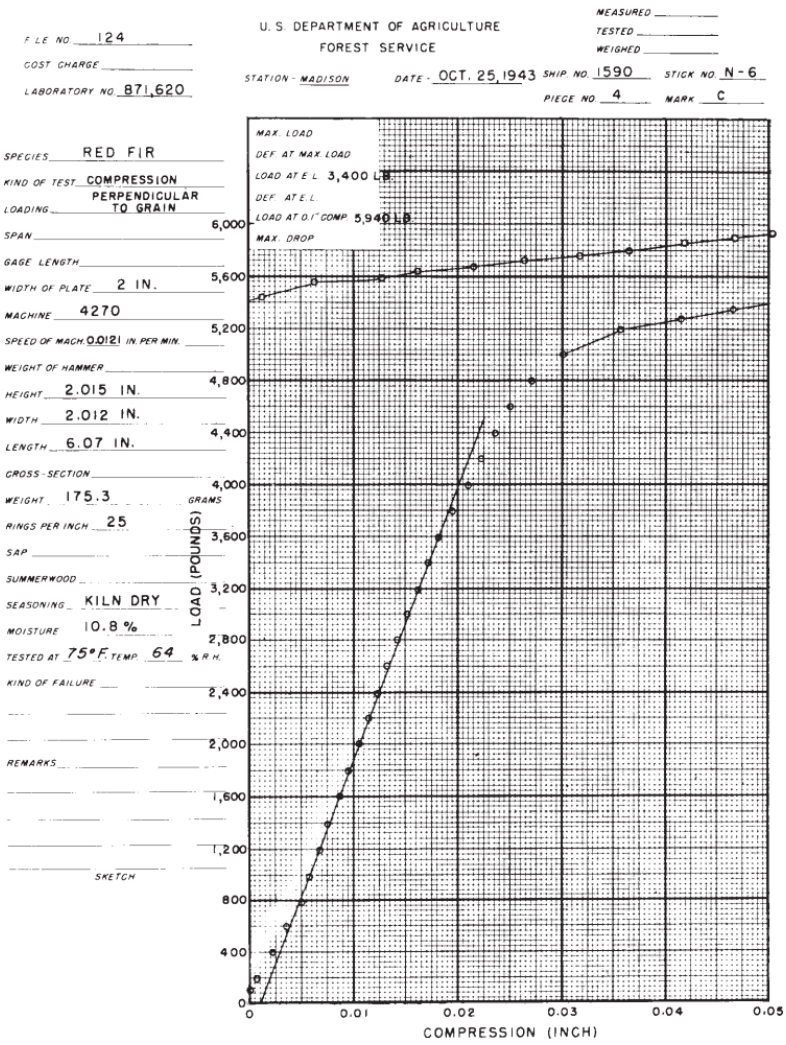



**FIG. 18 Sample Data Sheet for Compression-Perpendicular-to-Grain Test**

NOTE 17—See Fig. 37 for sample nail-withdrawal test data sheet form.

18.4 *Speed of Testing*—The load shall be applied continuously throughout the test at a rate of motion of the movable crosshead of 0.075 in. (2 mm)/min (see 22.3).

18.5 *Weight and Moisture Content*—The specimen shall be weighed immediately before driving the nails. After the test, a moisture section approximately 1 in. (25 mm) in length shall be cut from specimen (see 21.1 and 22.1).

## 19. Specific Gravity and Shrinkage in Volume (Note 17)

NOTE 18—Other methods of determining specific gravity using specimens of different shape, size, and moisture content are found in Test Methods D 2395.

19.1 *Size of Specimens*—The specific gravity and shrinkage in volume tests shall be made on green 2 by 2 by 6 in. (50 by 50 by 150 mm) specimens. The actual cross-sectional dimensions and length shall be measured (see 22.2).

19.2 *Procedure*:

19.2.1 Obtain both specific gravity and shrinkage-in-volume determinations on the same specimen. Make these determinations at approximately 12 % moisture content and at the oven-dry condition (Test Methods D 2395).

19.2.2 A carbon impression of the end of the green specimen may be made on the back of the data sheet (Note 18). In like manner, a carbon impression of the same end may be made after the specimen has been conditioned.

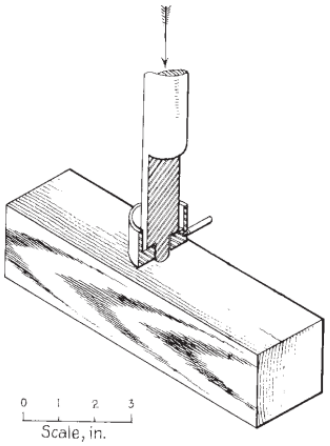



**FIG. 19 Diagrammatic Sketch of Method of Conducting Hardness Test**

NOTE 19—See Fig. 38 for a sample data and computation sheet for the specific gravity and shrinkage-in-volume test.

19.2.3 Weigh the specimen when green (see 22.1) and determine the volume by the immersion method in accordance with the procedures of Test Methods D 2395.

19.2.4 Open-pile the green specimens after immersion and allow them to air-season under room conditionss to a uniform moisture content of approximately 12 %. The specimens should then be weighed and the volume determined by the immersion method.

19.2.5 Then, open-pile the specimens used for specific gravity and shrinkage determinations at 12 % moisture content, or duplicate specimens on which green weight and volume measurements have been made prior to conditioning to approximately 12 % moisture content in an oven. Dry at 103 ± 2°C until approximately constant mass is reached (Test Methods D 4442).

19.2.6 After oven-drying, weigh the specimens (see 22.1) and while still warm, immerse them in a hot paraffin bath, taking care to remove them quickly to ensure a thin coating.

19.2.7 Determine the volume of the paraffin-coated specimen by immersion as before.

19.2.8 Fig. 39 illustrates the apparatus used in determining the specific gravity and shrinkage in volume. The use of an automatic balance will facilitate increased rapidity and accuracy of measurements.

## 20. Radial and Tangential Shrinkage

20.1 *Size of Specimens*—The radial and tangential shrinkage determinations shall be made on green 1 by 4 by 1 in. (25 by 100 by 25 mm) specimens cut from 1 by 4-in. (25 by 100-mm) boards, edge grain and flat grain, respectively.

20.2 *Initial Measurement*—The length of all specimens shall be measured.

20.3 *Weight*—The specimen shall be weighed when green and after subsequent oven-drying (see 21.1).

20.4 *Drying*:

20.4.1 The green specimens shall be open-piled and allowed to air-season under room conditions to a uniform moisture content of approximately 12 %.

20.4.2 After weighing and measuring, the specimens shall then be open-piled in an oven and dried at 103 ± 2°C until approximately constant mass is attained (Test Methods D 4442).

20.5 *Final Measurement*—Measurements of mass and length shall be made on the oven-dry specimens (see Note 18).

NOTE 20—See Fig. 40 for a sample data and computation sheet for the radial and tangential-shrinkage test.

20.6 *Method of Measurement*—Fig. 41 illustrates the method of making the radial and tangential shrinkage measurements. An ordinary micrometer of required accuracy is suitable for this work (see 22.2).

## 21. Moisture Determination

21.1 *Selection*—The sample for moisture determinations of each test specimen shall be selected as described for each test.

21.2 *Weighing*—Immediately after obtaining the moisture sample, all loose splinters shall be removed and the sample shall be weighed (see 22.1).

21.3 *Drying*—The moisture samples shall be open-piled in an oven and dried at a temperature of 103 ± 2°C until approximately constant mass is attained, after which the oven-dry mass shall be determined.

21.4 *Moisture Content*—The loss in mass, expressed in percent of the oven-dry mass as determined, shall be considered the moisture content of the specimen.

## 22. Mass and Permissible Variations

22.1 *Mass*—The mass of test specimens and of moisture samples shall be determined to an accuracy of not less than 0.2 %.

22.2 *Measurements*—Measurements of test specimens shall be made to an accuracy of not less than 0.3 %, except that in no case shall the measurements be made to less than 0.01 in. (0.25 mm). However, measurements of radial and tangential shrinkage specimens shall be made to the nearest 0.001 in. (0.02 mm).

22.3 *Testing Machine Speeds*—The testing machine speed used should not vary by more than 25 % from that specified for a given test. If the specified speed cannot be obtained, the speed used shall be recorded on the data sheet. The crosshead speed shall mean the free-running or no-load speed of crosshead for testing machines of the mechanical drive type and the loaded crosshead speed for testing machines of the hydraulic loading type.

## 23. Calibration

23.1 All apparatus used in obtaining data shall be calibrated at sufficiently frequent intervals to ensure accuracy (Practices E 4).

## 24. Precision and Bias

24.1 Statements of precision and bias for the tests have not yet been developed.

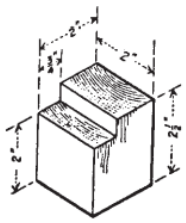
HARDNESS

STATION -- Madison

SPECIES PACIFIC SILVER FIR — SHIPMENT NO. 1,651
PROJECT Str. 1L — SEASONING GREEN — MEASURED BY
COST CHARGE 01-3-005 — MACHINE SPEED 0.244 — WEIGHED BY
LABORATORY NOS. 268,281A-290A — MACHINE NO. 4,271 — TESTED BY
DATE JAN. 31, 1951 — TEMP. 75 °F REL. HUMIDITY 64 %

| STICK NO. | DIMENSIONS L" x H" x W" | WEIGHT GM. | MOIST. % | SP. GR | HARDNESS RADIAL SURFACE LB. | HARDNESS TANGENTIAL SURFACE LB. | HARDNESS END SURFACE LB. | REMARKS | SKETCH |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 23-N-7-d | 6.02 x 1.996 x 1.994 | 241.3 | 47.5 | .416 | 530 | 470 | 465 | | |
| | | | | | 500 | 515 | 530 | | |
| | | | | AVERAGE | 515 | 492 | 498 | | |
| | | | | AVERAGE RADIAL AND TANGENTIAL | 504 | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | AVERAGE | | | | | |
| | | | | AVERAGE RADIAL AND TANGENTIAL | | | | | |
| 23-E-8-c | 6.04 x 1.992 x 1.992 | 273.3 | 71.1 | .406 | 370 | 455 | 510 | | |
| | | | | | 415 | 435 | 555 | | |
| | | | | AVERAGE | 392 | 445 | 532 | | |
| | | | | AVERAGE RADIAL AND TANGENTIAL | 418 | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | AVERAGE | | | | | |
| | | | | AVERAGE RADIAL AND TANGENTIAL | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | AVERAGE | | | | | |
| | | | | AVERAGE RADIAL AND TANGENTIAL | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | AVERAGE | | | | | |
| | | | | AVERAGE RADIAL AND TANGENTIAL | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | AVERAGE | | | | | |
| | | | | AVERAGE RADIAL AND TANGENTIAL | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | AVERAGE | | | | | |
| | | | | AVERAGE RADIAL AND TANGENTIAL | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | AVERAGE | | | | | |
| | | | | AVERAGE RADIAL AND TANGENTIAL | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | AVERAGE | | | | | |
| | | | | AVERAGE RADIAL AND TANGENTIAL | | | | | |

**FIG. 20 Sample Data and Computation Sheet for Hardness Test**




| Metric Equivalents | | | |
|---|---|---|---|
| in. | ¾ | 2 | 2½ |
| mm | 20 | 50 | 63 |

**FIG. 21 Shear-Parallel-to-Grain Test Specimen**

## 25. Keywords

25.1 clear specimens; small clear specimens; timber; wood

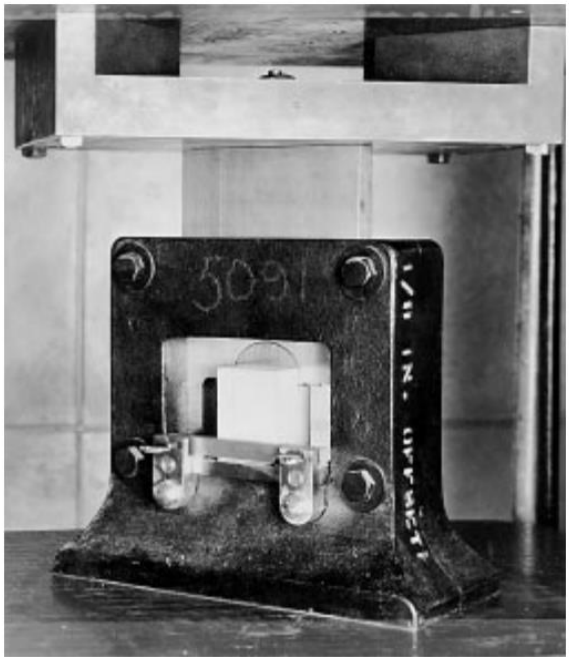


FIG. 22 Shear-Parallel-to-Grain Test Assembly Showing Method of Load Application Through Adjustable Seat to Provide Uniform Lateral Distribution of Load

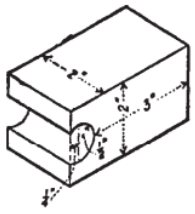
SHEAR

STATION - Madison

SPECIES PACIFIC SILVER FIR — SHIPMENT NO. 1,651
PROJECT Str. IL — SEASONING GREEN — MEASURED BY
COST CHARGE 01-3-005 — MACHINE SPEED 0.0215 — WEIGHED BY
LABORATORY NOS. 267,024A-029A — MACHINE NO. 4,271 — TESTED BY
DATE JAN. 16, 1951 — TEMP. 75 °F. REL. HUMIDITY 64 %

| STICK NO. | SHEARING SURFACE | SHEARING AREA L" X W" | MAXIMUM LOAD LB. | SHEARING STRENGTH P.S.I. | MOISTURE CONTENT % | REMARKS | SKETCH |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 22-N-2-d | R. | 2.016 x 2.000 | 2770 | 687 | 40.1 | | |
| 22-N-6-d | T. | 2.020 x 1.998 | 2775 | 688 | 41.1 | | |

FIG. 23 Sample Data and Computation Sheet for Shear-Parallel-to-Grain Test




| Metric Equivalents | | | | |
|---|---|---|---|---|
| in. | ¼ | ½ | 2 | 3 |
| mm | 6 | 13 | 50 | 76 |

FIG. 24 Cleavage Test Specimen

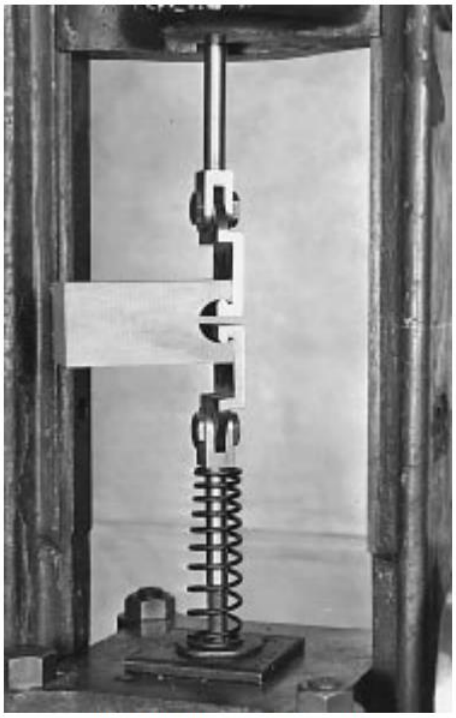
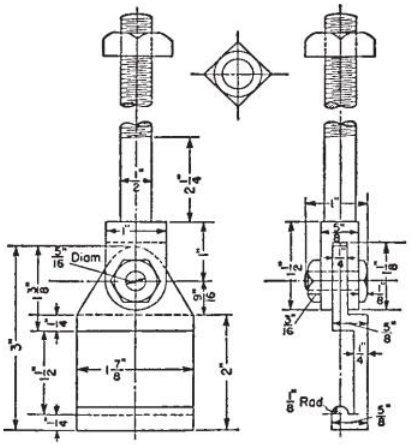


FIG. 25 Cleavage Test Assembly




NOTE 1—Two pieces included in one set:
One piece with shank 8 in. long.
One piece with shank 5½ in. long.

Metric Equivalents

| in. | mm | in. | mm |
|---|---|---|---|
| ⅛ | 3 | 1⅜ | 35 |
| 3⁄16 | 4.8 | 1½ | 38 |
| ¼ | 6 | 1⅞ | 48 |
| 5⁄16 | 8 | 2 | 50 |
| ½ | 13 | 2¼ | 57 |
| 9⁄16 | 14 | 3 | 76 |
| ⅝ | 16 | 5½ | 140 |
| 1 | 25 | 8 | 200 |
| 1⅛ | 28 | | |

FIG. 26 Design Details of Grips for Cleavage Test

CLEAVAGE

STATION - Madison

SPECIES PACIFIC SILVER FIR SHIPMENT NO. 1,651

PROJECT Str. 1L SEASONING GREEN MEASURED BY

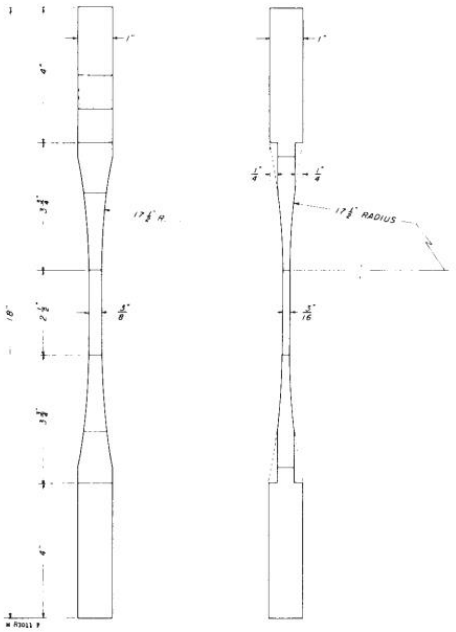
COST CHARGE 01-3-005 MACHINE SPEED 0.1110 WEIGHED BY

LABORATORY NOS. 267,036A-041A MACHINE NO. 4269 TESTED BY

DATE JAN. 17, 1951 TEMP. 75 °F. REL. HUMIDITY 64%

| STICK NO. | CLEAVAGE SURFACE | CLEAVAGE AREA L" X W" | MAXIMUM LOAD LB. | LOAD PER INCH OF WIDTH LB. | MOISTURE CONTENT % | REMARKS | SKETCH |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 22-N-6-d | R. | 3.03 X 2.005 | 315 | 157 | 36.9 | | |
| 22-N-6-d | T. | 3.03 X 2.007 | 330 | 165 | 38.5 | | |

FIG. 27 Sample Data and Computation Sheet for Cleavage Test




Metric Equivalents

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| in. | 3/16 | 1/4 | 3/8 | 1 | 2½ | 3¾ | 4 | 17½ | 18 |
| mm | 4.8 | 6.3 | 9.5 | 25 | 63 | 95 | 100 | 444 | 460 |

**FIG. 28 Tension-Parallel-to-Grain Test Specimen**

FIG. 29 Tension-Parallel-to-Grain Test Assembly Showing Grips and Use of 2 in. (50-mm) Gage Length Extensometer for Measuring Deformation

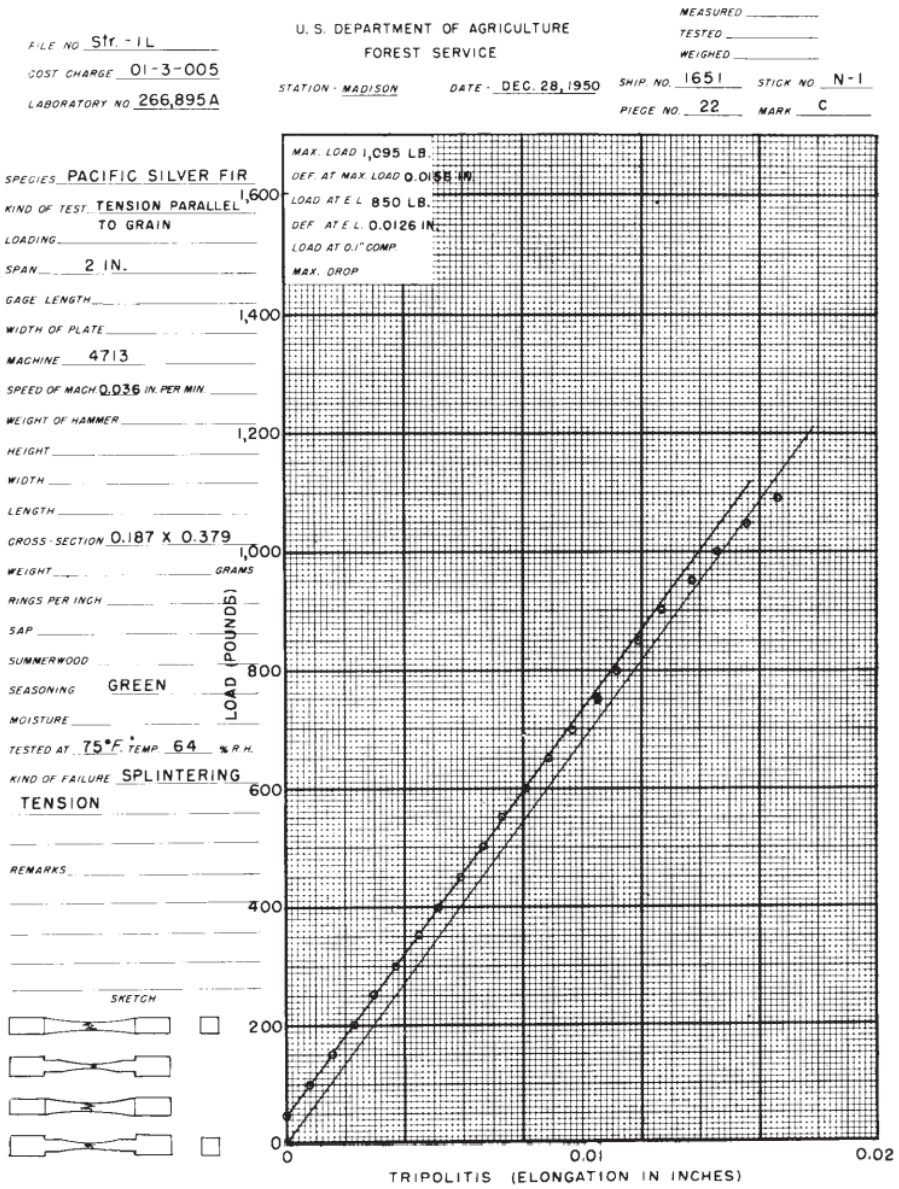
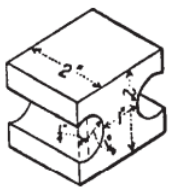



**FIG. 30 Sample Data Sheet for Tension-Parallel-to-Grain Test**




| Metric Equivalents | | | | |
|---|---|---|---|---|
| in | ¼ | ½ | 1 | 2 |
| mm | 6 | 13 | 25 | 50 |

**FIG. 31 Tension-Perpendicular-to-Grain Test Specimen**

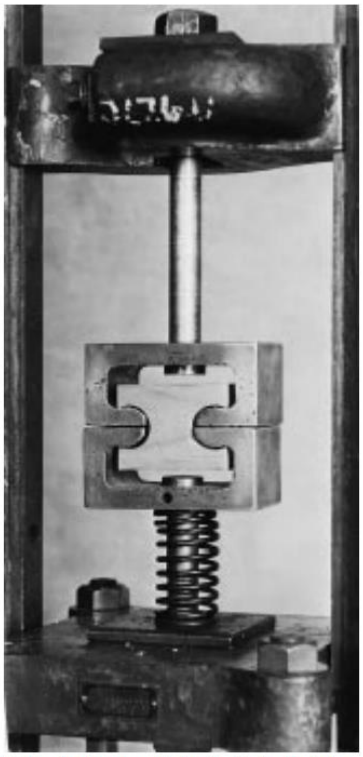
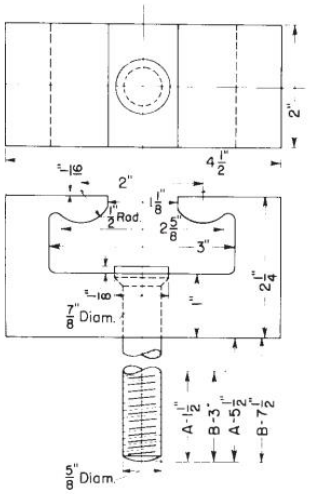


FIG. 32 Tension-Perpendicular-to-Grain Test Assembly




NOTE 1—Two pieces included in one set:
One marked A.
One marked B.
Scale-Full Size

Metric Equivalents

| in. | mm | in. | mm |
|---|---|---|---|
| 1/16 | 1.6 | 2 | 50 |
| 1/8 | 3.2 | 2 1/4 | 57 |
| 1/2 | 13 | 2 5/8 | 67 |
| 5/8 | 16 | 3 | 76 |
| 7/8 | 22 | 4 1/2 | 114 |
| 1 | 25 | 5 1/2 | 140 |
| 1 1/8 | 29 | 7 1/2 | 190 |
| 1 1/2 | 38 | | |

FIG. 33 Design Details of Grips for Tension-Perpendicular-to-Grain Test

TENSION PERPENDICULAR TO GRAIN

STATION - Madison

SPECIES PACIFIC SILVER FIR SHIPMENT NO. 1,651

PROJECT Str. IL SEASONING GREEN MEASURED BY

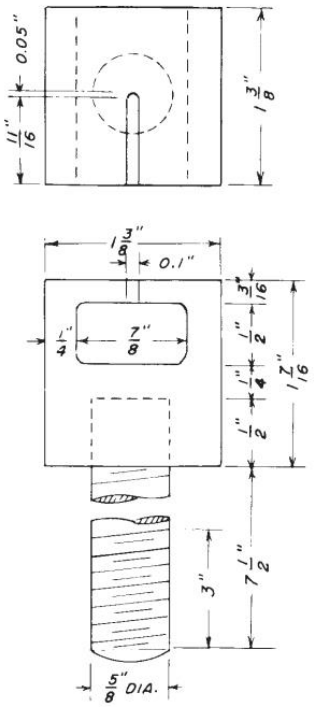
COST CHARGE 01-3-005 MACHINE SPEED 0.1080 WEIGHED BY

LABORATORY NOS. 267,048A-053A MACHINE NO. 4,713 TESTED BY

DATE JAN. 16, 1951 TEMP. 75 °F. REL. HUMIDITY 64 %

| STICK NO. | TENSION SURFACE | TENSION AREA L" x W" | MAXIMUM LOAD LB | TENSILE STRENGTH P.S.I. | MOISTURE CONTENT % | REMARKS | SKETCH |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 22-N-6-d | R. | 0.98 x 2.011 | 575 | 292 | 33.0 | | |
| 22-N-6-d | T. | 1.00 x 2.001 | 635 | 317 | 32.4 | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

**FIG. 34 Sample Data and Computation Sheet for Tension-Perpendicular-to-Grain Test**




Metric Equivalents

| in. | mm | in. | mm |
|---|---|---|---|
| 0.05 | 1.3 | 1 1/16 | 7.5 |
| 0.1 | 2.5 | 7/8 | 22 |
| 3/16 | 4.8 | 1 3/8 | 35 |
| 1/4 | 6.3 | 1 7/16 | 36 |
| 1/2 | 13 | 3 | 76 |
| 5/8 | 16 | 7 1/2 | 190 |

**FIG. 35 Design Details of Grip for Nail Withdrawal Test**

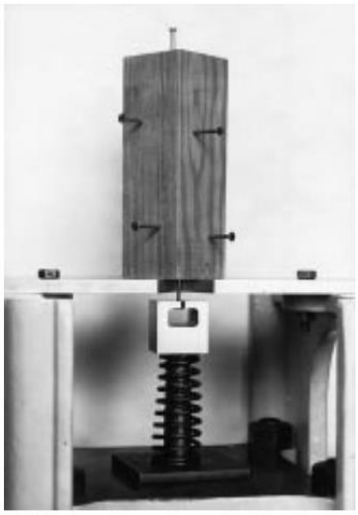


**FIG. 36 Nail Withdrawal Test Assembly Showing Specimen in Position for Withdrawal of Nail Driven in One End of the Specimen**

NAIL WITHDRAWAL

STATION - Madison

SPECIES PACIFIC SILVER FIR SHIPMENT NO. 1,651

PROJECT Str. 1 L SEASONING GREEN MEASURED BY

COST CHARGE 01-3-005 MACHINE SPEED 0.071 WEIGHED BY

LABORATORY NOS. 270,270A-278A MACHINE NO. 4269 TESTED BY

DATE FEB. 2, 1951 NAILS, TYPE 7d PLAIN (SINKER) DRIVEN 1 1/4" TEMP. 75 °F. REL. HUMIDITY 64 %

| STICK NO. | DIMENSIONS L" x H" x W" | WEIGHT GM | MOIST. % | SP. GR. | WITHDRAWAL LOADS: RADIAL SURFACE LB. | TANGENTIAL SURFACE LB. | END SURFACE LB. | REMARKS | SKETCH |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 23-N-5-C | 6.05 X 1.990 X 1.989 | 326.4 | 77.7 | .468 | 180 | 205 | 105 | | |
| | | | | | 175 | 200 | 110 | | |
| | | | | AVERAGE | 178 | 202 | 108 | | |
| 23-N-7-d | 6.02 X 1.996 X 1.994 | 241.3 | 47.5 | .416 | 180 | 175 | 110 | | |
| | | | | | 185 | 155 | 75 | | |
| | | | | AVERAGE | 182 | 165 | 92 | | |
| | | | | AVERAGE | | | | | |
| | | | | AVERAGE | | | | | |
| | | | | AVERAGE | | | | | |
| | | | | AVERAGE | | | | | |
| | | | | AVERAGE | | | | | |
| | | | | AVERAGE | | | | | |
| | | | | AVERAGE | | | | | |
| | | | | AVERAGE | | | | | |

FIG. 37 Sample Data and Computation Sheet for Nail Withdrawal Test

SPECIFIC GRAVITY AND VOLUMETRIC SHRINKAGE

SPECIES PACIFIC SILVER FIR STATION - Madison SHIPMENT NO. 1,651
PROJECT Str. IL MEASURED BY
COST CHARGE 01-3-005 WEIGHED BY
LABORATORY NOS. 267,060A-065A VOLUME BY
DATE

| STICK NO. | DIMENSIONS L" x H" x W" | SEASONING | DATE | RINGS PER INCH | SAP % | SUMMER-WOOD % | WEIGHT GM. | MOISTURE % | VOLUME C.C. | 1/ SPECIFIC GRAVITY | WEIGHT POUNDS PER CUBIC FOOT | VOLUMETRIC* SHRINKAGE % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 22-N-4-C | 6.05 X 2.001 X 2.002 | GREEN | 1-9-'51 | 18 | 0 | | 201.3 | 34.3 | 393.8 | .381 | | |
| | | OVEN-DRY | 6-19-'51 | | | | 149.9 | 0 | 332.1 | .451 | 28.1 | 15.7 |
| REMARKS | | AIR-DRY | 6-13-'51 | | | | 168.0 | 12.07 | 360.3 | .416 | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| REMARKS | | | | | | | | | | | | |
| 22-S-5-C | 6.03 X 2.004 X 2.001 | GREEN | 1-9-'51 | 17 | 0 | | 223.1 | 55.5 | 392.0 | .366 | | |
| | | OVEN-DRY | 6-19-'51 | | | | 143.5 | 0 | 334.2 | .429 | 26.8 | 14.7 |
| REMARKS | | AIR-DRY | 6-13-'51 | | | | 160.9 | 12.13 | 360.9 | .398 | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| REMARKS | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| REMARKS | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| REMARKS | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| REMARKS | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| REMARKS | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| REMARKS | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| REMARKS | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| REMARKS | | | | | | | | | | | | |

* BASED ON ORIGINAL VOLUME (GREEN, AIR-DRY OR KILN-DRY). NOTE: USE BACK OF SHEET FOR CARBON IMPRESSIONS.
/. BASED ON WEIGHT WHEN OVEN-DRY

**FIG. 38 Sample Data and Computation Sheet for Specific Gravity and Shrinkage-in-Volume Test**

FIG. 39 Specific Gravity and Shrinkage-in-Volume Test Set-Up

SHRINKAGE - RADIAL AND TANGENTIAL

SPECIES PACIFIC SILVER FIR STATION - Madison SHIPMENT NO. 1,651
PROJECT Str IL MEASURED BY
COST CHARGE 01-3-005 WEIGHED BY
LABORATORY NOS 266,857A-864A
DATE

| STICK NO. | NOMINAL SIZE L" X H" X W" | SHRINKAGE DIRECTION | SEASONING | DATE | RINGS PER INCH | SAP % | SUMMERWOOD % | WIDTH IN. | WEIGHT GM. | MOISTURE % | SHRINKAGE * % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 22-2-cd | 1 X 1 X 4 | R. | GREEN | 12/26/50 | 17 | 15 | | 3.997 | 35.50 | 52.5 | |
| | | | AIR-DRY | | | | | | | | |
| | | | OVEN-DRY | 4/6/51 | | | | 3.784 | 23.28 | | 5.3 |
| REMARKS | | | | | | | | | | | |
| 22-2-cd | 1 X 1 X 4 | T. | GREEN | 12/26/50 | 12 | 10 | | 3.995 | 40.00 | 77.8 | |
| | | | AIR-DRY | | | | | | | | |
| | | | OVEN-DRY | 4/6/51 | | | | 3.602 | 22.50 | | 9.8 |
| REMARKS | | | | | | | | | | | |
| | | | GREEN | | | | | | | | |
| | | | AIR-DRY | | | | | | | | |
| | | | OVEN-DRY | | | | | | | | |
| REMARKS | | | | | | | | | | | |
| | | | GREEN | | | | | | | | |
| | | | AIR-DRY | | | | | | | | |
| | | | OVEN-DRY | | | | | | | | |
| REMARKS | | | | | | | | | | | |
| | | | GREEN | | | | | | | | |
| | | | AIR-DRY | | | | | | | | |
| | | | OVEN-DRY | | | | | | | | |
| REMARKS | | | | | | | | | | | |
| | | | GREEN | | | | | | | | |
| | | | AIR-DRY | | | | | | | | |
| | | | OVEN-DRY | | | | | | | | |
| REMARKS | | | | | | | | | | | |
| | | | GREEN | | | | | | | | |
| | | | AIR-DRY | | | | | | | | |
| | | | OVEN-DRY | | | | | | | | |
| REMARKS | | | | | | | | | | | |
| | | | GREEN | | | | | | | | |
| | | | AIR-DRY | | | | | | | | |
| | | | OVEN-DRY | | | | | | | | |
| REMARKS | | | | | | | | | | | |
| | | | GREEN | | | | | | | | |
| | | | AIR-DRY | | | | | | | | |
| | | | OVEN-DRY | | | | | | | | |
| REMARKS | | | | | | | | | | | |
| | | | GREEN | | | | | | | | |
| | | | AIR-DRY | | | | | | | | |
| | | | OVEN-DRY | | | | | | | | |
| REMARKS | | | | | | | | | | | |

* BASED ON GREEN WIDTH.

**FIG. 40 Sample Data and Computation Sheet for Radial- and Tangential-Shrinkage Tests**

**FIG. 41 Radial- and Tangential-Shrinkage Test Assembly**

*ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.*

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.*

*This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).*

# ภาคผนวก 2

# มาตราฐาน JAS - 112 1996

## Japanese Agricultural Standard for Glued laminated timber

Establishment: Notification No. 1152, september 25, 2007, Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries

**Note : This is an unofficial translation, for your reference only.**

(Scope of Application)

Article 1. This standard shall apply to any general timber that is made of sawn boards or small squares with their grain direction roughly parallel to one another and glued together in the direction of thickness, width, and length (here after referred to as "glued laminated timber" or "glulam" for short).

(Definitions)

Article 2. In this standard, the terms given in the left column of the following table shall be defined as set forth in the right column of the same table.

| Term | Definition |
|---|---|
| Glued laminated timber for fixtures | Within the glued laminated timber category (glulam), those with unfinished surfaces, those with visible beautifully finished surfaces (including timbers that have undergone secondary adhesion), or those glulams with grooves or other work on the surface or with painted surfaces, which are mainly used for interior fixtures and structures. |
| Decorative glued laminated timber for fixtures | Among glulams, those with unfinished surfaces veneered for good appearance (including timbers underlaid with (at least one piece of) base board of less than 5 mm thick, to protect veneer, of which grain direction is parallel to that of the veneer, underlaid with at least one piece of veneer not more than 2 mm thick with grain direction perpendicular to that of the existing veneer or underlaid with at least one piece of plywood at least 3 mm thick) or those glulam with grooves or other work on the surface or with painted surfaces, which are mainly used for interior fixtures and structures. |
| Structural glued laminated timber | Among glulams, those made of graded sawn boards (including those glued and machined widthwise and those glued and joined lengthwise using a scarf joint or finger joint system) that are glued and laminated together so that their grain direction can be parallel to one another (including those timbers that have undergone secondary adhesion or with painted surfaces to protect against corrosion, etc.); these members are prepared to ensure the required strength for load-bearing members of structures (excluding decorative structural glued laminated timber posts). |
| Decorative structural glued laminated timber post | Among glulams, those that are not only made of graded sawn boards (including those glued and machined widthwise and those glued and joined lengthwise using scarf joints or a finger joint system) that are glued and laminated together, but also prepared with its unfinished surface veneered for good appearance (including those type of timbers underlaid with (at least one piece of) base board no greater than 5 mm thick, to protect veneer, of which grain direction is parallel to that of the veneer, underlaid with at least one piece of veneer (not more than 2 mm in thickness of which grain direction is perpendicular to that of the existing veneer or underlaid with at least one piece of plywood at least 3 mm thick), which are mainly used as columns in the construction of traditional Japanese post and beam structures (limited to members with a cross sectional side at least 90 mm but not more than 135 mm in length). |
| Short side (Width) | The shorter side in the cross section of a glulam. |
| Long side (Depth) | The longer side of the cross section of a glulam. However, if the cross section is square, this term refers to the side in the direction of lamination. |
| Length of timber | The length of the shortest line between a point on one butt end surface of a straight glulam to a point on the other butt end surface of the glulam. |
| Finished timber | Within the glued laminated timber for fixtures category, those that have been dimensionally finished by corrective cutting or surface machining. |
| Unfinished timber | Within the glued laminated timber for fixtures category, that has not been dimensionally finished. |
| Secondary adhesion | Within the glued laminated timber for fixtures category, this term refers to secondary gluing in the length-wise direction using finger joints between different glulams; for structural glued laminated timbers, this term refers to adhesions in the width direction or in the direction of lamination between different glulams that have been manufactured under identical conditions. |
| Lamina | This term refers to the material from which the glulam is composed or to one of its layers. |
| Unevaluated width-wise jointed lamina | Among laminae used for structural glued laminated timbers, laminae which is rectangular in shape and joined in the widthwise direction with an adhesive not specified in the "adhesion" section of Article 5 by Use Environment, or laminae that are joined in the widthwise direction without an adhesive. |

| | |
|---|---|
| Large dimension glulam | Within the structural glued laminated timber category, one having a shorter side (width) of not less than 15 cm in length and a cross-sectional area of at least 300 $cm^2$ |
| Medium dimension glulam | Within the structural glued laminated timber category, one having a short side (width) of at least 7.5 cm in length and a long side (depth) of at least 15 cm in length and does not otherwise fit in the large dimension category. |
| Small dimension glulam | Within the structural glued laminated timber category, one having a short side (width) less than 7.5 cm in length and a long side (depth) of less than 15 cm in length. |
| Mixed-grade composition glued laminated timber | A structural glued laminated timber comprised of laminae of different grades. When used for members requiring high flexural performance such as beams, the direction in which bending stress is applied is perpendicular to the direction of lamination. |
| Same-grade composition glued laminated timber | A structural glued laminated timber in which laminae are of the same quality. When composed of 2 or 3 laminae and used in an application requiring high flexural performance such as beams, the direction in which the bending stress is applied is parallel to the direction of lamination. |
| Symmetrical composition | Within the mixed-grade composition glulam, symetrical members are those in which the quality composition of laminae are positioned symmetrically about the central axis. |
| Specified symmetrical composition | Within the mixed-grade composition glulam, specified symmetrical members are those in which the quality composition of laminae are positioned symmetrically about the central axis and their bending performance has been prioritized. |
| Non-symmetrical composition | Within the mixed-grade composition glulam, non-symmetrical members are those in which the quality composition of laminae are positioned asymmetrically about the central axis. |
| Lamina of outermost layer | Within members of mixed grade composition, the lamina located within the outermost 1/16 of the member depth from either surface in the directionof lamination. |
| Lamina of outer layer | Within members of mixed grade composition, laminae other than the aforementioned outermost laminae used within a zone greater than 1/16 but less than 1/8 of the member depth from either surface in the lamination direction. |
| Lamina of inner layer | Within members of mixed grade composition, lamina used within a zone greater than 1/4 the member depth from either surface in the lamination direction. |
| Lamina of middle layer | Within members of mixed grade composition, one that is other than laminae of the outermost layer, laminae of the outer layer, and laminae of the inner layer. |
| Grading machine | A device used for measuring the Young's modulus of a lamina. |
| MSR (Machine Stress Rated) grading | A process for grading laminae whereby a grading machine measures the Young's moduolus of the laminae as it is transferred continuously along the production line in the lengthwise direction, and the bending strength or tensile strength of said laminae is verified to complete the grading process. |
| Machine stress grading | Quality segregatin of laminae using a mechanical grading system other than MSR. |
| Visual stress grading | This grading shall be the classification of lamina quality using lamina visual characteristics without using a grading machine. |
| Use Environment A | A use environment where the structural glued laminated timber's moisture content will exceed 19% continuously or intermittently; come in direct contact with weather; be exposed to high temperatures from the sun or other similar conditions for long periods; be required to have high adhesion performance even in the event of structural fires; and otherwise be required to have a high level of performance in use environments where load-bearing members for structures must meet the demands for water resistance, weather resistance, and heat resistance. |
| Use Environment B | A use environment where a structural glued laminated timber will occasionally exceed 19% moisture content; occasionally reach a high temperature by long-term exposure to solar heat or other similar conditions; be required to have the high adhesion performance even in the event of structural fires; and otherwise be required to have a standard level of performance in use environments where load-bearing members for structures must meet the demands for water resistance, weather resistance, and heat resistance. |
| Use Environment C | A use environment where a structural glued laminated timber will occasionally exceed 19% moisture content; occasionally reach a high temperature by long-term exposure to solar heat or other similar conditions; and otherwise be required to have a standard level of performance in use environments where load-bearing members for structures must meet the demands for water resistance, weather resistance, and heat resistance. |

(Standards for Glued Laminated Timber for Fixtures)

Article 3. The standards for glued laminated timbers for fixtures shall be as provided hereunder:

| Categories | | Standards | |
|---|---|---|---|
| | | Grade 1 | Grade 2 |
| Quality | Bonding quality | Results of immersion delamination tests specified in Item (1) in Section 3 of the Appendix shall indicate that except for the case of secondary adhesion, the delamination rate for both butt ends' surface is 10% or lower, and the sum of the length of delamination that occurs in the same glue line is not more than one-third of the length of said glue line. In addition, in the case of secondary adhesion, an average delamination rate for the cut surface shall be 10% or lower. Moreover, when two test specimens are used, the average delamination rate shall be the average of the two test specimens. When one test specimen is used, the delamination rate of said test specimen is the average delamination rate . | The same as left |
| | Moisture content | The results of moisture content tests specified in Item (5) of Section 3 of the Appendix shall indicate that an average of the moisture content of test specimens taken from the same sample glulam is 15% or less. | The same as left |
| | Formaldehyde emission amount | Regarding the formaldehyde emission test specified in Item (9) in Section 3 of the Appendix, the average value and maximum value of formaldehyde emissions for the sample glulams extracted according to Section 1 of the Appendix shall be less than or equal to the values in the table below depending on the performance class. This shall not apply, however, if a registered certification body or a registered foreign certification body affirms that such sample laminated timber is made with an adhesive that contains no formaldehyde. | |
| | Surface Quality | Shall meet Grade 1 "Surface Quality Criteria" set forth in the next section. | Shall meet Grade 2 "Surface Quality Criteria" set forth in the next section. |
| | Warping (straight timber only), bows and twisting | Deviation from a straight line shall not exceed 1 mm per meter of length of the glulam. | The same as left. |
| | Painting (timber with markings indicating paint processing only) | Permitted if there are no evident blemishes such as bubbles or irregular paint. | The same as left. |
| | Grooving, chamfering and cutting works | Well worked. | The same as left. |
| | Secondary adhesion | Any glued and joined portion between glulams in the length direction shall be of a finger joint system and have enough strength to be used for fixtures. Additionally, the finish of the adhesive shall be satisfactory and shall harmonize with the appearance of the glulam. | |
| | Dimensions | A difference between the marked and the measured dimensions shall be not exceed the values listed in the table below. (Unit: mm) | |

| Performance Class | Average value | Maximum value |
|---|---|---|
| F☆☆☆☆ | 0. 3mg／L | 0. 4mg／L |
| F☆☆☆ | 0. 5mg／L | 0. 7mg／L |
| F☆☆ | 1. 5mg／L | 2. 1mg／L |
| F☆S | 3. 0mg／L | 4. 2mg／L |

| Categories | | Difference between the marked and measured dimensions | |
|---|---|---|---|
| Shorter side and | Finished timber | +1. 0 | −0. 5 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | longer side | Unfinished timber | +3. 0 | −0 |
| | | Length | | + not limited | −0 |
| Marking | Items to be marked | 1 The following items shall be marked in block..<br>(1) Product name<br>(2) Name of wood species<br>(3) Visible surface<br>(4) Dimensions<br>(5) Formaldehyde emission amount (except for a case where markings set forth in 2 or 3 are performed)<br>(6) Name of manufacturer or supplier ( or importer for the imported products).<br>2 If the product is a coated timber and a registered certification body or registered foreign certification body acknowledges that the product has neither formaldehyde-containing adhesive nor formaldehyde-emitting paint, it may be marked that other than those matters set forth in 1, the product uses non-formaldehyde-containing adhesive and non-formaldehyde emitting paint.<br>3 If the product is not coated and a registered certification body or registered foreign certification body acknowledges that the product has no formaldehyde-containing adhesive and has non-formaldehyde emitting paint, it may be marked that, other than those matters set forth in 1, the product uses non-formaldehyde adhesive. | | | |
| | Marking method | 1.The items listed from (1) through (5) of the "Items to be marked" section shall be marked as prescribed below:<br>(1) Product name<br>a. Markings for a finished timber product shall state, "Glued laminated timber for fixtures"; markings for unfinished one shall state, "glued laminated timber for fixtures (unfinished)."<br>b. Markings for a coated product shall state, "glued laminated timber for fixtures (coated)."<br>c. For those products made for specific uses, the descriptions of a "glued laminated timber for fixtures," "glued laminated timber for fixtures (coated)," or "glued laminated timber for fixtures (unfinished)" shall be provided and followed by the specified use given in commonly accepted terms in parenthesis, e.g., "(Handrail)".<br>(2) Name of wood species<br>The names of wood species shall be arranged in order of the amount used and shall be indicated by the most common name.<br>(3) Visible surface grade<br>Visible surface grade 1, 2, 3, or 4, whichever is applicable, shall be indicated by letters, numbers, etc.<br>(4) Dimensions<br>Dimensions shall be given in units of millimeters, centimeters, or meters following any of the terms of "Short side," "Long side," and "Length of timber." However, for products which do not have a uniform cross-section through their full length or are molded and thus are difficult to specify their short side or long side, any of these dimensions may be left unmarked for straight timbers, and for other than straight timbers, the indication of "Length of timber" may be left unmarked. In this case, the term of "Short side," "Long side," or "Length of timber" shall be followed by the phrase of "Not applicable."<br>(5) Formaldehyde emission amount<br>A product belonging to the performance class "F☆☆☆☆," "F☆☆☆," "F☆☆," or "F☆S" shall be marked as "F☆☆☆☆," "F☆☆☆," "F☆☆," or "F☆S."<br>2. According to (2) of the preceding section "Items to be marked," if it is indicated that the product uses a non-formaldehyde adhesive and/or non-formaldehyde emitting paint, such product shall be marked as "Non-formaldehyde Adhesive and Non-formaldehyde Emitting Paint Used."<br>3. According to (3) of the preceding section, if it is indicated that the product uses a non-formaldehyde adhesive, such product shall be marked as "Non-formaldehyde Adhesive Used."<br>4. The matters specified in the preceding section shall be marked as prescribed in the Appendix, in a conspicuous place of each piece or unit of glulams. | | | |
| | Items prohibited from marking | The matters set forth below shall not be marked:<br>(1) Any term contradictory to the contents of the matter as specified in the preceding section of "Items to be marked," or<br>(2) Letters, pictures or other signs that may induce the misconception of the quality | | | |

2 The quality standards for visible surfaces set forth in the preceding section shall be as provided

| Category | Criteria | |
|---|---|---|
| | Grade 1 | Grade 2 |

| | | |
|---|---|---|
| Knots | 1 Knots shall be less than 10 mm in the maximum diameter.<br>2 Knot hole, rotten knot or loose knot shall not be permitted. | 1 Knots shall be less than 30 mm in the maximum diameter<br>2 Knot holes, rotten knots or loose knots shall not be permitted. |
| Resin pocket, resin streak, and bark | Permitted if very slight. | Permitted if slight. |
| Chips and flaws | Permitted if very slight. | Chips shall be 2 mm or less in thickness, 3 mm or less in width, 50 mm or less in length. No more than one chip is permitted. |
| Decay | Not permitted. | Permitted if the decay does not reach the woody part or is not perceptible enough to change the hardness of the wood and the decayed area is minimum. |
| Splits | Permitted if very slight. | Permitted if slight. |
| Discoloration and stains | Permitted if very slight. | Permitted if not conspicuous. |
| Holes | Permitted if very slight. | Permitted if not conspicuous. |
| Rough grain (Chipped grain) | Permitted if very slight. | Permitted if not conspicuous. |
| Open joints | Permitted if very slight. | Permitted if not conspicuous. |
| Repairs | Permitted if the color or grain matches the surrounding surface well, and the repaired area is flush with adjacent areas and is free of loose particles or indentations. | Permitted if the repaired area is flush with adjacent areas and is free of loose particles or indentations. |
| Other defects | Permitted if very slight. | Permitted if not conspicuous. |

(Note) 1 Any knot or repaired area within a groove cut on the surface of a glulam shall not be deemed as a defect unless it affects the appearance of the product.
2 The term “repair” shall refer to patching, plugging, or filling with synthetic resin, etc.

(Standards for Decorative Glued Laminated Timber for Fixtures)

Article 4. The standards for decorative glued laminated timbers for fixtures shall be as provided hereunder:

| | Category | Criteria | |
|---|---|---|---|
| | | Grade 1 | Grade 2 |
| Quality | Bonding quality | Results of the immersion delamination test specified in Item (1) of Section 3 of the Appendix shall indicate that the delamination rate for both butt end surfaces is 10% or lower, and the sum of the length of delamination that occurs in a single glue line is not more than one-third of the length of said glue line. | The same as left |
| | Moisture content | The results of moisture content test specified in Item (5) of Section 3 of the Appendix shall indicate that the average moisture content of the test specimens taken from the same sample glulam is 15% or lower. | The same as left |
| | Resistance to surface check | The results of tests for "Resistance to Surface Check" specified in Item (6) of Section 3 of the Appendix shall indicate that no cracks occur on the surface of the test specimen, or if cracks develop, they are minimal. | The same as left |
| | Formaldehyde emission amount | The same as specified in the table of Section 1 "Formaldehyde emission amount" of the preceding Article. | The same as left |
| | Quality of visible surfaces | Shall meet Grade 1 criteria noted in the "Standards for the Quality of Visible Surfaces" set forth in the next section. | Shall meet Grade 2 criteria noted in the "Standards for the Quality of Visible Surfaces" set forth in the next section. |
| | Painting (timber with markings indicating paint processing only) | Permitted if there are no blemishes evident such as bubbles or irregular paint. | The same as left |
| | Warping (straight timber only), bow and twist | The deviation from a straight line shall be less than 1 mm per meter of length of the glulam. However, for warping of door headers and door sills, the deviation from a straight line shall be less than 3 mm per meter of length ofthe glulam. | The same as left |
| | Grooving, chamfering and cutting works | Well worked. | The same as left |
| | Thickness of decorative veneer | 1. Shall be not less than 1.5 mm for door sills, stiles, and the top of a stair surface.<br>2. Shall be not less than 1.2 mm for posts.<br>3. For products other than door sills, stiles, the top of a stair surface, and posts decorative veneer shall be not less than 0.6 mm thick. | The same as left |
| | Dimensions | A difference between the marked and the measured dimensions shall be not less than the values listed in the table below. (Unit: mm) | |

| Categories | Difference between the marked and measured |
|---|---|
| Short side and long side | +1.0 −0.5 |
| Length | +not limited −0 |

| | | |
|---|---|---|
| Marking | Items to be marked | 1. The following items shall be marked in block.<br>(1) Product Name<br>(2) Name of wood species (core material)<br>(3) Name of wood species (decorative veneer)<br>(4) Thickness of decorative veneer<br>(5) Visible surface<br>(6) Dimensions<br>(7) Formaldehyde emission amount (except for cases where marking set forth in 2 or 3 is performed)<br>(8) Name of manufacturer or supplier ( or importer for the imported products).<br>2. Shall be the same as (2) of the section "Matters to be marked" specified in the Table in Section 1 of the preceding article.<br>3. Shall be the same as (3) of the section "Matters to be marked" specified in the Table in Section 1 of the preceding article. |
| | Marking method | 1. The items listed from (1) through (7) of Section "Items to be marked" shall be marked as prescribed below:<br>(1)Product Name<br>a "decorative glued laminated timber for fixtures" shall be indicated on the product;<br>b Markings coated timber products shall state "decorative glued laminated timber for fixtures (coated)";<br>c For those products made for specific uses, the descriptions "decorative glued laminated timber for fixtures," or "decorative glued laminated timber for fixtures (coated)" shall be provided and followed by the specified use given in commonly accepted terms in parenthesis, e.g., "(Horizontal Member)".<br>(2) Name of wood species (core material)<br>The names of wood species shall be arranged in order of the amount used and shall be given by the most common name.<br>(3) Name of wood species (decorative veneer)<br>The names of wood species shall be given by the most common name.<br>(4) Thickness of decorative surface veneer<br>The thickness of the surface veneer shall be given in millimeters to one decimal point.<br>(5) Visible surfaces grade<br>Visuble surface grade 1, 2, 3, or 4, whichever is applicable, shall be indicated by letters, numbers, etc.<br>(6) Dimensions<br>Dimensions shall be given in units of millimeters, centimeters, or meters following any of the terms of "Short side," "Long side," and "Length of timber." However, for products which do not have a uniform cross-section through their full length or are molded and thus is difficult to indicate their short side or long side, any of these dimensions may be left unmarked for straight timbers, and for other than straight timbers, the indication of "Length of timber" may be left unmarked. In this case, the terms "Short side," "Long side," or "Length of timber" shall be followed by the phrase "Not applicable."<br>(7) Shall be the same as (1)–(5) of the section "Marking method" specified in the Table in Section 1 of the preceding Article.<br>2. Shall be the same as (2) of the section "Marking method" specified in the Table in the Section 1 of the preceding Article.<br>3. Shall be the same as (3) of the section "Marking method" specified in the Table in the Section 1 of the preceding Article.<br>4. The matters specified in the section of "Items to be marked" shall be marked as prescribed in the Appendix, in a conspicuous place on each piece or unit of glulams. |
| | Items prohibited from marking | The same as the section "Items prohibited from marking" in Section 1 of the preceding Article. |

2. The quality standards for visible surfaces set forth in the preceding section shall be as provided

| Category | Criteria | |
|---|---|---|
| | Grade 1 | Grade 2 |
| Knots | Not permitted. | 1 Knots shall have maximum diameter of 30mm and shall not severely affect the appearance of the product.<br>2 Knot holes, rotten knots or loose knots are not permitted. |

| | | |
|---|---|---|
| Resin pocket, resin streak, and bark | Permitted if very slight. | Permitted if slight. |
| Chips and flaws | Not permitted. | Chips shall be 2 mm or less in thickness, 3 mm or less in width, 50 mm or less in length. No more than one chip is permitted. Slight flaws may be permitted. |
| Decay | Not permitted. | Permitted if the decay does not cause the wood to reach a point of failure or is not perceptible enough to change the hardness of the wood, and the decayed area is |
| Splits | Not permitted. | Permitted if slight. |
| Discoloration and stains | Permitted if very slight. | Permitted if not conspicuous. |
| Holes | Not permitted. | Permitted if the hole diameter(s) do not exceed 2mm in combination. |
| Rough grain (Chipped grain) | Not permitted. | Permitted if slight. |
| Blister, wrinkle and overlap | Not permitted. | Permitted if very slight. |
| Open joints of veneer | Not permitted. | Permitted up to a gap width of 0.3 mm. |
| Inconformity of color and grain | Permitted if the colors and the grain directions of the visible surface roughly harmonize with one another. | The same as left. |
| Repair | Permitted if the repaired area is small, the color or grain is well matched with the surrounding surface, and the repaired area is flush with adjoining areas and is free of loose particles or indentations. | Permitted if the color or grain matches well with the surrounding surface, and the repaired area is free of loose particles or indentations. |
| Other defects | Permitted if very slight. | Permitted if not conspicuous. |

(Note) Shall be the same as (Note) set forth in the "quality standards for visible surfaces" of the preceding section "Standard for Glued Laminated Timber for Fixtures."

(Standards for Structural Glued Laminated Timber)

Article 5. The standards for structural glued laminated timbers shall be as provided hereunder:

<table>
<tr><th colspan="2">Category</th><th>Criteria</th></tr>
<tr><td rowspan="3">Product quality</td><td>Bonding quality (for laminae glued in the width direction, excluding instances when bonding quality of the resin has not been evaluated)</td><td>The entire adhesion layer (glue line area) shall be uniformly glued and meet the requirements specified in the following Items of (1), (2),and (4), or Items (3) and (4).<br>(1) Results of immersion delamination tests specified in Item (1) of Section 3 of Appendix shall indicate that the delamination rate for both butt end surfaces is 5% or lower, and the sum of the length of delamination that occurs in the same glue line is not more than one fourth of the length of said glue lline.<br>(2) Results of boiling water delamination tests specified in Item (2) of Section 3 of the Appendix shall indicate that the delamination rate for both butt end surfaces is 5% or lower, and the sum of the length of delamination that occurs in the same glue line is not more than one fourth of the length of said gluline.<br>(3) The results of the vacuum-pressure delamination test specified in Item (3) of Section 3 of the Appendix shall indicate that the delamination rate for both butt end surfaces is 5% or lower, and the sum of the length of delamination that occurs in the same glue line is not more than one fourth of the length of said glue line.<br>(4) Results of the block shear test specified in Item (4) of Section 3 of the Appendix shall indicate that both the shear strength and the wood failure rate meet or exceed the values listed in the table below. However, if either the shear strength or the wood failure rate for a test piece equals or exceeds the values in the table below, but the other parameter does not, the test may be performed again on the glue line in question.
<table>
<tr><th>Wood species group number</th><th>Wood species group</th><th>Shear strength (MPa or N／mm$^2$)</th><th>Wood failure ration (%)</th></tr>
<tr><td>1</td><td>Itayakaede (Acer mono), Birch (Betula maximowicziana), Beech (Fagus crenata), White oak (Quercus crispula), Keyaki (Zelkova serrata), Apiton (Dipterocarpus spp.)</td><td>9.6</td><td rowspan="2">60</td></tr>
<tr><td>2</td><td>Tamo (Fraxinus mandshrica), Shioji (Fraxinus apaethiana), Nire (Ulmus davidiana)</td><td>8.4</td></tr>
<tr><td>3</td><td>Hinoki (Chamaecyparis obtusa), Hiba (Thujopsis dolabrata), Karamatsu (Larix leptolepis), Akamatsu (Pinus densiflora), Kuromatsu (Pinus Thunbergii), Beihi (Chamaecyparis lawsoniana), Dafurika karamatsu (Larix gmelini), Southern pine (Pinus spp.), Beimatsu (Pseudotsuga), Wihite cypress pine (Callitris glauca)</td><td>7.2</td><td rowspan="3">65</td></tr>
<tr><td>4</td><td>Tsuga (Tsuga sieboldii), Alaskan yellow cedar (Chamaecyparis nootkatensis), Radiata pine (Pinus radiata), Western Hemlock (Tsuga heterophilla)</td><td>6.6</td></tr>
<tr><td>5</td><td>Momi (Abies Firma), Todomatsu (Abies sachalinensis), Ezomatsu (Picea jezoensis), True firs (Abies spp.), Spruce (Picea spp.), Lodgepole pine (Pinus contorta), Ponderosa pine (Pinus ponderosa), Scotch pine (Pinus sylvestris), Jack pine (Pinus banksiana), Lauan (Parashorea, Pentacme, Shorea spp.)</td><td>6.0</td></tr>
<tr><td>6</td><td>Sugi (Criptomeria japonica), Western red cedar (Thuja plicata)</td><td>5.4</td><td>70</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>Moisture content</td><td>The results of the moisture content test specified in Item (5) of Section 3 of the Appendix shall indicate that an average of the moisture content of test specimens taken from the same sample glulam is 15% or less.</td></tr>
<tr><td>Bending performance</td><td>The results of bending test A specified in (a) of Item (7) of Section 3 of the Appendix shall indicate that the requirements set forth in (1) through (3) below are satisfied.</td></tr>
</table>

(only for those marked as "Bending Test was Conducted")

(1) The average Young's modulus of bending valuefor sample glulams, test specimens or model specimens taken from one lot according to Section 1 of the Appendix shall be not less than the value listed in the "Average value" column of Table 1 that corresponds to one of the grades (which corresponds to the grade of the glulam tested) listed in the "Strength grade" column of the same table.

(2) Not less than 95% of the "Young's modulus of bending" values for sample glulams, test specimens or model specimens taken from one lot according to Section 1 of the Appendix shall be less than the value listed in the "Minimum value" column of Table 1 that corresponds to one of the grades (which corresponds to the grade of the glulam tested) listed in the "Strength grade" column of the same table.

(3) Not less than 95% of the "Bending strength" values for sample glulams, test specimens or model specimens taken from one lot according to Section 1 of the Appendix shall be less than the value obtained by multiplying the value listed in the "Bending strength" column of Table 1 that corresponds to one of the grades (which corresponds to the grade of the glulam tested) listed in the "Strength grade" column of the same table (for test specimens from the compression side of a mixed-grade composition non-symmetrical glulam, the corresponding value listed in Table 2), by the coefficient listed in the right column of Table 3 (for mixed-grade composition glued laminated timbers) or Table 4 (for same-grade composition glued laminated timbers) that corresponds to an applicable class listed in the same table.

Table 1

| | Number of layers | Strength grade | Young's modulus of bending | | Bending strength (MPa or N／mm$^2$) |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | Average value | Minimum value | |
| Mixed-grade composition glulam (symmetrical composition) | | E170－F495 | 17.0 | 14.0 | 49.5 |
| | | E150－F435 | 15.0 | 12.5 | 43.5 |
| | | E135－F375 | 13.5 | 11.5 | 37.5 |
| | | E120－F330 | 12.0 | 10.0 | 33.0 |
| | | E105－F300 | 10.5 | 9.0 | 30.0 |
| | | E 95－F270 | 9.5 | 8.0 | 27.0 |
| | | E 85－F255 | 8.5 | 7.0 | 25.5 |
| | | E 75－F240 | 7.5 | 6.5 | 24.0 |
| | | E 65－F225 | 6.5 | 5.5 | 22.5 |
| | | E 65－F220 | 6.5 | 5.5 | 22.0 |
| | | E 55－F200 | 5.5 | 4.5 | 20.0 |
| Specified mixed-grade composition glulam | 4 or more layers | ME120－F330 | 12.0 | 10.0 | 33.0 |
| | | ME105－F300 | 10.5 | 9.0 | 30.0 |
| | | ME 95－F270 | 9.5 | 8.0 | 27.0 |
| | | ME 85－F255 | 8.5 | 7.0 | 25.5 |
| Mixed-grade composition glulam (non-symmetrical composition) | | E160－F480 | 16.0 | 13.5 | 48.0 |
| | | E140－F420 | 14.0 | 11.5 | 42.0 |
| | | E125－F360 | 12.5 | 10.5 | 36.0 |
| | | E110－F315 | 11.0 | 9.0 | 31.5 |
| | | E100－F285 | 10.0 | 8.5 | 28.5 |
| | | E 90－F255 | 9.0 | 7.5 | 25.5 |
| | | E 80－F240 | 8.0 | 6.5 | 24.0 |
| | | E 70－F225 | 7.0 | 6.0 | 22.5 |
| | | E 60－F210 | 6.0 | 5.0 | 21.0 |
| | | E 60－F205 | 6.0 | 5.0 | 20.5 |
| | | E 50－F170 | 5.0 | 4.5 | 17.0 |
| Same-grade composition glulam | 4 or more layers | E190－F615 | 19.0 | 16.0 | 61.5 |
| | | E190－F615 | 17.0 | 14.0 | 54.0 |
| | | E150－F465 | 15.0 | 12.5 | 46.5 |
| | | E135－F405 | 13.5 | 11.5 | 40.5 |
| | | E120－F375 | 12.0 | 10.0 | 37.5 |
| | | E105－F345 | 10.5 | 9.0 | 34.5 |
| | | E 95－F315 | 9.5 | 8.0 | 31.5 |
| | | E 85－F300 | 8.5 | 7.0 | 30.0 |
| | | E 75－F270 | 7.5 | 6.5 | 27.0 |
| | | E 65－F255 | 6.5 | 5.5 | 25.5 |
| | | E 55－F225 | 5.5 | 4.5 | 22.5 |
| | 3 layers | E190－F555 | 19.0 | 16.0 | 55.5 |
| | | E170－F495 | 17.0 | 14.0 | 49.5 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | rs | E150－F435 | 15.0 | 12.5 | 43.5 |
| | | E135－F375 | 13.5 | 11.5 | 37.5 |
| | | E120－F330 | 12.0 | 10.0 | 33.0 |
| | | E105－F300 | 10.5 | 9.0 | 30.0 |
| | | E 95－F285 | 9.5 | 8.0 | 28.5 |
| | | E 85－F270 | 8.5 | 7.0 | 27.0 |
| | | E 75－F255 | 7.5 | 6.5 | 25.5 |
| | | E 65－F240 | 6.5 | 5.5 | 24.0 |
| | | E 55－F225 | 5.5 | 4.5 | 22.5 |
| | 2 laye rs | E190－F510 | 19.0 | 16.0 | 51.0 |
| | | E170－F450 | 17.0 | 14.0 | 45.0 |
| | | E150－F390 | 15.0 | 12.5 | 39.0 |
| | | E135－F345 | 13.5 | 11.5 | 34.5 |
| | | E120－F300 | 12.0 | 10.0 | 30.0 |
| | | E105－F285 | 10.5 | 9.0 | 28.5 |
| | | E 95－F270 | 9.5 | 8.0 | 27.0 |
| | | E 85－F255 | 8.5 | 7.0 | 25.5 |
| | | E 75－F240 | 7.5 | 6.5 | 24.0 |
| | | E 65－F225 | 6.5 | 5.5 | 22.5 |
| | | E 55－F200 | 5.5 | 4.5 | 20.0 |

Table 2

| | Strength grade | Bending strength (MPa or N/mm2) |
|---|---|---|
| Mixed-grade composition glulam (non-symmetrical) | E160－F480 | 34.5 |
| | E140－F420 | 28.5 |
| | E125－F360 | 25.5 |
| | E110－F315 | 24.0 |
| | E100－F285 | 22.5 |
| | E 90－F255 | 21.0 |
| | E 80－F240 | 19.5 |
| | E 70－F225 | 18.0 |
| | E 60－F210 | 16.5 |
| | E 60－F205 | 16.0 |
| | E 50－F170 | 14.0 |

Table 3

| The depth of the glulam, test specimen or model specimen of mixed-grade composition glulam (mm) | | Coefficient |
|---|---|---|
| | Up to 100 | 1.13 |
| More than 100 | Up to 150 | 1.08 |
| More than 150 | Up to 200 | 1.05 |
| More than 200 | Up to 250 | 1.02 |
| More than 250 | Up to 300 | 1.00 |
| More than 300 | Up to 450 | 0.96 |
| More than 450 | Up to 600 | 0.93 |
| More than 600 | Up to 750 | 0.91 |
| More than 750 | Up to 900 | 0.89 |
| More than 900 | Up to 1050 | 0.87 |
| More than 1050 | Up to 1200 | 0.86 |
| More than 1200 | Up to 1350 | 0.85 |
| More than 1350 | Up to 1500 | 0.84 |
| More than 1500 | Up to 1650 | 0.83 |
| More than 1650 | Up to 1800 | 0.82 |
| More than 1800 | | 0.80 |

Table 4

| The depth of the sample glulam, test specimen or model specimen of same-grade composition glulam (mm) | | Coefficient |
|---|---|---|
| | 100以下 | 1.00 |
| 100超 | 150以下 | 0.96 |
| 150超 | 200以下 | 0.93 |
| 200超 | 250以下 | 0.90 |
| 250超 | 300以下 | 0.89 |
| 300超 | | 0.85 |

<table>
<tr><td>Formaldehyde emission amount (only for those marked with a formaldehyde emission amount)</td><td>Regarding the resuls of the formaldehyde emission test specified in Item (9) of Section 3 of the Appendix, the average value and maximum value of formaldehyde emissions of the sample glulams collected according to Section 1 of the Appendix shall be less than or equal to the following values listed by emission category.
<table>
<tr><th>Category Indicated</th><th>Average value</th><th>Maximum value</th></tr>
<tr><td>Those marked with F☆☆☆☆</td><td>0. 3mg／L</td><td>0. 4mg／L</td></tr>
<tr><td>Those marked with F☆☆☆</td><td>0. 5mg／L</td><td>0. 7mg／L</td></tr>
<tr><td>Those marked with F☆☆</td><td>1. 5mg／L</td><td>2. 1mg／L</td></tr>
<tr><td>Those marked with F☆S</td><td>3. 0mg／L</td><td>4. 2mg／L</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>Lamina quality (excluding those with an indication that bending performance tests have been performed)</td><td>Shall meet the “Standards for Lamina Quality” set forth in the next section.</td></tr>
<tr><td>Lamina lay-up quality</td><td>Shall conform to the quality criteria for lamina lay-up specified in Section 3.</td></tr>
<tr><td>Number of lamina</td><td>1. Shall be 4 lamina or more for a mixed-grade composition glulam.<br>2. Shall be 2 lamina or more for a same-grade composition glulam.</td></tr>
<tr><td>Quality of surface</td><td>Shall conform to member surface quality criteria for Type 1, 2 or 3 set forth in Section 4.</td></tr>
<tr><td>Painting finish (limited to those marked “Painted”)</td><td>Blisters and other blemises shall be indistinguishable.</td></tr>
<tr><td>Warping (straight timbers only)</td><td>The deviation from a straight line shall not exceed 1 mm per meter of length of the structural glulam.</td></tr>
<tr><td>Bows and twisting</td><td>Bows and twisting</td></tr>
<tr><td>Minimum radius of curvature of curved member (excluding straight</td><td>Shall meet the “Standards for the Minimum Radius of Curvature of the Curved Part” set forth in Section 5.</td></tr>
<tr><td>Spacing of end joints in adjacent laminae (limited to members having jointed lamina in adjacent layers)</td><td>Shall meet the “Standards for the spacing between the Longitudinal Joints of Adjacent Laminae” set forth in Section 6.</td></tr>
<tr><td>Quality of edge joined lamina</td><td>With the exception of non-glued edge joined lamina, edge glued lamina shall meet the requirements set forth in the “Bonding quality” section.</td></tr>
<tr><td>Location where unevaluated edge joined lamina are used</td><td>This provision shall be only applicable to lamina in the inner layer and middle layer of mixed composition glulam (limited to large dimension glulams), where it is apparent load is applied in the direction of lamination . Edge joined lamina shall be limited to one for each lamina. Edge joint gaps shall be limited to 6 mm. In addition, if edge joined lamina are in adjacent layers, the edge joints shall be spaced a minimum distance equal to the thickness of the lamina.</td></tr>
<tr><td>Finishing of secondary glue lines</td><td>Members of the same type my be glued together in a secondary process if the same conditions used during the manufacture process are followed. The finish of the secondary glue line shall have a good appearance and the appearanceof the joined glulam shall compliment each other.</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td></td><td>Thickness of lamina</td><td>1. A lamina shall be not more than 5 cm in thickness, in principle, have a uniform thickness, and be symmetric around the central axis thereof after finishing processes are completed. However, for a glulam of which strength has been checked by simulation calculations associated with an actual-size strength test or a validity test for the glulam, the thickness shall be not more than 6 cm.<br>2. The thickness of a lamina for outermost layer after the finishing processes are completed shall be not less than 80% of the thickness of a lamina for other layers with a uniform thickness. However, for a same-grade composition glulam and a mixed-grade composition glulam of which strength has been checked by simulation calculations associated with an actual-size strength test or a validity test for the glulam, the thickness may be more than or equal to two-thirds of the thickness of the thickest lamina in the composition layer.</td></tr>
<tr><td></td><td>Adhesives</td><td>1. An adhesive with markings of “Use Environment A” shall be any of the resins below that can satisfy the required performance as defined in Article 2 or shall have a performance equivalent to or higher than that of these resins.<br>(1) Adhesives used for gluing or secondary gluing in the lamination direction or the width direction:<br>Resorcinol resins and resorcinol phenol resins<br>(2) Adhesives used for gluing finger joints or scarf joints:<br>Resorcinol resins, resorcinol phenol resins, and melamine resins<br>2. An adhesive with markings of “Use Environment B” shall be any of the resins below that can satisfy the required performance as defined in Article 2 or shall have a performance equivalent to or higher than that of these resins.<br>(1) Adhesives used for gluing or secondary gluing in the lamination direction or the width direction:<br>Resorcinol resins and resorcinol phenol resins<br>(2) Adhesives used for gluing finger joints or scarf joints:<br>Resorcinol resins, resorcinol phenol resins, and melamine resins<br>3. An adhesive with markings of “Use Environment C” shall be any of the resins below that<br>can satisfy the required<br>performance as defined in Article 2 or shall have a performance equivalent to or higher than<br>that of these resins.<br>(1) Adhesives used for gluing or secondary gluing in the lamination direction or<br>the width direction:<br>Resorcinol resins, resorcinol phenol resins, and water-based polymer-isocyanate resins (shall be those that satisfy the performance of “Class 1, No.1” set forth in Japanese Industrial<br>Standards (hereinafter referred to as “JIS”) K 6806. The same shall apply hereunder.)<br>(2) Adhesives used for gluing finger joints or scarf joints:<br>Resorcinol resins, resorcinol phenol resins, water based polymer-isocyanate resins, melamine resins, and melamine-urea copoly-condensation resins</td></tr>
<tr><td></td><td>Dimensions</td><td>The difference between the marked and measured dimensions shall be not more than the value specified in the table below.
<table>
<tr><th colspan="3">Categories</th><th>Difference between the marked and measured</th></tr>
<tr><td rowspan="2">Shorter side</td><td colspan="2">Large dimension</td><td>±1．5mm</td></tr>
<tr><td colspan="2">Medium dimension and small dimension</td><td>＋1．5mm　　－0．5mm</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Longer side</td><td colspan="2">Large dimension</td><td>±1．5%(Less than± 5 mm)</td></tr>
<tr><td>Medium dimension and small dimension</td><td>Not more than 300 mm</td><td>＋1.5mm　　－0．5mm</td></tr>
<tr><td>More than 300 mm</td><td>±0．5%(Less than +5.0 mm, −3.0 mm)</td></tr>
<tr><td colspan="3"></td><td>±5mm</td></tr>
</table></td></tr>
</table>

| | | |
|---|---|---|
| Marking | Items to be marked | 1. The following items shall be marked in block.<br>(1) Product name<br>(2) Strength grade<br>(3) Surface quality<br>(4) Bonding performance<br>(5) Species name<br>(6) Dimensions<br>(7) Number of lamina's layers (limited to members with veneer fihish)<br>(8) Inspection method (only for those which undergo "bending test A" specified in (a) of Item (7) of Section 3 of the Appendix)<br>(9) Name of manufacturer or supplier ( or importer for the imported products).<br>2. Except for posts or other applications that require high compressive strengths, not only items set forth in provision 1 above the application method shall be indicated.<br>3. Where edge jointed lamina are used, not only items set forth in provisions 1 and 2 above but also the zone within the glulam where edge joined lamina are used shall be indicated.<br>4. For a glulam with markings of its formaldehyde emission amount, not only items set forth in the above provisions 1 through to 3 but also marking signs for formaldehyde emission amount shall be collectively indicated.<br>5. A glulam of which strength has been checked by simulation calculations associated with an actual-size strength test or a validity test, as specified in 5 of (Note) of the table in Item (1)-b. of Paragraph 3. of the "Thickness of lamina" section or in 1 of (Note) of the table in Item (2)-b. of the same section, and in 5 of (Note) of the table in Item (3)-b. of the same section, shall have markings of not only items set forth in the above provisions 1 through to 4 but also an indication that simulation calculations have been performed along with actual-size strength tests or verification tests.<br>6. A glulam of which strength has been checked by a proof loader, as specified in (Note) of the table of Section 6, shall have markings of not only items set forth in the above provisions 1 through to 5 but also an indication that the strength checks have been implemented by a proof loader.<br>7. A coated glulam, if a registered certification body or a registered foreign certification body affirms that such glulam does not contain formaldehyde-containing adhesives nor formaldehyde emitting paints, shall have markings of not only items set forth in the above provisions 1 through to 6 but also an indication that non-formaldehyde adhesives and non-formaldehyde emitting paints are contained.<br>8. A uncoated glulam, if a registered certification body or a registered foreign certification body affirms that such glulam does not contain formaldehyde-containing adhesives nor formaldehyde emitting paints, shall have markings of not only items set forth in the above provisions 1 through to 6 but also an indication that non-formaldehyde adhesives are contained. |

| | |
|---|---|
| Marking method | 1. The items listed from (1) through (8) of the "Items to be marked" section shall be marked as prescribed below:<br>(1) Product name<br>a. Markings for a mixed-grade composition glulam with a symmetrical composition (hereinafter referred to as "mixed-grade composition glulam (symmetrical)") shall state "mixed-grade composition glulam (symmetrical composition)" and, among such glulams, for those with a specified symmetrical composition, markings for the glulam shall state "mixed-grade composition glulam (specified symmetrical composition). "Among mixed-grade composition glulams, for those with a non-symmetrical composition (hereinafter referred to as "mixed-grade composition glulam (non-symmetrical)"), markings shall state "mixed-grade composition glulam (non-symmetrical composition)." Markings for a same-grade composition glulam shall state "same-grade composition glulam."<br>b. Markings for a large dimension glulam, a medium dimension glulam, and a small dimension glulam shall state "Large Cross-section," "Medium Cross-section," and "Small Cross-section," respectively.<br>c. For those intended to be used for the specific part of a structure, the description of such part of the structure shall be given in commonly accepted terms in parenthesis, e.g., "(roof truss)," "(beam)," and "(post)."<br>(2) Strength Grade<br>Markings shall state any of the strength grades set forth in the Appended Table.<br>(3) Quality of Surface<br>Markings shall state "Type 1," "Type 2," or "Type 3."<br>(4) Bonding Performance<br>Markings shall state "Use Environment A," "Use Environment B," or "UseEnvironment C."<br>(5) Name of Wood Species<br>The name of wood species shall be given by the most common name. However, if multiple wood species have been used, markings shall state "name of wood pecies" (outermost layer), "name of wood species" (outer layer), "name of wood species" (middle layer), and "name of wood species" (inner layer). In addition, if the same wood species is found in various layers, markings shall state such relevant layers collectively.<br>(6) Dimensions<br>Dimensions shall be given in units of millimeters', centimeters, or meters following any of the terms of "Shorter side," "Longer side," and "Length of timber" (for other than straight timbers, such terms shall be limited to "Shorter side" and "Longer side").<br>(7) Number of Lamina Layers<br>Marking shall state the number of lamina layers.<br>(8) Inspection Method<br>For those that undergo the "bending test A" specified in (a) of Item (7) of Section 3 of |

| | |
|---|---|
| | the Appendix, markings shall indicate that bending strength tests have been performed.<br>2. According to (2) of the "Items to be marked" section, if the direction of use is marked, markings shall be given in a conspicuous place on the upper surface (shall refer to a surface to which loads are applied. (The same shall apply hereunder.), which indicate that such a surface is the top surface.<br>3. According to (3) of the "Items to be marked" section, if unevaluated widthwise jointed lamina is used, indications shall be given following the matters of "Name of the product" that include "(Unevaluated edge jointed lamina used: middle layer)," "(Unevaluated edge jointed lamina used: inner layer)," or "(Unevaluated edge jointed lamina is used: middle/inner layer)." In addition, markings shall be in accordance with (2) of the Matters to be marked" section.<br>4. According to (4) "Items to be marked", if any of the signs for indicating formaldehyde emission levels are marked, said indications shall be as specified in the following provisions (1) through (4):<br>(1) Mark as "F☆☆☆☆" (limited to instances when the formaldehyde emission level is indicated) when the results of the formaldehyde emission test, specified in Item (9) of Section 3 of the Appendix, indicate that formaldehyde emission amount corresponds to the criteria listed in the column for F☆☆☆☆.<br>(2) Mark as "F☆☆☆" (limited to instances when the formaldehyde emission level is indicated) when the results of the formaldehyde emission test, specified in Item (9) of Section 3 of the Appendix, indicate that formaldehyde emission amount corresponds to the criteria listed in the column for F☆☆☆.<br>(3) Mark as "F☆☆" (limited to instances when the formaldehyde emission level is indicated) when the results of the formaldehyde emission test, specified in Item (9) of Section 3 of the Appendix, indicate that formaldehyde emission amount corresponds to the criteria listed in the column for F☆☆.<br>(4) Mark as "F☆S" (limited to instances when the formaldehyde emission level is indicated) when the results of the formaldehyde emission test, specified in Item (9) of Section 3 of the Appendix, indicate that formaldehyde emission amount corresponds to the criteria listed in the column for F☆S.<br>5. According to (5) of the "Items to be marked" section, a glulam whose strength has been checked by simulation calculations associated with full scale strength test or a validity test shall have markings indicating "Strength has been checked by simulation calculations along with full scale bending tests" when full scale bending tests have been performed, "Strength has been checked by simulation calculations along with verification tests" when verification tests have been performed, or "Strength has been checked by full scale bending tests" when there is no need of simulation calculations along with verification tests.<br>6. According to (6) of the "Items to be marked" section, if a glulam needs an indication that the strength has been checked by a proof loader, said glulam shall have markings indicating "The strength checks have been conducted by a proof loader."<br>7. When as specified in item (7) of the "Items to be marked" section, a painted member is made using resins that do not contain formaldehyde and the paint does not emit formaldehyde, it shouold be marked as "Formaldehyde Free Adhesive and Non-formaldehyde Emitting Paint Used".<br>8. When trademarking to the effect that adhesives containing no formaldehyde have been used is to be indicted as noted under item (8) of the "Items to be marked" section, "Formadehyde-Free Adhesives Used" shall be indicated.<br>9. The matters specified in (1) of the "Items to be marked" section shall be marked as prescribed in the Appendix, in a conspicuous place of each piece or unit of glulams. |
| Items prohibited from marking | The same as the section "Items prohibited from marking" in Section 1 of Article 3. |

2. The quality standards for laminae set forth in the preceding section shall be as provided hereunder:
(1) Visually Rated Lamina
(a) Standards for Lamina Quality

| Category | Criteria | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Grade 1 | Grade 2 | Grade 3 | Grade 4 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Strength performance (only for lamina for outer layer of symmetrical mixed-grade composition glulam, for lamina for outer layer of tensile side of non-symmetrical mixed grade composition glulam and for lamina for same-grade composition glulam) | | 1. Laminae without end joints<br>For a sample lamina taken from one lot according to Section 1 of the Appendix, the results of bending test B specified in (b) of Item (7) of Section 3 of the Appendix shall meet the requirements set forth in (1) and (2) below:<br>(1) The average value of Young's modulus of bending for the sampled laminae shall be not less than the value listed in the "Average value" column in table (b).<br>(2) Not less than 95% of the "Young's modulus of bending" values for the sampled laminae shall be not less than the value listed in the "Minimum value" column of table (b).<br>2. Laminae with end joints<br>For a sampled lamina taken from one lot according to Section 1 of the Appendix, the results of bending test C specified in (c) of Item (7) of Section 3 of the Appendix or the results of the tensile test specified in Item (8) of the same section of the Appendix shall meet either requirements set forth in (1) and (2) below or those set forth in (3) and (4) below:<br>(1) The average value of bending strength for test specimens shall be more than or equal to the value set forth in the "Average value" column of table (b).<br>(2) The bending strengths of not less than 95% of the test specimens shall be more than or equal to the value set forth in the "Minimum value" column of table (b).<br>(3) The average tensile strength value for test specimens shall be more than or equal to the value obtained by multiplying the value in the "Average value" column of table (b), by the coefficient found in the left column of table (c) corresponding to the width category of the test specimen noted in the right column of the same table.<br><br>(4) The tensile strengths of not less than 95% of the test specimens shall be more than or equal to the value obtained by multiplying the value listed in the "Minimum value" column of table (b), by the coefficient listed in the left column of table (c) corresponding to the width category of the test specimens noted in the right column of the same table. | | | |
| Knots and holes | Group knot diameter ratio (CKDR) | Permitted up to 20%. | Permitted up to 30%. | Permitted up to 40%. | Permitted up to 50%. |
| | Edge Knot diameter ratio | Permitted up to 17%. | Permitted up to 25%. | Permitted up to 33%. | Permitted up to 50%. |
| Slope of Grain | | Permitted up to 1/16. | Permitted up to 1/14. | Permitted up to 1/12. | Permitted up to 1/8. |
| Decay | | Not permitted. | The same as left. | The same as left. | The same as left. |
| Splits / Checking | | Permitted if it is very minimal and not conspicuous. | The same as left. | The same as left. | Permitted if its width is very narrow and its length is not more than 50mm. |
| Discoloration | | Permitted if not conspicuous. | The same as left. | The same as left. | The same as left. |
| Raised grain | | Permitted if not conspicuous. | The same as left. | The same as left. | The same as left. |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Mean width of annual rings (limited to Radiata pine) | | Permitted up to 6 mm. | The same as left. | | |
| Center core or pith (Radiata pine only) | Less than a width of 19cm | Annual ring shall not be within a 50 mm radius of the center pith. | The same as left. | The same as left. | Permitted if the length of pith in thickness surface is not more than 1/4 of the lamina length. |
| | Width of 19cm or greater | One third of the width measured from the lamina edge shall not contain annual rings whose curve radius are within 50mm of the pith. | The same as left. | The same as left. | Permitted if the length of pith in thickness surface is not more than 1/4 of the lamina length. |
| Other defects | | Permitted if very slight. | The same as left. | The same as left. | Permitted if slight. |

(Note) 1 "The group knot diameter ratio" represents the sum of the knot and/or hole diameters present in any 15 cm section, measured along the length of the lamina, taken as a percentage of the lamina cross-sectional area.

2 "Slope of grain" is the ratio of the variance of the slope of the grain from a stright line parallel to the side of the lamina measured over a given distance.

3 A knot is considered to be an "edge knot" if it lies within 10mm of the edge of the lamina (5mm if the lamina has been dried and planed).

4 Measurement of a center core shall be based on the method shown in the table below and performed by: using a clear plastic plate on which semicircles of known radii from 50 mm to 100 mm at 5 mm intervals are drawn (hereinafter referred to as a "measuring tool"), exactly overlaying the 50 mm radius curve of the measuring tool over the annual rings closest to the pith on the butt end surface and comparing annual ring boundaries within the area between the 50-mm-radius curve and the 100-mm-radius curve of the measuring tool.

(b) Lamina strength performance standard

| species | Wood species | Visual grade category lamina<br>Upper: Young's modulus of bending (GPa or 103N／mm2)<br>Middle: Bending strength (MPa or N／mm2)<br>Lower: Tensile strength (MPa or N／mm2) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Grade 1 | | Grade 2 | | Grade 3 | |
| | | Average value | Minimum | Average value | Minimum | Average value | Minimum |
| A | Apiton (Dipterocarpus spp.) | 16.0<br>63.0<br>37.5 | 13.0<br>47.5<br>28.0 | 14.0<br>54.0<br>32.0 | 11.5<br>40.5<br>24.0 | 12.5<br>48.5<br>28.5 | 10.5<br>36.5<br>21.5 |
| B | Itayakaede (Acer mono),Birch (Betula maximowicziana),Beech (Fagus crenata),White oak (Quercus crispula),Keyaki (Zelkova serrata),Dafurika karamatsu (Larix gmelini),Southern pine (Pinus spp.),Beimatsu (Pseudotsuga) | 14.0<br>54.0<br>32.0 | 11.5<br>40.5<br>24.0 | 12.5<br>48.5<br>28.5 | 10.5<br>36.5<br>21.5 | 11.0<br>45.0<br>26.5 | 9.5<br>34.0<br>20.0 |
| C | Hinoki (Chamaecyparis obtusa),Hiba (Thujopsis dolabrata),Karamatsu (Larix leptolepis),Akamatsu (Pinus densiflora),Kuromatsu (Pinus Thunbergii),Port Orford cedar (Chamaecyparis lawsoniana) | 12.5<br>48.5<br>28.5 | 10.5<br>36.5<br>21.5 | 11.0<br>45.0<br>26.5 | 9.5<br>34.0<br>20.0 | 10.0<br>42.0<br>24.5 | 8.5<br>31.5<br>18.5 |
| D | Tsuga (Tsuga sieboldii),Tamo (Fraxinus mandshrica),Shioji (Fraxinus apaethiana),Nire (Ulmus davidiana),Alaskan yellow cedar (Chamaecyparis nootkatensis),Radiata pine (Pinus radiata), Western hemlock (Tsuga heterophilla) | 11.0<br>45.0<br>26.5 | 9.5<br>34.0<br>20.0 | 10.0<br>42.0<br>24.5 | 8.5<br>31.5<br>18.5 | 9.0<br>39.0<br>23.5 | 7.5<br>29.5<br>17.5 |
| E | Momi (Abies Firma),Todomatsu (Abies sachalinensis),Ezomatsu (Picea jezoensis), True firs (Abies spp.),Spruce (Picea spp.),Lodgepole pine (Pinus contota),Benimatsu (Pinus koraiensis),Ponderosa pine (Pinus ponderosa),Scotch pine (Pinus sylvestris),Jack pine (Pinus banksiana),Lauan (Parashorea, Pentacme, Shorea spp.) | 10.0<br>42.0<br>24.5 | 8.5<br>31.5<br>18.5 | 9.0<br>39.0<br>23.5 | 7.5<br>29.5<br>17.5 | 8.0<br>36.0<br>21.5 | 6.5<br>27.0<br>16.0 |
| F | Sugi (Criptomeria japonica), Western red cedar (Thuja plicata),White cypress pine (Callitris glauca) | 9.0<br>39.0<br>23.5 | 7.5<br>29.5<br>17.5 | 8.0<br>36.0<br>21.5 | 6.5<br>27.0<br>16.0 | 7.0<br>33.0<br>20.0 | 6.0<br>25.0<br>15.0 |

(c) Coefficient

| Length of test piece in the widthwise direction (mm) | | Coefficient |
|---|---|---|
| | Up to 150 | 1.00 |
| More than 150 | Up to 200 | 0.95 |
| More than 200 | Up to 250 | 0.90 |
| More than 250 | | 0.85 |

(2) Laminae Rated by the Grading Machine

(a) Quality Standards for laminae

<table>
<tr><th>Category</th><th>Criteria</th></tr>
<tr><td>Strength performance</td><td>(MSR lamina)<br>1. “Young’s modulus of bending” values for MSR laminae shall be not less than the corresponding value in the middle column of table (b), corresponding to the respective mechanical grade noted in the left-hand column of the same table.<br>2. Lamina used in the outermost layer or the outer layer of mixed-grade composition glulam (symmetrical) or lamina for the outermost layer or outer layer on the tensile side of mixed-grade composition glulam (non-symmetrical), and lamina taken from one lot of same-grade composition glulam according to Section 1 of the Appendix, the results of bending test C specified in (c) of Item (7) of Section 3 in the Appendix or the results of tensile test specified in Item (8) of the same section in the Appendix shall satisfy the criteria for bending strength or tensile strength listed in the right-hand column corresponding to the lamina machine grade listed in the left-hand column of Table b as described below:<br>(1) The average value of bending strengths for test specimens shall be more than or equal to the value noted in the corresponding column of table (b).<br>(2) The bending strengths of at least 95% of test specimens shall be more than or equal to the minimum value noted in table (b).<br>(3) The average tensile strength value for test specimens shall be more than or equal to the value obtained by multiplying the value listed in the column for average values in Table (b) by the coefficient listed in the right-hand column of Table (C) that corresponds to the lamina width category in the left-hand column of the same table.<br>(4) The tensile strength values of at least 95% of test specimens shall be more than or equal to the minimum tensile strength value obtained by multiplying the value listed in the column for minimum values in Table b by the coefficient listed in the right-hand column of Table (C) that corresponds to the lamina width category in the left-hand column of the same table.<br>3. MSR lamina in this section shall have undergone inspections at regular intervals not only to verify the average value of Young’s modulus satisfies the standard value, but also to verify the bending strength or tensile strength corresponding to the low point Young’s modulus in the length direction is more than or equal to the standard strength or tensile value.<br>(Lamina rated by the grading machine)<br>4. Shall be the same as the provision 1.<br>5. For a lamina for the outermost layer or the outer layer of mixed-grade composition glulam (symmetrical), a lamina for the outermost layer of the tensile side or the outer layer of mixed-grade composition glulam (non-symmetrical), and laminae glued together in the length direction of same-grade composition glulam according to Section 1 of the Appendix shall meet not only the standards set forth in Section 1 of the Appendix but also standards for a sample lamina taken from one lot according to Section1 of the Appendix, which are set forth in Section 2 of the Appendix.</td></tr>
<tr><td>Decay</td><td>Not permitted.</td></tr>
<tr><td>Splits / checking</td><td>Permitted if it is very minimal and not conspicuous.</td></tr>
<tr><td>Discoloration</td><td>Permitted if not conspicuous.</td></tr>
<tr><td>Raised grain</td><td>Permitted if not conspicuous.</td></tr>
<tr><td>Quality of both ends of material (MSR grade only)</td><td>The equivalent group knot diameter ratio of knots and holes that are present on the lamina ends where measurement by machine is not possible, shall not be larger than the equivalent diameter ratio in the center section of the lamina (where measuremnt by the grading machine was conducted), or the corresponding end of piece group knot ratio shall satisfy the criteria listed in the right-hand column of the table below.
<table>
<tr><td>Lamina for outermost layer and outer layer of mixed-grade composition glulam</td><td>17%</td></tr>
<tr><td>Lamina for middle layer of mixed-grade composition glulam</td><td>25%</td></tr>
<tr><td>Lamina for inner layers of mixed-grade composition glulam</td><td>33%</td></tr>
<tr><td>Lamina for same-grade composition glulam</td><td>17%</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>Other defects</td><td>Permitted if very slight.</td></tr>
</table>

(Note) The “equivalent diameter ratio” shall refer to a ratio of the projected area of defects onto a butt-end surface to the total area of the same surface.

(b) Strength performance standards for laminae

| Grade by machine rating | Young's modulus of bending (GPa or $10^3$N/mm$^2$) | Bending strength (MPa or N/mm$^2$) | | Tensile strength (MPa or N/mm$^2$) | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Average value | Minimum value | Average value | Minimum value |
| L200 | 20.0 | 81.0 | 61.0 | 48.0 | 36.0 |
| L180 | 18.0 | 72.0 | 54.0 | 42.5 | 32.0 |
| L160 | 16.0 | 63.0 | 47.5 | 37.5 | 28.0 |
| L140 | 14.0 | 54.0 | 40.5 | 32.0 | 24.0 |
| L125 | 12.5 | 48.5 | 36.5 | 28.5 | 21.5 |
| L110 | 11.0 | 45.0 | 34.0 | 26.5 | 20.0 |
| L100 | 10.0 | 42.0 | 31.5 | 24.5 | 18.5 |
| L 90 | 9.0 | 39.0 | 29.5 | 23.5 | 17.5 |
| L 80 | 8.0 | 36.0 | 27.0 | 21.5 | 16.0 |
| L 70 | 7.0 | 33.0 | 25.0 | 20.0 | 15.0 |
| L 60 | 6.0 | 30.0 | 22.5 | 18.0 | 13.5 |
| L 50 | 5.0 | 27.0 | 20.5 | 16.5 | 12.0 |
| L 40 | 4.0 | 24.0 | 18.0 | 14.5 | 10.5 |
| L 30 | 3.0 | 24.0 | 16.0 | 12.5 | 9.5 |

(c) Coefficient

| Lamina width (mm) | | Coefficient |
|---|---|---|
| | Up to 150 | 1.00 |
| More than 150 | Up to 200 | 0.95 |
| More than 200 | Up to 250 | 0.90 |
| More than 250 | | 0.85 |

3. Standard for Lamina lay-up Quality is as follows:

(1) Symmetrical Mixed-grade lay-ups

(a) Outermost Lamina

Outermost lamina Classes 1 through 5 are listed in the table below by the wood species groups specified in Table b Item (1) in the preceding section, correspond to the machine grades for outermost lamina listed in the right-hand column of Appended Table (1) and to the (symmetrical mixed grade lay-ups) strength classes listed in the left-hand column of the same table.

| Grade by grading machine | Wood species group | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | A | B | C | D | E | F |
| L200 | Class 1 | | | | | |
| L180 | Class 2 | Class 1 | | | | |
| L160 | Class 3 | Class 2 | Class 1 | | | |
| L140 | Class 4 | Class 3 | Class 2 | Class 1 | | |
| L125 | | Class 4 | Class 3 | Class 2 | Class 1 | |
| L110 | | | Class 4 | Class 3 | Class 2 | Class 1 |
| L100 | | | | Class 4 | Class 3 | Class 2 |
| L 90 | | | | | Class 4 | Class 3 |
| L 80 | | | | | | Class 4 |
| L 70 | | | | | | Class 5 |
| L 60 | | | | | | |
| L 50 | | | | | | |
| L 40 | | | | | | |
| L 30 | | | | | | |

(b) Lamina Quality Composition

Standards for the composition of lamina quolity shall be as specified in the table below

| | | Lamina for outermost layer | Lamina for outer layer | Lamina for middle layer | Lamina for inner layer |
|---|---|---|---|---|---|
| Lamina for outermost layer, graded as Class 1 | Visually rated lamina | Not permitted for use | Not permitted for use | Not permitted for use | Not lower than Grade 3 |
| | Lamina rated by grading machine | G | Not lower than Δ1G | Not lower than Δ2G | Not lower than Δ4G |
| | Knot diameter ratio at the edge part of width-wise surface | Not more than 17% | Other than MSR lamina, not more than | Other than MSR lamina, not more than | Other than MSR lamina, not more than |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Lamina for outermost layer, graded as Class 2 | Visually rated lamina | Not permitted for use | Not permitted for use | Not lower than Grade 3 | Not lower than Grade 4 |
| | Lamina rated by grading machine | G | Not lower than △1G | Not lower than △2G | Not lower than △4G |
| | Knot diameter ratio at the edge part of width-wise surface | Not more than 17% | Other than MSR lamina, not more than | Other than MSR lamina, not more than | Other than MSR lamina, not more than |
| Lamina for outermost layer, graded as Class 3 | Visually rated lamina | Not permitted for use | Not lower than Grade 2 | Not lower than Grade 3 | Not lower than Grade 4 |
| | Lamina rated by grading machine | G | Not lower than △1G | Not lower than △2G | Not lower than △4G |
| | Knot diameter ratio at the edge part of width-wise surface | Not more than 17% | Other than MSR lamina, not more than | Other than MSR lamina, not more than | Other than MSR lamina, not more than |
| Lamina for outermost layer, graded as Class 4 | Visually rated lamina | Not permitted for use | Not lower than Grade 3 | Not lower than Grade 3 | Not lower than Grade 4 |
| | Lamina rated by grading machine | G | Not lower than △1G | Not lower than △2G | Not lower than △4G |
| | Knot diameter ratio at the edge part of width-wise surface | Not more than 25% | Other than MSR lamina, not more than | Other than MSR lamina, not more than | Other than MSR lamina, not more than |
| Lamina for outermost layer, graded as Class 5 | Visually rated lamina | Not permitted for use | Not lower than Grade 3 | Not lower than Grade 3 | Not lower than Grade 4 |
| | Lamina rated by grading machine | G | Not lower than △1G | Not lower than △2G | Not lower than △4G |
| | Knot diameter ratio at the edge part of width-wise surface | Not more than 25% | Other than MSR lamina, not more than | Other than MSR lamina, not more than | Other than MSR lamina, not more than |

(Note)1. G is the machine grade of the outermost lamina specified in table (a).
2. △1G, △2G, △3G and △4G machine grades listed in the table (a) that is one class, two classes, three classes, and four classes lower than G, respectively.
3. If only machine graded lamina are used, and lamina having a machine grade one grade higher than Class 1 of the respective wood species group listed in table (a) is used along with outermost lamina Class 1 criteria, structural glued laminated timbers can be manufactured to the next highest strength grade.
4. If only MSR lamina are used, the wood species groups listed in table (a) may be disregarded, and the glulam may be manufactured to any strength category the corresponding lamina grades will support provided outermost lamina Class 1 criteria are followed. However, in this case, with regard to adhesive performance, qualificaiton testing shall be performed to verify the appropriate use environment criteria are satisfied.
5. If the strength grade of a structural glued laminated timber has been verified by simulation calculations associated with full scale strength test or by validation testing for the glulam, said structural glulam may be deemed to have complied with the standards in this section.

(2) Mixed-grade Composition Glulam (Symmetrical)
(a) MSR Laminae
As shown in the table below, laminae for the outermost layer shall be graded from L 200 through to L 30 depending on the machine grade of outermost layer laminae noted in the right column of Appended Table (2) that corresponds to the strength grade specified in the left column of the same table (corresponding to the strength grade of the glulam to be graded).

| Grade by grading machine |
|---|
| L200 |
| L180 |
| L160 |
| L140 |
| L125 |
| L110 |
| L100 |
| L 90 |
| L 80 |
| L 70 |
| L 60 |
| L 50 |
| L 40 |
| L 30 |

(b) Lamina Quality Composition

Criteria for lamina quality composition shall be as specified in the table below:

| Marking grade | Lamina for outermost layer | Lamina for outer layer | Lamina for middle layer | Lamina for inner layer |
|---|---|---|---|---|
| ME120−F330 | Not lower than L160 | Not lower than L160 | Not lower than L110 | Not lower than L30 |
| ME105−F300 | Not lower than L140 | Not lower than L140 | Not lower than L100 | Not lower than L30 |
| ME 95−F270 | Not lower than L125 | Not lower than L125 | Not lower than L90 | Not lower than L30 |
| ME 85−F255 | Not lower than L110 | Not lower than L110 | Not lower than L80 | Not lower than L30 |

(Note) 1. If the strength grade of a structural glued laminated timber has been checked by simulation calculations associated with full scale strength testing or valididation testing, said structural glulam may be deemed to have complied with the standards in this section.

2. Bond performance shall be checked, through validation testing, to verify bond performance is suitable for the relevant use environment.

(3) Mixed-grade Composition Glulam (non-symmetrical)

(a) Lamina for Outermost Layer – Tension Side

Outermost lamina classes 1 through 5 are listed in the table below by wood species groups and corresponding to the outermost tension side lamina grades which are also listed in the right-hand column of "special Table Attachment 1" with the rated strength classes for non-symmetrical mixed grade members listed in the center column of the same table.

| | | Compression side | | | | Tension side | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Lamina for outermost layer | Lamina for outer layer | Lamina for middle layer | Lamina for inner layer | Lamina for inner layer | Lamina for middle layer | Lamina for outer layer | Lamina for outermost layer |
| Lamina for the outermost layer of tension side, graded as Class 1 | Visually rated lamina | Not lower than Grade 2 | Not lower than Grade 2 | Not lower than Grade 3 | Not lower than Grade 3 | Not lower than Grade 3 | Not permitted for use | Not permitted for use | Not permitted for use |
| | Lamina rated by grading machine | Not lower than Δ2G | Not lower than Δ2G | Not lower than Δ3G | Not lower than Δ4G | Not lower than Δ4G | Not lower than Δ2G | Not lower than Δ1G | G |
| | Knot diameter ratio at an edge of width surface | Other than MSR lamina, not more than 25% | Other than MSR lamina, not more than 25% | Other than MSR lamina, not more than 33% | Other than MSR lamina, not more than 33% | Other than MSR lamina, not more than 33% | Other than MSR lamina, not more than 25% | Other than MSR lamina, not more than 17% | Not more than 17% |
| Lamina for the outermost layer of tension side, graded as Class 2 | Visually rated lamina | Not lower than Grade 3 | Not lower than Grade 3 | Not lower than Grade 4 | Not lower than Grade 4 | Not lower than Grade 4 | Not lower than Grade 3 | Not permitted for use | Not permitted for use |
| | Lamina rated by grading machine | Not lower than Δ2G | Not lower than Δ2G | Not lower than Δ3G | Not lower than Δ4G | Not lower than Δ4G | Not lower than Δ2G | Not lower than Δ1G | G |
| | Knot diameter ratio at an edge of width surface | Other than MSR lamina, not more than 33% | Other than MSR lamina, not more than 33% | Other than MSR lamina, not more than 50% | Other than MSR lamina, not more than 50% | Other than MSR lamina, not more than 50% | Other than MSR lamina, not more than 33% | Other than MSR lamina, not more than 25% | Not more than 17% |
| Lamina for the outermost layer of tension side, | Visually rated lamina | Not lower than Grade 3 | Not lower than Grade 3 | Not lower than Grade 4 | Not lower than Grade 4 | Not lower than Grade 4 | Not lower than Grade 3 | Not lower than Grade 2 | Not permitted for use |
| | Lamina rated by grading machine | Not lower than Δ2G | Not lower than Δ2G | Not lower than Δ3G | Not lower than Δ4G | Not lower than Δ4G | Not lower than Δ2G | Not lower than Δ1G | G |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| graded as Class 3 | Knot diameter ratio at an edge of width surface | Other than MSR lamina, not more than 33% | Other than MSR lamina, not more than 33% | Other than MSR lamina, not more than 50% | Other than MSR lamina, not more than 50% | Other than MSR lamina, not more than 50% | Other than MSR lamina, not more than 33% | Other than MSR lamina, not more than 25% | Not more than 17% |
| Lamina for the outermost layer of tension side, graded as Class 4 | Visually rated lamina | Not lower than Grade 3 | Not lower than Grade 3 | Not lower than Grade 4 | Not lower than Grade 4 | Not lower than Grade 4 | Not lower than Grade 3 | Not lower than Grade 3 | Not permitted for use |
| | Lamina rated by grading machine | Not lower than Δ2G | Not lower than Δ2G | Not lower than Δ3G | Not lower than Δ4G | Not lower than Δ4G | Not lower than Δ2G | Not lower than Δ1G | G |
| | Knot diameter ratio at an edge of width surface | Other than MSR lamina, not more than 33% | Other than MSR lamina, not more than 33% | Other than MSR lamina, not more than 50% | Other than MSR lamina, not more than 50% | Other than MSR lamina, not more than 50% | Other than MSR lamina, not more than 33% | Other than MSR lamina, not more than 33% | Not more than 25% |
| Lamina for the outermost layer of tension side, graded as Class 5 | Visually rated lamina | Not lower than Grade 3 | Not lower than Grade 3 | Not lower than Grade 4 | Not lower than Grade 4 | Not lower than Grade 4 | Not lower than Grade 3 | Not lower than Grade 3 | Not permitted for use |
| | Lamina rated by grading machine | Not lower than Δ2G | Not lower than Δ2G | Not lower than Δ3G | Not lower than Δ4G | Not lower than Δ4G | Not lower than Δ2G | Not lower than Δ1G | G |
| | Knot diameter ratio at an edge of width surface | Other than MSR lamina, not more than 33% | Other than MSR lamina, not more than 33% | Other than MSR lamina, not more than 50% | Other than MSR lamina, not more than 50% | Other than MSR lamina, not more than 50% | Other than MSR lamina, not more than 33% | Other than MSR lamina, not more than 33% | Not more than 25% |

(Note) 1. G shall represent the lamina machine grade listed in table (a) outermost layer laminae, tension side.

2. △1G, △2G, △3G, and △4G shall be the lamina machine grade listed in table (a) that is one class, two, three classes and four classes lower than G, respectively.

3. If only machine graded lamina are used, and lamina having a machine grade one grade higher than Class 1 of the respective wood species group listed in table (a) is used along with outermost lamina Class 1 criteria, structural glued laminated timbers can be manufactured to the next highest strength grade.

4. If only MSR lamina are used, the wood species groups listed in table (a) may be disregarded, and the glulam may be manufactured to any strength category the corresponding lamina grades will support provided outermost lamina Class 1 criteria are followed. However, in this case, with regard to adhesive performance, qualificaiton testing shall be performed to verify the appropriate use environment criteria are satisfied.

5. If the strength grade of a structural glued laminated timber has been verified by simulation calculations
associated with full scale strength test or by validation testing for the glulam, said structural glulam may

(4) Same-grade Composition Glued Laminated Timber

(a) Lamina

a. Visually Graded Laminae

Lamina shall be classified by Class 1 through Class 3 according to the table below for lamina correpsonding to the visual grades and wood species groups listed in the Special Attachment Table 3 corresponding to the member strength Grade in the same Table.

| Grade by visual rating | Wood species group | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | A | B | C | D | E | F |
| Grade 1 | Class 1 | Class 1 | Class 1 | Class 1 | Class 1 | Class 1 |
| Grade 2 | Class 2 | Class 2 | Class 2 | Class 2 | Class 2 | Class 2 |
| Grade 3 | Class 3 | Class 3 | Class 3 | Class 3 | Class 3 | Class 3 |

b. Laminae rated by Grading Machine

Lamina shall be classified by Class 1 through Class 4 according to the table below for lamina correpsonding to the machine grade and wood species groups listed in the Special Attachment Table 3 corresponding to the member strength Grade in the same Table.

| Grade by the grading machine | Wood species group | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | A | B | C | D | E | F |
| L200 | Class 1 | | | | | |
| L180 | Class 1 | Class 1 | | | | |
| L160 | Class 1 | Class 1 | Class 1 | | | |
| L140 | Class 2 | Class 1 | Class 1 | Class 1 | | |
| L125 | Class 3 | Class 2 | Class 1 | Class 1 | Class 1 | |
| L110 | | Class 3 | Class 2 | Class 1 | Class 1 | Class 1 |
| L100 | | | Class 3 | Class 2 | Class 1 | Class 1 |
| L 90 | | | | Class 3 | Class 2 | Class 1 |
| L 80 | | | | | Class 3 | Class 2 |
| L 70 | | | | | | Class 3 |
| L 60 | | | | | | Class 4 |

b. Lamina Composition Quality
Standards for the lamina composition quality shall be as specified in the table below:

| | lamina | |
|---|---|---|
| In the case of Class 1 lamina | Visually graded | Not lower than Grade 1 |
| | Lamina rated by grading machine | G |
| | Knot diameter ratio at an edge of width | Other than MSR lamina, not more than 17% |
| In the case of Class 2 lamina | Visually graded | Not lower than Grade 2 |
| | Lamina rated by grading machine | G |
| | Knot diameter ratio at an edge of width | Other than MSR lamina, not more than 25% |
| In the case of Class 3 lamina | Visually graded | Not lower than Grade 3 |
| | Lamina rated by grading machine | G |
| | Knot diameter ratio at an edge of width | Other than MSR lamina, not more than 33% |
| In the case of Class 4 lamina | Visually graded | Not permitted for use |
| | Lamina rated by grading machine | G |
| | Knot diameter ratio at an edge of width | Other than MSR lamina, not more than 33% |

(Note) G shall refer to the machine grade specified in table b of Section a "Lamina."

4. Standards for surface quality of finished glulam specified in Section 1 shall be as follows:

| Categories | Criteria | | |
|---|---|---|---|
| | Type 1 | Type 2 | Type 3 |
| Paint condition | Well worked. | The same as left. | The same as left. |
| Knots (except live knot), holes, resin pocket, resin streak, bark pocket, splits, rough grain, flaw, scratch and open joint | Not permitted or permitted if excellent workmanship can be achieved by plugging, or filling of synthetic resin, etc. | Permitted if not conspicuous and not injurious to workability. | |
| Discoloration and stains | Permitted if they harmonize with the color and gross specific to the timber and its appearance is balanced. | Permitted if not conspicuous. | The same as left. |
| Knife skip, adhesive bleeding or wane | Not permitted. | The same as left. | 1. Permitted if any knife skip and adhesive bleeding is local and inconspicuous.<br>2. For wane, it shall be permitted if the dimensions are extremely small and the degree is |

5. The standards for the minimum radius of curvature of the curved part set forth in Section 1 shall be as provided hereunder:
The minimum radius of curvature of the curved part (refers to the radius of curvature at the most inward curved point of a lamina where the curvature radius is minimum) shall be not less than the corresponding value listed in the table below.

| Thickness of the thickest lamina | Minimum radius of curvature of the curved part | | | |
|---|---|---|---|---|
| | A case where wood species of a lamina is only applicable to No. 5 or 6 of the "Wood Species Group" specified in the table of the "Criteria" column of the "Bonding | | Other cases than the left | |
| | In the case of partially curved | Other cases than the left | In the case of partially curved | Other cases than the left |
| 5 | 500 | 525 | 600 | 625 |
| 10 | 1,080 | 1,300 | 1,280 | 1,540 |
| 15 | 1,770 | 2,280 | 2,070 | 2,670 |
| 20 | 2,480 | 3,400 | 3,000 | 4,000 |
| 25 | 3,500 | 4,750 | 4,125 | 5,625 |
| 30 | 4,650 | 6,300 | 5,490 | 7,440 |
| 35 | 5,950 | 8,050 | 7,140 | 9,450 |
| 40 | 7,480 | 9,920 | 9,000 | 11,600 |
| 45 | 9,360 | 11,925 | 11,115 | 13,950 |
| 50 | 11,750 | 14,000 | 13,500 | 16,500 |

(Note) In the case of partially curved timbers, "partial curve" means one section of the member is curved in the lengthwise direction while the remaining sections are straight.
6. Standards for end joint spacing in adjacent layers as specified in Section 1, shall be as follows.

| | Those using scarf joints (meaning those for which the scarf inclination is not more than 1/7.5) | Those using scarf joints (meaning those for which the scarf inclination is not more than 1/7.5, those for which fitness is 0.1mm or more, those for which the finger length is 10.5 mm or more (for inner layer) or 12.0 mm or more (for layers other than inner layer) |
|---|---|---|
| A case where, apparently, the lamina is used only for beams or other locations where high bending strengths are required | For lamina in the outermost layer, as well as outer layer lamina (limited to the lamina for outermost layer and lamina for outer layer of the tensile side of a mixed-grade composition glulam (non-symmetrical) and their adjacent lamina, end joined portions among these laminae shall | For a lamina for outermost layer and a lamina for outer layer (limited to the lamina for outermost layer and lamina for outer layer of the tensile side, for a mixed-grade composition glulam (non-symmetrical) and their adjacent lamina, end joined portions among these laminae shall be not less than 15 cm away from one another. |
| A case where, apparently, the lamina is used only for posts or other locations where high compressive strengths are required | Joints of lamina of the adjacent lamina shall not be overlapped. | The same as left. |
| Other cases than those above | Joints of lamina of the adjacent lamina shall not be overlapped. | For the adjacent laminae, end jointed portions shall be spaced at least 15 cm away from one another. |

(Note) If the sufficient strength of lamina end joints have been checked by a proof loader, such structural glulam may be deemed to have complied with the standards in this section.

Appended Table
(1) Mixed-grade composition glulam (symmetrical and non-symmetrical)

| Mixed-grade composition glulam (symmetrical) strength grade | Mixed-grade composition glulam (non-symmetrical) strength grade | Machine grade of outermost lamina |
|---|---|---|
| E170－F495 | E160－F480 | L200 |
| E150－F375 | E140－F420 | L180 |
| E135－F375 | E125－F360 | L160 |
| E120－F330 | E110－F315 | L140 |
| E105－F300 | E100－F285 | L125 |
| E 95－F270 | E 90－F255 | L110 |

| | | |
|---|---|---|
| E 85−F255 | E 80−F240 | L100 |
| E 75−F240 | E 70−F225 | L 90 |
| E 65−F225 | E 60−F210 | L 80 |
| E 65−F220 | E 60−F205 | L 80 |
| E 55−F200 | E 50−F170 | L 70 |

(Note) 1.With regard to lamina composition quality for E65−F225 members, use of L50 lamina is restricted to the inner layer.
2. With regard to lamina composition quality for E60−F210 members, L50 is restricted for use in the inner layers of the compression side and the tensile side.

(2) Mixed−grade composition glulam (specified symmetrical composition)

| Specified mixed−grade composition glulam strength grade | Grade of outermost layer lamina specified as machine rating grade |
|---|---|
| ME120−F330 | Not lower than L160 |
| ME105−F300 | Not lower than L140 |
| ME 95−F270 | Not lower than L125 |
| ME 85−F255 | Not lower than L110 |

(3) Same−grade composition glulam

| Strength grade of four (4) or more layers of same−grade composition glulam | Strength grade of three (3) layers of same−grade composition glulam | Strength grade of two (2) layers of same−grade composition glulam | Grade of lamina | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Grade by visual rating | | | | | | |
| | | | Wood species group A | Wood species group B | Wood species group C | Wood species group D | Wood species group E | Wood species group F | Grade by machine rating |
| E190−F615 | E190−F555 | E190−F510 | | | | | | | L200 |
| E170−F540 | E170−F495 | E170−F450 | | | | | | | L180 |
| E150−F465 | E150−F435 | E150−F390 | Grade | | | | | | L160 |
| E135−F405 | E135−F375 | E135−F345 | Grade | Grade | | | | | L140 |
| E120−F375 | E120−F330 | E120−F300 | Grade | Grade | Grade | | | | L125 |
| E105−F345 | E105−F300 | E105−F285 | | Grade | Grade | Grade | | | L110 |
| E 95−F315 | E 95−F285 | E 95−F270 | | | Grade | Grade | Grade | | L100 |
| E 85−F300 | E 85−F270 | E 85−F255 | | | | Grade | Grade | Grade | L 90 |
| E 75−F270 | E 75−F255 | E 75−F240 | | | | | Grade | Grade | L 80 |
| E 65−F255 | E 65−F240 | E 65−F225 | | | | | | Grade | L 70 |
| E 55−F225 | E 55−F225 | E 55−F200 | | | | | | | L 60 |

(Standards for Decorative Structural Glued Laminated Timber Post)

Article 6. The standards for decorative structural glued laminated timber posts shall be as provided hereunder:

<table>
<tr><th colspan="2">Category</th><th>Criteria</th></tr>
<tr><td rowspan="4">Product quality</td><td>Bonding quality</td><td>1. For the bonding quality of a decorative veneer, the results of immersion delamination tests specified in Item (1) of Section 3 of Appendix shall indicate that the delamination rate for both butt ends' surface is 10% or lower and the sum of the length of delamination that occurs in the same glue line is not more than one third of the length of each test specimen.<br>2. The bonding quality of laminated layers of a lamina (excluding decorative veneer) shall meet the requirements specified in the following Items of (1), (2), and (4) or Items of (3) and (4):<br>(1) Results of immersion delamination tests specified in Item (1) of Section 3 of Appendix shall indicate that the delamination rate for both butt ends' surface is 5% or lower and the length of delamination that occurs in the same glue line is not more than one fourth of the length of each test specimen.<br>(2) Results of boiling water delamination tests specified in Item (2) of Section 3 of Appendix shall indicate that the delamination rate for both butt ends' surface is 5% or lower, and the length of delamination that occurs in the same glue line is not more than one-fourth of the length of each test specimen.<br>(3) Results of vacuum-pressure delamination tests specified in Item (3) of Section 3 of Appendix shall indicate that the delamination rate for both butt ends' surface is 5% or lower, and the length of delamination that occurs in the same glue line is not more than one-fourth of the length of each test specimen.<br>(4) Results of block shear tests specified in Item (4) of Section 3 of Appendix shall indicate that both the shear strength and the wood failure rate of a test specimen are not less than the values listed in the table below. However, in a case where one of both the shear strength and the wood failure rate of a test specimen is not less than the values listed in the table below, and the other is less than such values, retests for the glue line area may be performed.
<table>
<tr><th>Wood species group</th><th>Shear strength (MPa or N/mm$^2$)</th><th>Wood failure ratio (%)</th></tr>
<tr><td>Itayakaede (Acer mono)、Birch (Betula maximowicziana)、Beech (Fagus crenata)、White oak (Quercus crispula)、Keyaki (Zelkova serrata)、Apiton (Dipterocarpus spp.)</td><td>9.6</td><td rowspan="2">60</td></tr>
<tr><td>Tamo (Fraxinus mandshrica)、Shioji (Fraxinus apaethiana)、Nire (Ulmus davidiana)</td><td>8.4</td></tr>
<tr><td>Hinoki (Chamaecyparis obtusa)、Hiba (Thujopsis dolabrata)、Karamatsu (Larix leptolepis)、Akamatsu (Pinus densiflora)、Kuromatsu (Pinus Thunbergii)、Beihi (Chamaecyparis lawsoniana)、Dafurika karamatsu (Larix gmelini)、Southern pine (Pinus spp.)、Beimatsu (Pseudotsuga)、White cypress pine (Callitris glauca)</td><td>7.2</td><td rowspan="3">65</td></tr>
<tr><td>Tsuga (Tsuga sieboldii)、Alaska yellow cedar (Chamaecyparis nootkatensis)、Benimatsu (Pinus koraiensis)、Radiata pine (Pinus radiata)、Beitsuga (Tsuga heterophilla)</td><td>6.6</td></tr>
<tr><td>Momi (Abies Firma)、Todomatsu (Abies sachalinensis)、Ezomatsu (Picea jezoensis)、Beimomi (Abies spp.)、Spruce (Picea spp.)、Lodgepole pine (Pinus contota)、Ponderosa pine (Pinus ponderosa)、Pushuu akamatsu (Pinus sylvestris)</td><td>6.0</td></tr>
<tr><td>Sugi (Criptomeria japonica)、Beisugi (Thuja plicata)</td><td>5.4</td><td>70</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>Moisture content</td><td>The results of moisture content tests specified in Item (5) of Section 3 of Appendix shall indicate that an average of the moisture content of test specimens taken from the same sample glulam is 15% or lower.</td></tr>
<tr><td>Resistance to surface check</td><td>The results of tests for "Resistance to Surface Check" specified in Item (6) of Section 3 of Appendix shall indicate that no cracks develop on the surface of the test specimen or that if a crack develops, it is only a slight crack.</td></tr>
<tr><td>Lamina quality</td><td>Shall meet the "Standards for Lamina Quality" set forth in Section 3.</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td>Bending property</td><td>For decorative structural glued laminated timber posts, the results of the “bending test A” specified in (d) of Item (7) of Section 3 of the Appendix shall indicate that both Young’s modulus of bending and the bending strength of the sample glulam are not less than the value set forth in the table below:
<table>
<tr><th>Wood species group</th><th>Young’s modulus of bending (GPa or $10^3$N/mm$^2$)</th><th>Bending strength(MPa or N/mm$^2$)</th></tr>
<tr><td>Apiton (Dipterocarpus spp.)</td><td>13.0</td><td>46.5</td></tr>
<tr><td>Itayakaede (Acer mono)、Birch (Betula maximowicziana)、Beech (Fagus crenata)、White oak (Quercus crispula)、Keyaki (Zelkova serrata)、Dafurika karamatsu (Larix gmelini)、Southern pine (Pinus spp.)、Beimatsu (Pseudotsuga)</td><td>11.5</td><td>40.5</td></tr>
<tr><td>Hinoki (Chamaecyparis obtusa)、Hiba (Thujopsis dolabrata)、Karamatsu (Larix leptolepis)、Akamatsu (Pinus densiflora)、Kuromatsu (Pinus Thunbergii)、Beihi (Chamaecyparis lawsoniana)</td><td>10.5</td><td>37.5</td></tr>
<tr><td>Tsuga (Tsuga sieboldii)、Tamo (Fraxinus mandshrica)、Shioji (Fraxinus apaethiana)、Nire (Ulmus davidiana)、Alaska yellow cedar (Chamaecyparis nootkatensis)、Radiata pine (Pinus radiata)、Beitsuga (Tsuga heterophilla)</td><td>9.5</td><td>34.5</td></tr>
<tr><td>Momi (Abies Firma)、Todomatsu (Abies sachalinensis)、Ezomatsu (Picea jezoensis)、Beimomi (Abies spp.)、Spruce (Picea spp.)、Lodgepole pine (Pinus contota)、Benimatsu (Pinus koraiensis)、Ponderosa pine (Pinus ponderosa)、Pushuu akamatsu (Pinus sylvestris)、Jack pine (Pinus Pinus banksiana)Lauan (Parashorea, Pentacme, Shorea spp.)</td><td>8.5</td><td>31.5</td></tr>
<tr><td>Sugi (Criptomeria japonica)、Beisugi (Thuja plicata)、White cypress pine (Callitris glauca)</td><td>7.5</td><td>30.0</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>Formaldehyde emission amount</td><td>The same as the formaldehyde emission amount specified in paragraph 1 of Article 3.</td></tr>
<tr><td>Quality of visible surface</td><td>Shall meet the “The quality standards for visible surfaces” set forth in Section 4.</td></tr>
<tr><td>Warping, bows and twisting</td><td>The deviated length shall be not less than 1 mm per 3 meters of length of a glulam.</td></tr>
<tr><td>Grooving, chamfering and cutting works</td><td>Well worked.</td></tr>
<tr><td>Thickness of decorative veneer</td><td>Shall be not less than 1.2 mm.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Materials</td><td>Lamina</td><td>1. The number of lamina layers (excluding decorative veneer) shall be 5 layers or more.<br>2. A lamina (excluding decorative veneer) shall have a uniform thickness. However, this shall not apply to a case where the laminae are arranged in such a manner that the composition of the thickness is symmetric around the central axis of the lamina and this thickness is more than or equals to two-thirds of the thickness of the thickest lamina in the composition layer.</td></tr>
<tr><td>Adhesive</td><td>1. Adhesives used for adhesion in the lamination direction of a lamina (excluding decorative veneer) shall be resorcinol resins, resorcinol phenol resins, and water based polymer-isocyanate resins (shall be those that satisfy the performance of “Class 1, No.1” set forth in JIS K 6806. The same shall apply hereunder.), all of which satisfy required performance for “Usage Environment C,” or other adhesives that have a performance equivalent to or higher than that of these resins.<br>2. Adhesives used for adhesion in the longitudinal direction of a lamina (excluding decorative veneer) shall be resorcinol resins, resorcinol phenol resins, water based polymer-isocyanate resins, melamine resins and melamine-urea copoly-condensation resins, all of which satisfy required performance for “Usage Environment C,” or other adhesives that have a performance equivalent to or higher than that of these resins.</td></tr>
<tr><td>Dimensions</td><td>A difference between the marked and the measured dimensions shall be not less than values listed in the table below.<br>(Unit: mm)</td></tr>
</table>

| | |
|---|---|
| | Categories: Short side and long side — Difference between the marked and measured: +1.5 −0.5<br>Categories: Length — Difference between the marked and measured: +5.0 −0 |
| Items to be marked | The same as the section "Items to be marked" in Section 1 of Article 4. |
| Marking method | Shall be the same as the section "Items to be marked" in Section 1 of Article 4. However, marking of product's name and the name of wood species (core material) shall be made by the method set forth below.<br>(1) Product name<br>The product shall be marked as "decorative structural glued laminated timber post."<br>(2) Name of wood species (core material)<br>The name of wood species shall be given by the most common name. |
| Items prohibited from marking | The same as the section "Items prohibited from marking" in Section 1 of Article 3. |

2. For a decorative structural glued laminated timber post of which laminae are laminated widthwise as adjacent layers, a distance between two of the adhesion locations shall be the same as or not less than twice the thickness of the lamina.

3. The standards for the "Lamina Quality" set forth in Section1 shall be as provided hereunder:

| Category | Criteria |
|---|---|
| Knots and | Grouped knots diameter ratio shall be not more than 1/4. |
| Resin pocket, resin streak, and bark | Permitted if slight. |
| Grain inclination | Permitted up to 1/14. |
| Decay | Not permitted. |
| Splits | Permitted if very slight. |
| Discoloration | Permitted if slight. |
| Rough grain | Permitted if slight. |
| Open joints | Not permitted. |
| Mean width of annual rings (except Radiata pine) | Permitted up to 6 mm. |
| Center core or pith (only for Radiata pine) | Permitted if annual rings within 50 mm of radius from the center of pith do not exist. |
| Center core (only for lamina of outermost layer) | Not permitted. |
| Repair | Permitted of color or grain is fitting to its peripheral timber, and if a repaired part has no gaps and there is no concern of dropping off or denting. |
| Other defects | Permitted if very slight. |

(Note)

1. "Concentrated knot diameter ratio (CKDR)" represents the sum of the percentage of the diameter of a knot and/or hole present on the 15 cm surface of a lamina to the width of the lamina.
2. "Grain inclination" represents a ratio of the slope of the grain direction versus the width direction of a lamina.
3. The term "repair" shall refer to plugging, or filling of synthetic resin, etc.
4. Tiny clearance between the edge parts of scarf joint or finger joint shall not be deemed as a defect.
5. Measurement of a center core shall be based on the method shown in the figure of (Note) set forth in (1)-(a) of Section 2 of Article 5 and performed by using a measuring tool, exactly overlaying the 50 mm radius curve of the measuring tool over the annual ring boundary closest to the pith on the butt end surface, and comparing annual ring boundaries within an area between the 50-mm-radius- and the 100-mm-radius curves of the measuring tool, with such curves.

4. The quality standards for visible surfaces set forth in Section 1. shall be as provided hereunder:

| Categories | Criteria |
|---|---|
| Knots | Not permitted. |
| Resin pocket, resin streak, and bark | Permitted if very slight. |
| Chips and flaws | Not permitted. |

| | |
|---|---|
| Decay | Not permitted. |
| Splits | Not permitted. |
| Discoloration and stains | Permitted if very slight. |
| Holes | Not permitted. |
| Rough grain | Not permitted. |
| Blister, wrinkle, overlap and open joint | Not permitted. |
| Inconformity of color and grain | Permitted if the colors and the grain directions of the visible surface roughly harmonize with one another. |
| Repair | Permitted if the repaired part is small, the color or grain well matches with the surrounding surface, and the repaired part has no clearance and is free of coming-off or indentation. |
| Other defects | Permitted if very slight. |

(Note) Same as the Note for the quality standards for visible surfaces of Article 3 "Standards for glued laminated timber for fixtures."

Appendix

1 Sampling of Test Samples

(1) For a glulam from which test specimens are to be cut that are intended for immersion delamination tests, boiling water delamination tests, vacuum-pressure delamination tests, block shear tests, moisture content tests, tests for resistance to the surface check, and bending test A (excluding the case of full scale tests (shall refer to a test performed using whole glulam; he same shall apply hereunder) and the case of using a model specimen (shall refer to a scaled-down glulam having the same quality construction of lamina as that of glulam to be graded; the same shall apply hereunder.) or a glulam intended for bending test A on "full scale test" base and for bending tests on decorative structural glued laminated timber posts (hereinafter referred to as a "sample glulam"), the number of sample glulam pieces specified in the following tables (a) or (b) shall be sampled from one production lot at random as a Glued laminated timber for fixtures, decorative glued laminated timber for fixtures, and decorative structural glued laminated timber post (excluding boiling water delamination tests, vacuum-pressure delamination tests, block shear tests, and bending tests)

| Size of production lot (in pieces) | Number of sample glued laminated timber (in pieces) | |
|---|---|---|
| Up to 200 | 2 samples | If a retest is required, twice the number of |
| 201～500 | 3 samples | sample glulam pieces specified on the left |
| 501～1000 | 4 samples | shall be taken out. |
| 1001～3000 | 5 samples | |
| 3001 or more | 6 samples | |

b Structural glued laminated timbers and decorative structural glued laminated timber posts (only limited to boiling water delamination tests, vacuum-pressure delamination tests, block shear tests, and bending tests)

| Size of production lot (in pieces) | Number of sample glued laminated timber (in pieces) | |
|---|---|---|
| Up to 10 | 3 samples | If a retest is required, twice the number of |
| 11～20 | 4 samples | sample glulam pieces specified on the left |
| 21～100 | 5 samples | shall be taken out. |
| 101～500 | 6 samples | |
| 501 or more | 7 samples | |

(2) For a model specimen intended for bending test A in which model specimens are used, the number of model specimens specified in the right column of the following table shall be prepared depending on glulam pieces specified in the left column of the same table.

| Size of production lot (in pieces) | Number of pieces of model testing glulam |
|---|---|
| Up to 10 | 3 samples |
| 11～20 | 4 samples |
| 21～100 | 5 samples |
| 101～500 | 6 samples |
| 501 or more | 7 samples |

(3) For laminae intended for bending test B, bending test C, and tensile tests (hereinafter referred to as a "sample lamina"), the number of sample lamina pieces specified in the following table shall be taken out of one lot at random depending on the pieces specified in the left column of the same table.

| Size of production lot (in pieces) | Number of sample lamina (in pieces) |
|---|---|
| Up to 90 | 5 |
| 91～280 | 8 |
| 281～500 | 13 |
| 501～1,200 | 20 |
| 1,200 or more | 32 |

(4) For sample glulams intended for formaldehyde emissions testing, the number of sample glulam pieces specified in the right column of the following table shall be sampled from one lot at random depending on glulam pieces specified in the left column of the same table.

| Size of production lot (in pieces) | Number of sample glued laminated timber (in pieces) |
|---|---|
| Up to 1,000 | 2 |
| 1,001～2,000 | 3 |
| 2,001～3,000 | 4 |
| 3,001 or more | 5 |

2 Determination of Test Results
In a test other than bending test A, bending test B, bending test C, tensile tests, and formaldehyde emission tests, among test specimens cut out of a sample glulam extracted from one lot (in moisture content tests and/or in bending tests for a decorative structural glued laminated timber post, among sample glulams extracted from one lot), the lot of glulams shall be deemed to have passed such test if at least 90% of such test specimens are in compliance with standards related to the test; however, the lot shall be deemed to have failed to pass such test if less than 70% of test specimens are in compliance with the standards.
In a case where 70% or more but less than 90% of the specimens are in compliance with the standards, a retest for the lot shall be performed using sample glulams newly taken from the same lot. According to the retest results, the lot shall be deemed to have passed such test if at least 90% of such sample glulams are in compliance with the standards; the lot shall be deemed to have failed if less than 90% of the sample glulams are in compliance with the given test standards.

3 Testing Method
(1) Immersion Delamination Tests
a Preparation of Test Specimens

(i) Glued laminated timber for fixtures, decorative glued laminated timber for fixtures, and decorative structural glued laminated timber post
Three test specimens, any of which shall have a length of 75 mm and also have the same dimension as that of the butt-end cross-section of each sample glulam, shall be prepared from each full-sized piece of the sample glulam. In addition, for a test specimen from the secondary adhesion portion of a glued laminated timber for fixtures, such specimen shall be prepared so that the adhesion portion can be positioned in center of the specimen and also shall have a length of 180 mm and have the same dimension as that of the butt-end cross-section of each sample glulam. If the length of a finger is not more than 16 mm, by cutting the finger tips, one test specimen shall be prepared of which glue line is exposed on the butt-end cross-section of a sample glulam. If the length of a finger exceeds 16 mm, two test specimens shall be prepared by cutting the center part of the finger of a sample glulam.

(ii) Structural glued laminated timber (structural glulam)
One test specimen shall be prepared from both ends of each sample glulam piece with a length of 75 mm and the same cross section dimension as that of the sample glulam. In addition, for a test specimen of structural glulam of which lamination side is not less than 250 mm in length and of which lamina has a width direction side of 125 mm or more, such test specimen may be split at the member depth mid-point, parallel to the glue line(s). When split as described, the depth in the direction of lamination of each test specimen shall be roughly the same.

b Testing Method
(i) Glued laminated timber for fixtures, decorative glued laminated timber for fixtures, and decorative structural glued laminated timber post
Test specimens, after immersed in water at room temperature (10° C—25° C) for six hours, shall continue to be dried in a thermostatically controlled dryer at 40 ± 3° C (or 70° C ± 3° C for a decorative structural glued laminated timber post (excluding decorative veneer)) so as not to allow moisture to remain inside the dryer, until the dried mass has fallen to a range between 100% and110% of the pretest mass.
After that, the length of delamination (occurred in glue lines) on both butt ends of test specimen (excluding a test specimen of which delamination gap is less than 0.05 mm and/or of which delamination length is less than 3 mm; the same shall apply hereunder.) shall be measured to calculate not only the delamination rate for both butt ends' surface (The "both butt ends' surface" shall be read as a "finger joint portion on a butt end surface" for a test specimen from secondary adhesion portion of a glued laminated timber for fixtures.) but also the sum of the length of delamination, which occurs in the same glue lines (excluding the glue line of edge joints (except for a glulam glued and laminated during its manufacture of such products as stairs boards); the same shall apply hereunder.), on both butt ends.

(Note)
1 The delamination rate shall be calculated by the following equation:
Delamination rate (%) = Sum of the length of delamination on both butt ends／
Sum of the length of glue lines onboth butt ends × 100

2 In measurement of delamination length, neither timber fracture caused by, for example, dried splits and knots, nor delaminated portion where a knot is present shall be considered as delamination.

(ii) Structural glued laminated timber (structural glulam)
Test specimens, after being immersed in water at room temperature (10° C–25° C) for 24 hours, shall continue to be dried in a thermostatically controlled dryer at 70° C ± 3° C so as not to allow moisture to remain inside the dryer until the dried mass has fallen to a range between 100% and110% of the pretest mass. However, for a structural glulam with the "Use Environment A" indication, the above-mentioned treatment shall be conducted twice.
After that, the length of delamination on both butt ends of test specimen shall be measured to calculate not only the delamination rate for both butt end surfaces but also the sum of the length of delamination, which occurs in the same glue lines (excluding the glue line of edge joints; the same shall apply hereunder.), on both butt ends.
(Note)
1 The delamination rate shall be calculated by the following equation:
Delamination rate (%) = Sum of the length of delamination on both butt ends／
Sum of the length of glue lines on both butt ends × 100

2 In measurement of delamination length, neither timber fracture caused by, for example, dried splits and knots, nor delaminated portions where a knot is present shall be considered as delamination.

(2) Boiling Water Delamination Tests
a Preparation of Test Specimens
This provision shall be the same as that set forth in Item a of Paragraph (1).

b Testing Method
Test specimens, after being immersed in boiling water for four hours and later after being immersed in water at room temperature (10° C–25° C) for one hour, shall continue to be dried in a thermostatically controlled dryer at 70° C ± 3° C so as not to allow moisture to remain inside the dryer until the dried mass has fallen to a range between 100% and 110% of the pretest mass. However, for a glulam with the "Use Environment A" indication, the above-mentioned treatment shall be conducted twice.
After that, the length of delamination on both butt ends of test specimen shall be measured to calculate not only the delamination rate for both butt ends' surface but also the sum of the length of delamination, which occurs in the same glue lines, on both butt ends.
(Note)
1 The delamination rate shall be calculated by the following equation:
Delamination rate (%) = Sum of the length of delamination on both butt ends/
Sum of the length of glue lines on both butt ends × 100

2 In measurement of delamination length, neither timber fracture caused by, for example, dried splits and knots, nor peeled-off portions where a knot is present shall be considered as delamination.

(3) Vacuum-pressure Delamination Tests
a Preparation of Test Specimens
This provision shall be the same as that set forth in Item a of Paragraph (1).

b Testing Method
Test specimens, after being immersed in boiling water for four hours and later after being immersed in water at room temperature (10° C–25° C) for one hour, shall continue to be dried in a thermostatically controlled dryer at 70° C ± 3° C so as not to allow moisture to remain inside the dryer until the dried mass has fallen to a range between 100% and 110% of the pretest mass. However, for a glulam with the "Use Environment A" indication, the above-mentioned treatment shall be conducted twice.
After that, the length of delamination on both butt ends of test specimen shall be measured to calculate not only the delamination rate for both butt ends' surface but also the sum of the length of delamination, which occurs in the same glue lines, on both butt ends.

(Note)
1 The delamination rate shall be calculated by the following equation:
Delamination rate (%) = Sum of the length of delamination on both butt ends/
Sum of the length of glue lines on both butt ends × 100

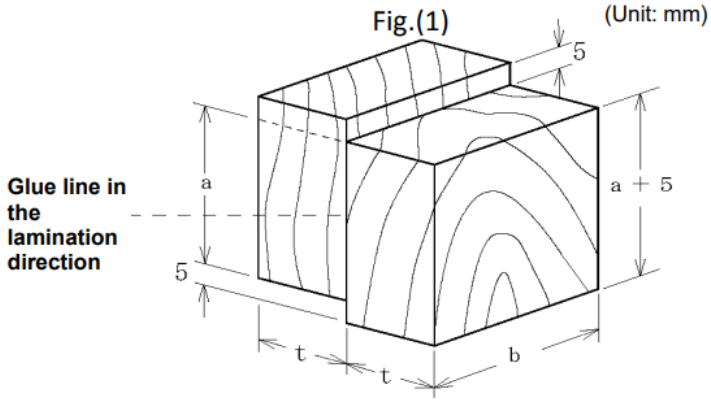
2 In measurement of delamination length, neither timber fracture caused by, for example, dried splits and knots, nor peeled-off portions where a knot is present shall be considered as delamination.

(4) Block Shear Tests
a Preparation of Test Specimens

(i) Decorative structural glued laminated timber post
Test specimens shall be prepared from each sample glulam piece in such a shape as shown in Fig. (1) or Fig. (2) so that all glue lines in the lamination direction can be involved. The standard moisture content of the test specimen during the tests shall be 12%.

(ii) Structural glulams
One test specimen shall be prepared from each end of the sample glulam in the shape shown in Fig. (1) or Fig. (2) for all glue lines in the lamination direction, or in such a shape as shown in Fig. (3) for all glue lines in the lamina's width direction. However, in cases where no load is applied to the width direction of lamina, test specimens shall be prepared only for glue lines in the lamination direction. In addition, for secondary glue lilnes in the width direction, a required number of test specimens shall be prepared from the secondary adhesion layers of each sample glulam piece at the rate of one test specimen per 10 cm width of lamina for which secondary adhesion processes have not yet been initiated. For secondary adhesion of both the width direction and the lamination direction, a required number of test specimens shall be prepared not only from the above-mentioned secondary layers but also from the secondary adhesion layers of each sample glulam piece at the rate of one test specimen per 10 cm length of lamina. The standard moisture content of the test specimen during the tests shall be 12%

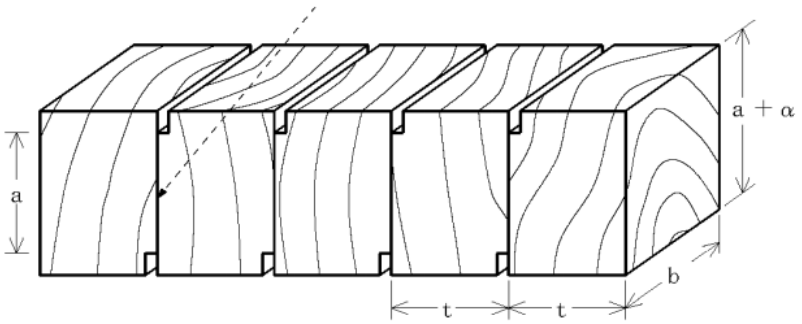
Fig.(1) (Unit: mm)




(Note) "a" and "b" shall be any length ranging from 25 mm to 55 mm.

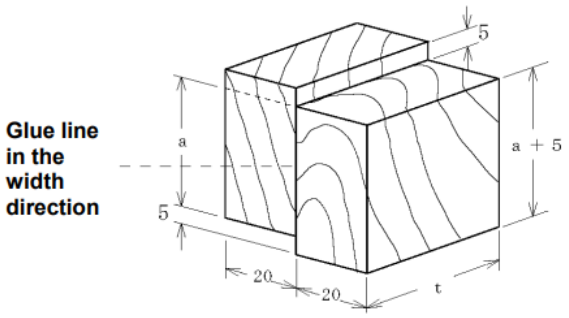
Glue line in the lamination

Fig.(2) (Unit: mm)




(Note) "a" shall be any length ranging from 25 mm to 55 mm, "α" shall be an incision depth that is suitable for the device used, and "t" shall be the thickness of lamina.

Fig.(3) (Unit: mm)




(Note) "a" shall be any length ranging from 25 mm and 55 mm and "t" shall be the thickness of lamina or the available maximum length of a lamina if the lamina's shape is difficult to be measured.

b Testing Method
Test specimens shall be loaded up to fracture at a standard loading rate of around 9800 N per minute, not only using a testing machine with a loading capacity, a range between 15% and 85% of which shall include the breaking load of the test specimens, but also using a shearing machine designed to prevent any rotational moment from being exerted thereon and to keep the shearing surface of the specimens and the load axis parallel. The shear strength and wood failure rate of a test specimen shall be determined by the following equation:
Shearing strength (Mpa or N/mm) = Maximum load at which a test specimen fails (N)／
Area of the adhesion portion (a × b) (mm2)
(Note) Test specimens having knots, resin pockets, and other defects in measuring areas may be removed from test specimens to be used for measurement. Thus, new test specimens shall be taken from other portion of the glue line area and then shall be retested. The results of the retest shall be determined.

(5) Moisture Content Tests
a Preparation of Test Specimens
Two test specimens of proper size shall be prepared from each sample glulam.

b Testing Method
After weighing, a test specimen shall be dried in a dryer at a temperature between 100° C and 105° C. When the test specimen is considered to have reached a constant mass (meaning when the difference between two mass values, each of which is measured at intervals of six hours, is not more than 0.1% of the mass of such test specimen, or meaning when it can be found that such condition has been achieved), the mass of such test specimen shall be again measured (this mass shall be hereinafter referred to as "bone dry mass"). Moisture content shall be calculated down to 0.1% by the following equation; an average of the moisture content of test specimens prepared from the same sample glulam shall be calculated down to 0.5%. However, other methods may also be used if they can clearly determine whether the test specimens satisfy standard criteria.

Moisture content (%) = ( W1 − W2) ／ W2 × 100

Where: W1 represents predried mass (g)
W2 represents bone dry mass (g)

(6) Tests for Resistance to the Surface Check
a Preparation of Test Specimens
Two test specimens, each of which shall have a length of 150 mm and also have the same dimension as that of the butt-end cross-section of each sample glulam, shall be prepared from each full-sized piece of the sample glulam.

b Testing Method
After aluminum foil is glued to the butt end surface of a test specimen with rubber type adhesives, the test specimen shall be dried in a constant temperature dryer for twenty four hours at 60 ± 3° C.

(7) Bending Tests

a Bending Test A
(i) Preparation of Test Specimens or Model Specimens
For a straight glulam with a uniform cross section (excluding glulams for which actual size tests are difficult to be performed), a test specimen shall be prepared from the full-sized piece of each sample glulam. For other type glulams, one test specimen set forth in Subparagraph (a) shall be prepared from each side of every sample glulam in the width direction or the model specimen set forth in Subparagraph (b) shall be prepared. The standard moisture content of the test specimen during the tests shall be 12%.

a. Each test specimen shall meet the following requirements:
(a) The thickness shall be half of that of the sample glulam.
(b) The width shall be not less than half of that of the sample glulam.
(c) The length shall be not less than twenty times the thickness thereof.
(d) If the sample glulam has an end joint in its outermost layer, the test specimen shall be prepared so that it can include said end joint.

b. Any model specimen shall meet the following requirements:
(a) The quality construction of its lamina shall be the same as that of the sample glulam.
(b) The thickness shall be around 300 mm.
(c) The width shall be the same as that of the sample glulam.

( ii ) Testing Method
Using the approach shown in Fig. (4), upper- and lower-load limits between which a proportional relationship exists, the deflection corresponding to these loads, and the maximum load shall be measured to obtain Young's modulus of bending and bending strength. In this case, the same amount of load shall be applied to both loading points and the average loading rate shall not exceed 14.7 MPa/min. In addition, in a case where the correct direction for use is marked or labeled, the sample glulam shall be placed with its top surface upward; in other cases, the sample glulam shall be placed, for a mixed-grade composition glulam (symmetrical), with the loading direction perpendicular to lamination layers, for mixed-grade composition glulam (non-symmetrical), with the tensile side downward, for a same-grade composition glued laminated timber of which lamination is four (4) layers or more, with the loading direction perpendicular to the lamination layers, and, for a same-grade composition glued laminated timbered which lamination is two (2) or three (3), with the loading direction parallel to the lamination layers.

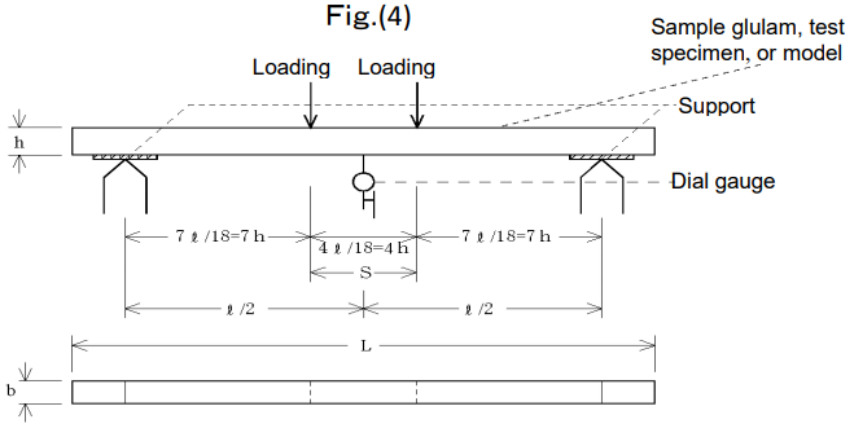
Note:
1. One span shall be not less than eighteen times the thickness of a sample glulam, test specimen, or model specimen.
2. Young's modulus of bending and bending strength shall be calculated by the following equations, respectively:

$$\text{Young's modulus of bending (Mpa or N/mm}^2) = \Delta P\,(\ell - S)\,(2\ell^2 + 2S - S^2) / 8\,\Delta y b h^3$$

$$\text{Bending strength (MPa or N/mm}^2) = 3Pb\,(\ell - S) / 2bh^2$$

Where: $\Delta P$ represents a difference between the upper-limit and lower-limit loads in a range where a proportional relationship exists (N)
$\Delta y$ is a deflection at center of span corresponding to $\Delta P$ (mm)
$\ell$ is a span (mm)
S is distance between loading points (mm)
b is the width of a sample glulam, test specimen, or model specimen (mm)
h is the thickness of the sample glulam, test specimen, or model specimen (mm)
Pb is the maximum load (N)

Fig.(4)




ℓ : span
h: thickness of the sample glulam, test specimen, or model specimen
S: distance between loading points
b: width of the sample glulam, test specimen, or model specimen

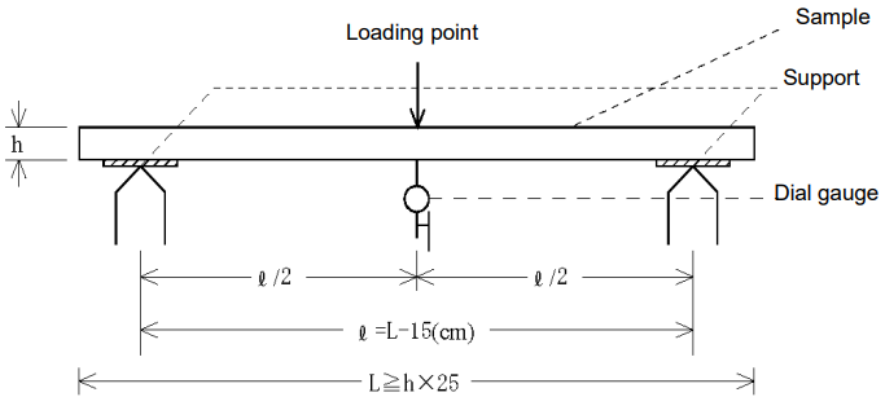
b Bending Test B

( i ) Testing Method
Using the approach shown in Fig. (5), the difference in deflections between deflection at initial loads and deflection at final load shall be measured to obtain Young's modulus of bending. The standard moisture content of the sample lamina during testing shall be 12%.
(Note) Young's modulus of bending shall be calculated by the following equation:

Young's modulus of bending (Mpa or $N/mm^2$) = $\Delta P \ell^3 / 4bh^3 \Delta y$

Where: ΔP is a difference between the initial load and final load (N)
Δy is a deflection at center of span corresponding to ΔP (mm)
ℓ is a span (mm)
b is the width of a lamina (mm)
h is the thickness of the lamina (mm)

Fig.(5)




L: sample's length
ℓ: span
h: sample's thickness

c Bending Test C
( i ) Preparation of Test Specimens
A test specimen, which shall have a length of not less than 25 times the thickness and also have the same width and same thickness as that of a sample lamina shall be prepared from the sample lamina. However, for laminae with end joints, the test specimen shall be prepared so that the end joint can be positioned at the mid point along the length of said specimen. The standard moisture content of a test specimen during testing shall be 12%.

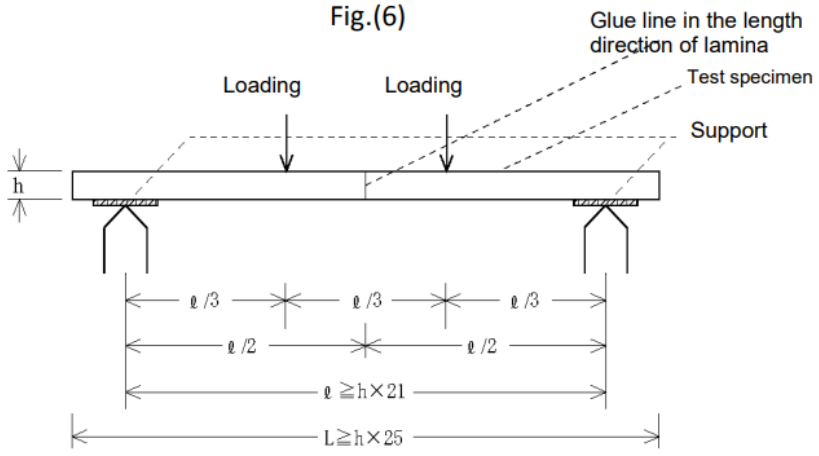
( ii ) Testing Method
Using the approach shown in Fig. (6), the maximum load shall be measured to obtain the bending strength. In this case, the same amount of load shall be applied to both loading points and the average load speed shall not exceed 14.7 MPa/min.

(Note) Bending strength shall be calculated by the following equation:

Bending strength (MPa or $N/mm^2$) = $Pb\,\ell / bh^2$

Where: Pb is the maximum load (N)
ℓ is the span of a test specimen (mm)
b is the width of the test specimen (mm)
h is the thickness of the test specimen (mm)

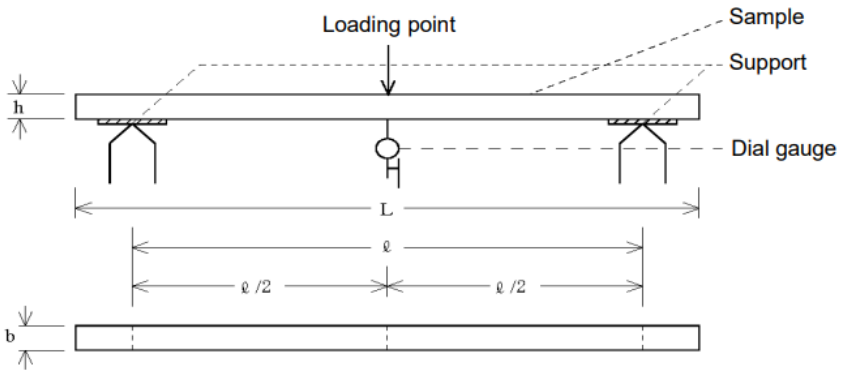
Fig.(6)




L: length of a sample glulam
ℓ : span
h: thickness of the sample glulam

d Bending test for decorative structural glued laminated timber posts
(i) Testing method
Bending tests shall be performed based on the approach shown in either Fig. (4) or Fig. (7). In this case, the loading direction shall be parallel to the lamination direction and the average loading speed shall be not exceed 14.7 MPa/min. In a case of using the approach shown in Fig. (4), the span shall be not less than eighteen times the thickness of a sample glulam; in a case of using the approach shown in Fig. (7), not less than fourteen times the thickness of the sample glulam. The standard moisture content of a test specimen during testing shall be 12%.

Fig.(7)




L: length of a sample glulam
ℓ : span
h: thickness of the sample glulam
b: width of the sample glulam

(Note)
1 When this test is to be performed using the approach shown in Fig. (4), the Young's modulus of bending and the bending strength shall be calculated by the following equations, respectively:

Young's modulus of bending (MPa or $N/mm^2$) = $\Delta P\,(\ell - S)(2\ell^2 + 2\ell S - S^2) / 8\Delta y b h^3$

Bending strength (MPa or $N/mm^2$) = $3Pb\,(\ell - S) / 2bh^2$

Where: $\Delta P$ is the difference between the upper-limit and lower-limit loads in a range where a proportional relationship exists (N)
$\Delta y$ is the deflection at the center of span corresponding to $\Delta P$ (mm)
$\ell$ is the span (mm)
S is the distance between loading points (mm)
b is the width of a sample glulam (mm)
h is the thickness of the sample glulam (mm)
Pb is the maximum load (N)

2 When this test is to be performed using the approach shown in Fig. (7), Young's modulus of bending and the bending strength shall be calculated by the following equations, respectively:

Young's modulus of bending (MPa or $N/mm^2$) = $\Delta P\ell^3 / 4bh^3\Delta y$

Bending strength (MPa or $N/mm^2$) = $3Pb\ell / 2bh^2$

Where: $\Delta P$ is a difference between the upper-limit and lower-limit loads in a range where a proportional relationship exists (N)
$\Delta y$ is a deflection at center of span corresponding to $\Delta P$ (mm)
$\ell$ is a span (mm)
b is the width of a sample glulam (mm)
h is the thickness of the sample glulam (mm)
Pb is the maximum load (N)

(8) Tensile Test

a Preparation of Test Specimens
One test specimen from each sample lamina shall be made so that the specimen has the same width and thickness as that of the lamina and also has a length equal to that of both end grips plus 60 cm or longer. However, for laminae with end joints, the test specimen shall be made so that the end joint can be positioned in center of such specimen. The standard moisture content of a test specimen during testing shall be 12%.

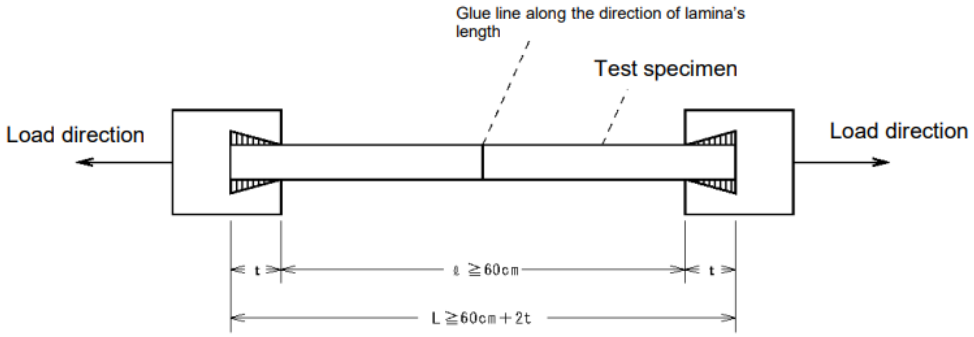
b Test Method
Based on the method shown in Fig. (8), the length of test specimen's edges held by both end grips shall be 30 cm or longer and the span shall be 60 cm or longer. Tensile loads shall be applied through both end grips. In this case, an average loading speed shall be 9.8 MPa/minute or lower.

(Note) Tensile strengths shall be calculated by the following equation:

Tensile strength (MPa or $N/mm^2$) = P／ bh

P is a maximum load (N)
b is the width of test specimen (mm)
h is the thickness of test specimen (mm)

Fig. (8)




(9) Formaldehyde Emission Amount Test
a Preparation of Test Specimens
The test specimen shall be cut from the portion of each glue laminated timber sample that is, in principle, 5 cm or more away from one end of the timber, with its cross-section dimensions maintained, to achieve a surface area of 450 cm2 (excluding both of the butt ends). Both of the butt ends shall be sealed with self-adhesive aluminum tapes or paraffins that are impermeable to formaldehyde. In addition, in a case where the cross-section dimension or length of a test specimen is larger than the size of the test container, such original test specimen shall be cut into multiple smaller test specimens of the same shape; these smaller test specimens can be used instead.
In this case, the cutting surface of the test specimen shall also be sealed.
b Testing Method
(i) Curing of Test Species
All the test specimens cut from the same glued laminated timber sample shall be sealed in a plastic bag and then conditioned in a thermostatic chamber, etc. at a constant temperature of 20° C ± 1° C for one day or longer.

(ii) Preparation of Reagents
Each reagents shall be prepared according to the following items (a) through (h):

a Iodine Solution (0.05 mol/L)
At first, 40 g of potassium iodide (the same as specified in JIS K 8913 "Potassium iodide (Reagent)") is dissolved in 25 mL of water. 13 g of iodine (the same as specified in JIS K 8920 "Iodine (Reagent)") is then dissolved in the solution. The Iodine Solution shall be prepared by transferring the resulting solution into a 1,000 mL volumetric flask (the same as specified in JIS R 3503 "Glass apparatus for chemical analysis"; the same shall apply hereunder.), by adding three drops of hydrochloric acid (the same as specified in JIS K 8180 "Hydrochloric acid (Reagent)"), and dilute with water to the specified volume.

b Sodium Thiosulfate Solution (0.1 mol/L)
This sodium thiosulfate solution shall be prepared as follows: 26 g of sodium thiosulfate pentahydrate (the same as specified in JIS K 8637 "Sodium thiosulfate pentahydrate (Reagent)") and 0.2 g of sodium carbonate (the same as specified in JIS K 8625 "Sodium carbonate (Reagent)") are dissolved into 1,000 mL of water with no dissolved oxygen. After being left for two days, using potassium iodate (the same as specified in JIS K 8005 "Reference materials for volumetric analysis"), the solution shall undergo the standardization procedure specified in JIS K 8001 ("General rule for test methods of reagents"), 4.5 ("Solutions for titration") (21.1) "0.1 mol/L sodium thiosulfate solution."

c Sodium Hydroxide Solution (1 mol/L)
Shall be prepared by dissolving 40 g of sodium hydroxide (the same as specified in JIS K 8576 "Sodium hydroxide (Reagent)") with 200 mL of water, by transferring the resulting solution into a 1,000 mL volumetric flask, and dilute with water up to the 1,000 mL mark.

d Sulfuric Acid Solution (1 mol/L)
Shall be prepared by dissolving 56 mL of sulfuric acid (the same as specified in JIS K 8951 "Sulfuric acid (Reagent)") with 200 mL of water, by transferring the resulting solution into a 1,000 mL volumetric flask, and diluting with water up to the 1,000 mL mark.

e Starch Solution
This starch solution shall be prepared as follows: At first, 1 g of starch (the same as specified in JIS K 8659 "Starch (soluble)(Reagent)" shall be mixed well with 10 mL of water and then, the solution shall be added into 200 mL of boiling water while stirring. The resulting solution shall be boiled for about one minute, cooled down, and filtered to give this starch solution.

f Formaldehyde Standard Stock Solution
Shall be prepared by transferring 1 mL of formaldehyde solution (the same as specified in JIS K 8872 "Formaldehyde solution (Reagent)") into a 1,000 mL volumetric flask and diluting with water up to the 1,000 mL mark.

The formaldehyde concentration of this solution shall be calculated using the following steps: 20 mL of the above-mentioned formaldehyde standard stock solution shall be dispensed into a 100 mL stoppered Erlenmeyer flask (the same as specified in JIS R 3503 "Glass apparatus for chemical analysis"; the same shall apply hereunder.). After adding 25 mL of iodine solution of Item (a) and 10 mL of sodium hydroxide solution of Item (c) into the flask, the resulting solution shall be left for 15 minutes at room temperature under light-shielded conditions. Subsequently, after adding 15 mL of sulfuric acid solution of Item (d) into the flask, theliberated iodine shall be immediately titrated with sodium thiosulfate solution of Item (b). After observing a change in color (pale yellow) of the solution, 1 mL of starch solution of Item (e) shall be added as an indicator, and the titration shall be continued. Moreover, blank tests shall be performed using 20 mL of water. The concentration of formaldehyde shall be given by the following equation:

$$C = 1.5 \times (B - S) \times f \times 1{,}000/20$$

Where C is the concentration of formaldehyde in a formaldehyde standard stock solution (mg/L)
S is the titer of 0.1 mol/L sodium thiosulfate solution in the formaldehyde standard stock solution (mL)
B is the titer of 0.1 mol/L sodium thiosulfate solution in a blank test (mL)
f is a factor of 0.1 mol/L sodium thiosulfate solution
1.5 is the amount of formaldehyde equivalent to 1 mL of 0.1 mol/L sodium thiosulfate solution (mg)

g Formaldehyde Standard Solution
Shall be prepared by placing an appropriate amount of formaldehyde standard stock solution into a 1,000 mL volumetric flask and diluting with water up to the 1,000 mL mark.
5 mg, 50 mg, and 100 mg of formaldehyde shall be contained in 1,000 mL of water for Standard Solutions A, B, and C, respectively.

h Acetylacetone-Ammonium Acetate Solution
This acetylacetone-ammonium acetate solution shall be prepared as follows: At first, 150 g of ammonium acetate (the same as specified in JIS K 8359 "Ammonium acetate (Reagent)") shall be dissolved with 800 mL of water. Next, 3 mL of glacial acetic acid (the same as specified in JIS K 8355 "Acetic acid (Reagent)") and 2 mL of acetylacetone (the same as specified in JIS K 8027 "Acetylacetone (Reagent)") shall be added to and mixed well in the solution. Further, dilute with water to a final volume of 1,000 mL. (When immediate measurements are not possible, this solution can be stored in a cool place (0° C-10° C) for up to three days after its preparation.)

(iii) Formaldehyde emission collection
As shown in Fig. (9), place 20 ml of distilled water in a small lidded polypropylene or polyethylene collection reservoir with an inner diameter of 57 mm and a height of 50-60 mm, water, shall be placed at the center of the bottom of about 40L test vessel made of acrylic resin (limited only to those capable of ensuring air tightness).
A test specimen shall be placed on top of the container (When there are a plurality of test specimens, as shown in Fig. (9), such specimens shall have to be fastened with support fittings in such a position that they cannot come in contact with each other) and shall be left at 20° C ± 1° C for 24 hours -0 and +5 minutes while the emitted formaldehyde is allowed to be absorbed into distilled water, which provides the sample solution.
Moreover, in order to measure the background concentration of formaldehyde, the above-mentioned steps shall be performed in such a state that no test specimen is present in the test vessel. The resulting solution shall be used as a background solution.

(Note) Except when trapping formaldehyde, introducing distilled water into a water collection container and taking out distilled water from the water collection container, in order to prevent formaldehyde present in the air from being adsorbed to the water collection container or being absorbed into the distilled water inside the container, such water shall need to have an inner lid.

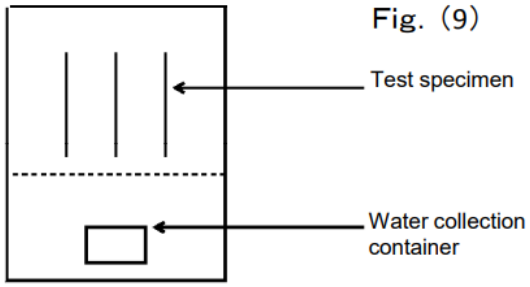



Fig. (9)

(iv) Procedure for measuring formaldehyde concentration
Concentrations of formaldehyde in a sample solution and a background solution shall be measured using an acetylacetone absorption spectrophotometry. At first, 10 mL of the sample solution specified in Section (iii) shall be placed into a stoppered container. Subsequently, 10 mL of acetylacetone-ammonium acetate solution shall be added to the container and mixed, with the container stoppered. After the stoppered container is heated in a warm water bath (at 65° C ± 2° C) for 10 minutes, this solution shall be left still under a light shielding condition until it reaches room temperature. This solution shall be transferred into an absorption cell. Next, a spectrophotometer shall be used to measure the absorbance at a wavelength of 412 nm (using water as a control).
In addition, if the concentration of such a sample solution is too high to achieve accurate measurements, 5 mL of the remaining sample solution shall be diluted 4-5 times with water. This diluted solution shall be used instead for the measurements according to the above-mentioned steps.

(v) Preparation of Calibration Curves
In preparing calibration curves, 0 mL, 2.0 mL, 4.0 mL, and 6.0 mL of three types of formaldehyde standard solutions shall be dispensed by a one-mark pipette (the same as specified in JIS R 3505 "Volumetric Glassware") and placed in each 100 mL one-mark flask. Water shall be subsequently added to bring the volume to 100 mL, thereby providing formaldehyde solutions for preparing calibration curves. Formaldehyde concentrations shall be: 0 mg/L, 0.1 mg/L, 0.2 mg/L, and 0.3 mg/L for Standard Solution A; 0 mg/L, 1.0 mg/L, 2.0 mg/L, and 3.0 mg/L for Standard Solution B; 0 mg/L, 2.0 mg/L, 4.0 mg/L, and 6.0 mg/L for Standard Solution C. All of these solutions shall be dispensed 25 mL each and undergo the procedures given in the above Section (iv), obtaining the relationship line between formaldehyde amount and absorbance. The slope of the line (F) may be graphically obtained or may be calculated.
In addition, those standard solutions A, B, and C shall be chosen for use depending on the estimated concentration of a sample solution.

(vi) Calculation of Formaldehyde Concentration
The concentration for a sample solution shall be calculated by the following equation:

$G = F \times (Ad - Ab) \times (1/3.75)$

Where: G is the formaldehyde concentration in the test specimen (mg/L)
Ad is the absorbance of the sample solution
Ab is the absorbance of a background solution
F is a slope of a calibration curve (mg/L)
(1/3.75) is a conversion factor for formaldehyde concentration

Labeling Format (relating to Articles 3, 4, and 6)

| | | | |
|---|---|---|---|
| Name of product<br>Wood species<br>Thickness of the decorative | for the core material | | for the decorative surface veneer |
| Surface veneer | | | |
| Visible Surface<br>Formaldehyde emission amount | Shorter side | Longer side | Length of the timber |
| Types of adhesive used, etc.<br>Manufacturer | | | |

Remarks
1 When using this format for a glued laminated timber for fixtures, the phrases "For the core material," "For the decorative surface veneer," and "Thickness of the decorative surface veneer" shall be deleted.
2 When using this format for any glulam with no indication of formaldehyde emissions, the phrase "Formaldehyde emission level" shall be deleted from the format.
3 When using this format for any glulam and not indicating that a non-formaldehyde-type adhesive is used therein, the phrase "Types of adhesive used, etc." shall be deleted from the format.
4 If labeling is made by a seller, the word "Manufacturer" shall be replaced with "Seller."
5 For imported goods not withstanding the provisions in Item 4, the "Manufacturer" in this format shall be replaced with "Importer."
6 This format may be written vertically.

Labeling Format (relating to Article 5)

| | |
|---|---|
| Name of product<br>Strength grade<br>Quality of surface<br>Bonding performance<br>Wood species<br>Dimensions<br>Number of lamina's<br>Inspection method | |

| | |
|---|---|
| Formaldehyde emission amount<br>Actual size strength<br>Proof loader<br>Types of adhesive used, etc.<br>Manufacturer | |

Remarks
1. When using this format for any glulam without veneer surface, the phrase "Number of lamina" shall be deleted from the format.
2. When using this format for any glulam and the phrase "bending performance testing conducted" is not indicated, the phrase "Inspection method" shall be deleted from the format.
3. When using this format for any glulam with no indication of formaldehyde emissions, the phrase "Formaldehyde emission level" shall be deleted from the format.
4. When using this format for any glulam with no indication that simulation calculations have been performed along with full scale strength tests or verification tests, the phrase "Full scale strength test" shall be deleted from the format.
5. When using this format for any glulam with no indication that strength has been verified with a proof loader, the phrase "Proof loader" shall be deleted from the format.
6. When using this format for any glulam with no indication that a non-formaldehyde-type adhesive is used therein, the phrase "Types of adhesive used, etc." shall be deleted from the format.
7. If labeling is made by a seller, the word "Manufacturer" shall be replaced with "Seller."
8. For imported goods, notwithstanding the provisions in Item 7, "Manufacturer" in this format shall be replaced with "Importer."
9. This format may be written vertically.

Supplementary Provisions (Notification No. 1152 of MAFF (Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries), September 25, 2007)

(Enforcement Date)
Article 1. This Notification shall go into effect 90 days after the date of promulgation.
(Revocation of the Japanese Agricultural Standard for Structural Glued Laminated Timber)

Article 2. The Japanese Agricultural Standard for Structural Glued Laminated Timber (Notification No. 111 of MAFF, January 29, 1996) shall be revoked.
(Interim Measure in Conjunction with Revision of the Japanese Agricultural Standard for Glued Laminated Timber)

Article 3. At the time when this Notification comes into effect, any glued laminated timber marked with a grade based on the Japanese Agricultural Standard for Glued Laminated Timber (before the revision according to this Notification) shall still be based on the previous standard.
(Interim Measure in Conjunction with Revocation of the Japanese Agricultural Standard for Structural Glued Laminated Timber)

Article 4. At the time when this Notification comes into effect, any structural glued laminated timber marked with
a grade based on the Japanese Agricultural Standard for Structural Glued Laminated Timber (before the revision according to this Notification) shall still be based on the previous standard.

# ประวัติผู้เขียน

| | |
|---|---|
| **ชื่อ-สกุล** | ศวิษฐ์ พิริยะสุรวงศ์ |
| **วัน เดือน ปี เกิด** | 28 พฤศจิกายน 2534 |
| **สถานที่เกิด** | กรุงเทพมหานคร |
| **วุฒิการศึกษา** | สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี ภาควิชาสถาปัตยกรรม สาขาออกแบบภายใน คณะสถาปัตยกรรมและการออกแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ในปีการศึกษา 2557 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท ภาควิชาสถาปัตยกรรมภายใน สาขาสถาปัตยกรรมภายใน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2559 และเข้ารับการต่อในหลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2559 |
| **ที่อยู่ปัจจุบัน** | 1626/107 ถ.ดินแดง แขวงดินแดง กรุงเทพมหานคร 10400 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University