



การศึกษาคุณสมบัติทางกลของพันธุ์ไฟไทย

ในงานโครงสร้างเรียบง่าย

โดย

นางสาวสุทธิษา บรรจงรัตน์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสถาปัตยกรรม

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

การศึกษาคุณสมบัติทางกลของพันธุ่ไม้ไทย
ในงานโครงสร้างเรียบง่าย

โดย

นางสาวสุทธิษา บรรจงรัตน์



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสถาปัตยกรรม

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศา

ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์



MECHANICAL PROPERTIES OF THAI STRUCTURAL BAMBOO
FOR SIMPLE STRUCTURE

BY

MISS SUTTHICHA BANJONGRAT



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF MASTER DEGREE OF ARCHITECTURE

ARCHITECTURE

FACULTY OF ARCHITECTURE AND PLANNING

THAMMASAT UNIVERSITY

ACADEMIC YEAR 2014

COPYRIGHT OF THAMMASAT UNIVERSITY

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง

วิทยานิพนธ์

ของ

นางสาวสุทธิษา บรรจงรัตน์

เรื่อง

การศึกษาคุณสมบัติทางกลของพันธุ้ไฟไทยในงานโครงสร้างเรียบง่าย

ได้รับการตรวจสอบและอนุมัติ ให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

สถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต

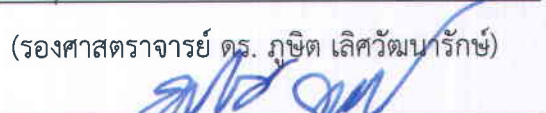
เมื่อ วันที่ 10 สิงหาคม พ.ศ. 2558

ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



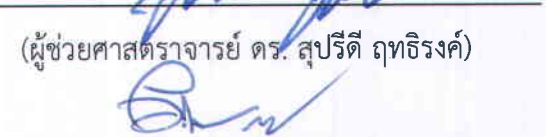
(รองศาสตราจารย์ ดร. ภูษิต เลิศวัฒนารักษ์)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์



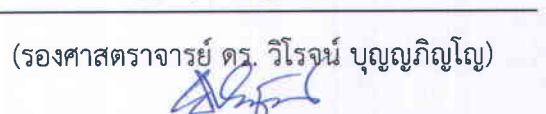
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุปรีย์ ฤทธิรงค์)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(รองศาสตราจารย์ ดร. วิโรจน์ บุญญะภิญโญ)

คณบดี



(รองศาสตราจารย์ เฉลิมวัฒน์ ตันตสวัสดี)

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาคุณสมบัติทางกลของพันธุ์ไผ่ไทย ในงาน โครงสร้างเรียบง่าย
ชื่อผู้เขียน	นางสาวสุทธิษา บรรจงรัตน์
ชื่อปริญญา	สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา/คณะ/มหาวิทยาลัย	สถาปัตยกรรม สถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุปรีย์ ฤทธิรงค์
ปีการศึกษา	2557

บทคัดย่อ

ไผ่เป็นพืชที่กระจายอยู่ทั่วโลกและมีประโยชน์รอบด้าน โดยเฉพาะในด้านสถาปัตยกรรม ซึ่งเป็นความงามแบบเรียบง่ายอันสะท้อนถึงความพอเพียง ทั้งนี้ไผ่มีการเจริญเติบโตที่รวดเร็วจึงสามารถจัดการให้ยั่งยืนได้ไม่ยาก แม้คนไทยจะมีความผูกพันกับไผ่มาเป็นเวลาช้านาน แต่ในด้านสถาปัตยกรรมนั้นก็ยังไม่ได้รับการพัฒนาเท่าที่ควร อาจเป็นเพราะข้อจำกัดทางวัสดุของไผ่ รวมถึงงานวิจัยเกี่ยวกับคุณสมบัติของไผ่สายพันธุ์ไทยยังน้อย ส่งผลให้การนำไผ่มาใช้งานทางด้านสถาปัตยกรรมไม่มีความเหมาะสมและไม่ได้รับความนิยมนเท่าที่ควร งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกล ของไผ่สายพันธุ์ไทย 5 สายพันธุ์ ได้แก่ ไผ่ตง (*Dendrocalamus asper*), ไผ่ชางหม่น (*Dendrocalamus sericeus*), ไผ่เลี้ยง (*Bambusa nana*), ไผ่สีสุก (*Bambusa blumeana*) และไผ่รวก (*Tyrsostachys siamensis*) เพื่อเสนอเป็นแนวทางในการเลือกใช้วัสดุให้เหมาะสมกับการออกแบบและการทำงาน

งานวิจัยเป็นการวิจัยเชิงทดลอง โดยทำการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไผ่ ตามมาตรฐาน ASTM D143 และมาตรฐาน ISO ซึ่งประกอบด้วย ISO 3133, ISO 3345 และ ISO 3347 การที่เลือกใช้มาตรฐานหลากหลายเพื่อเป็นการปรับใช้ให้มีความเหมาะสมสำหรับการทดสอบไผ่มากขึ้น เนื่องจากมาตรฐานบางมาตรฐานได้กำหนดขนาดของชิ้นตัวอย่างที่คงที่ไม่สามารถปรับเปลี่ยนได้ ส่งผลให้ไผ่ไม่สามารถเตรียมขนาดดังกล่าวได้ด้วยข้อจำกัดทางธรรมชาติ จึงมีความจำเป็นต้องปรับเปลี่ยนการเตรียมตัวอย่างโดยอ้างอิงมาตรฐานอื่นร่วม

จากการศึกษาพบว่าไผ่แต่ละสายพันธุ์มีความเหมาะสมกับการนำมาใช้งานที่แตกต่างกัน ไผ่ที่เหมาะสมสำหรับงานโครงสร้างได้แก่ ไผ่ตงซึ่งเป็นไผ่ขนาดใหญ่ มีคุณสมบัติในการรับแรงอัดตั้งฉาก

เสี้ยนโดดเด่นกว่าคุณสมบัติอื่น ๆ ใผ่ขางหม่นมีคุณสมบัติโดยรวมดีที่สุดในบรรดาใผ่ทั้ง 5 สายพันธุ์ ส่งผลให้สามารถนำไปใช้งานได้ค่อนข้างหลากหลาย และใผ่เลี้ยงเนื่องจากสามารถรับแรงอัดในแนวตั้งฉากเสี้ยนได้ดี มีค่าโมดูลัสการแตกร้าวที่ค่อนข้างสูง ใผ่สีสุกเป็นใผ่ขนาดกลาง มีคุณสมบัติในการรับแรงดัดและแรงเฉือนได้ดี จึงเหมาะสำหรับการนำไปใช้กับโครงสร้างที่มีรูปทรงอิสระ สูดถ่ายใผ่รวกเป็นใผ่ขนาดเล็กที่มีคุณสมบัติต่าง ๆ ต่ำกว่าใผ่อื่น ๆ เหมาะสำหรับการนำมาใช้ในงานโครงสร้างขนาดเล็กที่มีการน้ำหนักน้อย ทั้งนี้จากการทดสอบคุณสมบัติของใผ่ส่งผลให้ผู้ออกแบบสามารถเลือกใช้ใผ่จากคุณสมบัติของวัสดุได้ตรงตามความต้องการ และมีความเหมาะสมกับงานมากขึ้น

การประยุกต์ใช้ใผ่ในงานสถาปัตยกรรมนั้นได้ทำการออกแบบโครงสร้างไม้ใผ่และคำนวณประสิทธิภาพการรับน้ำหนักของโครงสร้าง เพื่อออกแบบเสาและคานด้วยการรวบลำใผ่ของใผ่แต่ละสายพันธุ์ ใผ่ต่งและใผ่ขางหม่นต้องใช้ใผ่ 1-4 ลำ สำหรับเสา, คาน และต้องใช้มากกว่า 4 ลำ สำหรับคาน 1 แบบของโครงสร้าง ใผ่สีสุกต้องใช้ใผ่ 1-4 ลำ สำหรับเสา, 2-4 ลำ และมากกว่า 4 ลำ สำหรับคานของโครงสร้าง ใผ่เลี้ยงต้องใช้ใผ่ 1-4 ลำ และมากกว่า 4 ลำ สำหรับเสาของโครงสร้าง, 3 ลำ และมากกว่า 4 ลำ สำหรับคานของโครงสร้าง ส่วนใผ่รวกนั้นไม่สามารถรับน้ำหนักของโครงสร้างได้ด้วยการใช้ใผ่แค่ 4 ลำ แต่สามารถออกแบบโครงสร้างของใผ่รวกได้โดยใช้ใผ่มากกว่า 5 ลำ โดยวิเคราะห์จากผลการคำนวณการรับน้ำหนักของโครงสร้างใผ่รวก

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับโครงสร้างไม้ใผ่และส่งเสริมให้มีการนำใผ่ไปใช้งานทางด้านสถาปัตยกรรมมากขึ้น

คำสำคัญ: โครงสร้างเรียบง่าย, คุณสมบัติทางกายภาพ, คุณสมบัติเชิงกล, ใผ่ไทย

Thesis Title	MECHANICAL PROPERTIES OF THAI STRUCTURAL BAMBOO FOR SIMPLE STRUCTURE
Author	Miss Sutthicha Banjongrat
Degree	Master of Architecture
Department/Faculty/University	Architecture Architecture and Planning Thammasat University
Thesis Advisor	Assistant Professor Supreedee Rittironk, Ph.D.
Academic Years	2014

ABSTRACT

Bamboo is grown throughout the world. It is versatile material for a long time, especially in architecture. Bamboo is one of the fastest growing plants so that it can be considered a sustainable material. Thai people are bound to the bamboo for a long time but bamboo architecture has not been developed in a way that it should be. As a result of the various constraints, bamboo is not popular material as it is used in construction. In additions, researches of Thai bamboo are not much developed. This research aims to study the physical properties and mechanical properties of Thai structural bamboo species; Phai Tong (*Dendrocalamus asper*), Phai Sang-mon (*Dendrocalamus sericeus*), Phai Liang (*Bambusa nana*), Phai Seesuk (*Bambusa blumeana*) and Phai Ruak (*Tyrsostachys siamensis*). The design guideline of that material will also study.

The research is the experimental research. The physical properties and mechanical properties of bamboo depends on ASTM D143 and ISO Standards, which include ISO 3133, ISO 3345 and ISO 3347. This research used several standards to apply to be suitable for testing bamboo. Because some of standard set of specimen's dimension fix, it cannot be modified. And bamboo cannot prepare such a size, with natural constraints. It needs to adjust the reference other standard too.

The result of research shows that the mechanical properties of bamboo are varied and in same direction, which can be suitable for large-scale structure or used as the main structure; Phai Tong is large-sized that has better compression in perpendicular to grain, Phai Sang-mon seems to have best performance overall out of 5 species. It can be used for a variety of applications and Phai Liang has a good compression perpendicular to grain and modulus of rupture. Phai Seesuk is a medium sized bamboo that has better bending and shear. It can be suitable for free form structure. Lasting, Phai Ruak is the smallest bamboo of all. It performs the lowest of other 5 species. It can offer only applications in small structures that has small load. The properties of bamboo directly affect the applications. The Architect can choose bamboo from material properties that are used suitable for structure.

In terms of architectural application, the simple structure is used as a case study to calculate the efficiency of the structure. The design of beams and columns using bamboo is performed to see how many bamboo culms of each species will be used. The result shows that Phai Tong and Phai Sang-mon needs 1-4 bamboo culms for columns, beam and more than 4 bamboo culms for the only beam. Phai Seesuk needs 1-4 bamboo culms for column, 2-4 and more than 4 bamboo culms for beams. Phai Liang needs 1-4 bamboo culms for column and more than 4 bamboo culms for the only column, 3 and more than 4 for beam. Phai Ruak is not able to perform at 4 culms bundle, but not necessary that it is impossible to use. Further calculation can be done to design particularly Phai Ruak.

This research is hoped to share basic knowledge about Bamboo's structure properties and will promote more user in architectural applications.

Keywords: Simple structure, Physical properties, Mechanical properties, Thai bamboo

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาและการชี้แนะที่เป็นประโยชน์จากกรรมการวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.ภูษิต เลิศวัฒนารักษ์ ที่ให้เกียรติเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และให้คำแนะนำในการวิเคราะห์ผล สรุปผล การแก้ไขปัญหาในการทดสอบเพื่อนำมาใช้ในการออกแบบโครงสร้าง รวมถึงให้ความรู้ในด้านการคำนวณ เพื่อใช้ออกแบบโครงสร้าง รองศาสตราจารย์ ดร.วิโรจน์ บุญญภิญโญ กรรมการวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความกรุณาสละเวลามาเป็นกรรมการและที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ภายนอก ซึ่งท่านได้ให้คำปรึกษาและชี้แนะแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์ในมุมมองด้านวิศวกรรม โดยเฉพาะผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุปรีย์ ฤทธิรงค์ กรรมการและที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่คอยให้คำแนะนำ ชี้แนะ แก้ไขข้อบกพร่อง ให้คำปรึกษาและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ทั้งทางด้านวิชาการและการทำวิทยานิพนธ์ ผู้ศึกษาขอกราบขอบพระคุณทุกท่านเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) สำหรับทุนอุดหนุนการวิจัย ประเภทบัณฑิตศึกษา ประจำปี 2556 และมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ สำหรับทุนสนับสนุนการจัดทำบทความจากวิทยานิพนธ์ ประจำปีการศึกษา 2555 ขอขอบคุณสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และทรัพยากร มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ สำหรับอุปกรณ์และเครื่องมือในการทำการทดสอบ โรงงาน Zaabai Bamboo สำหรับการให้ความอนุเคราะห์ด้านวัสดุและการจัดเตรียมชิ้นตัวอย่างสำหรับการทดสอบ

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรธนิภา เขาวณะ ที่สละเวลาในการให้คำปรึกษา ตั้งแต่ขั้นตอนการเตรียมชิ้นตัวอย่างตลอดจนการทำการทดสอบแล้วเสร็จ และยังช่วยดูแลในเรื่องของการใช้อุปกรณ์ เครื่องมือต่าง ๆ ในห้องปฏิบัติการ อาจารย์สุผานิต วิเศษสาร ซึ่งให้ความช่วยเหลือในการติดต่อประสานงานในการขอความอนุเคราะห์ให้ใช้เครื่องมือสำหรับการทดสอบ คุณธนา ทิพย์เจริญ ซึ่งคอยให้คำแนะนำในด้านของวัสดุ รวมถึงให้ความอนุเคราะห์ในการจัดเตรียมวัสดุเพื่อทำการทดสอบ

ขอขอบคุณคณาจารย์ เจ้าหน้าที่ เพื่อน ๆ และรุ่นน้องคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง สำหรับความรู้ คำแนะนำ ข้อคิดเห็น และการให้ความช่วยเหลือทั้งในด้านการติดต่อประสานงาน และการทดสอบคุณสมบัติของไม้

หากผลการศึกษานี้มีข้อบกพร่องประการใด ผู้ศึกษาขอน้อมรับไว้เพื่อปรับปรุง แก้ไขในการศึกษาครั้งต่อไป

นางสาวสุทธิษา บรรจงรัตน์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	(1)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(3)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญตาราง	(15)
สารบัญภาพ	(16)
รายการสัญลักษณ์และคำย่อ	(20)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	5
1.2.1 ศึกษาและเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกล	5
1.2.2 ศึกษาและคำนวณประสิทธิภาพของโครงสร้างไม้ไผ่	6
1.2.3 เสนอรูปแบบการก่อสร้างโครงสร้างไม้ไผ่	6
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	6
1.3.1 การทดลองที่ 1 การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุ	6
1.3.2 การทดลองที่ 2 การศึกษาและคำนวณประสิทธิภาพการรับน้ำหนักของโครงสร้าง	6
1.3.3 โครงสร้างเรียบง่าย	7
1.4 สมมติฐานของการวิจัย	7
1.5 ระเบียบวิธีวิจัย	7
1.5.1 ศึกษาทฤษฎี ผลงานวิจัยและงานเขียนอื่นๆ	7

1.5.1.1	ศึกษาสายพันธุ์ไฟ	7
1.5.1.2	ศึกษาคุณสมบัติของไฟ	7
1.5.1.3	ศึกษาการนำไฟไปใช้ร่วมกับงานโครงสร้าง	7
1.5.1.4	ศึกษาวิธีการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุ	7
1.5.2	ศึกษาเชิงปฏิบัติการ	8
1.5.2.1	คัดเลือกพันธุ์ไฟสำหรับทดสอบคุณสมบัติ	8
1.5.2.2	ทดสอบคุณสมบัติของไฟ	8
1.5.2.3	คัดเลือกพันธุ์ไฟสำหรับออกแบบโครงสร้าง	8
1.5.2.4	คำนวณประสิทธิภาพการรับน้ำหนักของโครงสร้างไม้ไฟ	8
1.5.3	สรุปและวิเคราะห์ผล	8
1.5.3.1	เปรียบเทียบคุณสมบัติของไฟ	8
1.5.3.2	การรับน้ำหนักของโครงสร้างไม้ไฟ	8
1.5.3.3	เสนอแนวทางการเลือกใช้วัสดุ	8
1.6	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย	9
1.6.1	แนวทางในการประยุกต์ใช้ไฟ	9
1.6.2	ประสิทธิภาพของไฟ	9
1.6.3	แนวทางการเลือกใช้วัสดุและรูปแบบของโครงสร้างสำหรับงานสถาปัตยกรรมไม้ไฟ	9
1.6.4	แนวทางในการก่อสร้างโดยใช้ไฟ	9
1.7	นิยามศัพท์	9
1.7.1	คุณสมบัติทางกายภาพ	9
1.7.2	คุณสมบัติเชิงกล	9
1.7.3	ความหนาแน่น	10
1.7.4	ความถ่วงจำเพาะ	10
1.7.5	ความชื้น	10
1.7.6	แรงกระทำสูงสุด	10
1.7.7	กำลังต้านทานแรงดัด	10
1.7.8	โมดูลัสการแตกร้าว	10
1.7.9	โมดูลัสความยืดหยุ่น	10
1.7.10	กำลังต้านทานแรงอัด	10

1.7.11	กำลังต้านทานแรงเฉือน	11
1.7.12	กำลังต้านทานแรงดึง	11
1.7.13	โครงสร้างเรียบง่าย	11
บทที่ 2 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง		12
2.1	ธรรมชาติของไฟ	12
2.1.1	คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไฟ	12
2.1.1.1	คุณสมบัติทางกายภาพ	12
2.1.1.2	คุณสมบัติเชิงกล	12
2.1.2	พฤติกรรมการแตกและหักของไฟ	14
2.1.3	ไฟในประเทศไทย	14
2.1.4	การแบ่งกลุ่มของสายพันธุ์ไฟไทยตามการใช้ประโยชน์	16
2.1.5	สายพันธุ์ไฟในประเทศไทย สำหรับใช้ลำดับต้นทำเป็นโครงสร้าง	17
2.1.5.1	ไฟตง	17
2.1.5.2	ไฟช่างหม่น	17
2.1.5.3	ไฟเลี้ยง	18
2.1.5.4	ไฟสี่สูก	19
2.1.5.5	ไฟรวก	19
2.2	ทฤษฎีเกี่ยวกับการรับแรงของโครงสร้าง	20
2.2.1	แรง	20
2.2.2	น้ำหนักจากแรงโน้มถ่วงของโลก	20
2.2.3	การรับน้ำหนักของโครงสร้างอาคาร	20
2.2.3.1	น้ำหนักบรรทุกคงที่	20
2.2.3.2	น้ำหนักบรรทุกจร	20
2.2.4	โมดูลัสของยัง	21
2.2.4.1	ความเค้นและความเครียด	21
	(1) ความเค้น	21
	(2) ความเครียด	22

2.2.4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด	22
(1) จุดสำคัญต่างๆของกราฟ	23
2.2.5 ระบบโครงสร้างเสาและคาน	24
2.2.5.1 เสา	24
2.2.5.2 คาน	25
2.2.6 การคำนวณคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุ	25
2.2.6.1 ความหนาแน่น	25
2.2.6.2 ความถ่วงจำเพาะ	25
2.2.6.3 ความชื้น	25
2.2.6.4 โมดูลัสการแตกร้าว	25
2.2.6.5 โมดูลัสความยืดหยุ่น	25
2.2.6.6 กำลังต้านทานแรงอัด	26
2.2.6.7 กำลังต้านทานแรงเฉือน	26
2.2.6.8 กำลังต้านทานแรงดึง	26
2.2.7 การคำนวณประสิทธิภาพการรับน้ำหนักของโครงสร้าง	26
2.2.7.1 เสา (column)	26
2.2.7.2 คาน (beam)	27
(1) โมดูลัสที่จุดตัด (section modulus : Z)	27
(2) ระยะโก่งตัวสูงสุดของคาน (maximum deflection at load)	27
(3) ค่าความเค้นที่จุดกึ่งกลางคาน (stress at center)	27
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	27
2.3.1 เทคโนโลยีการใช้ไม้ไผ่สำหรับโครงสร้างบ้านพักอาศัยในบังคลาเทศ	27
2.3.2 คอนกรีตเสริมไม้	28
2.3.3 การโก่งตัวของนั่งร้านไม้ไผ่	28
บทที่ 3 วิธีการวิจัย	29
3.1 กรอบระเบียบการวิจัย	29
3.2 กำหนดตัวแปร	31
3.2.1 การทดสอบคุณภาพของวัสดุ	31

3.2.1.1	ตัวแปรต้น	31
	(1) สายพันตู้ไฟ	31
	(2) ตำแหน่งของไฟที่เลือกใช้	31
3.2.1.2	ตัวแปรตาม	32
	(1) คุณสมบัติทางกายภาพ	32
	(2) คุณสมบัตិเชิงกล	32
3.2.1.3	ตัวแปรควบคุม	32
	(1) อายุของไฟ	32
	(2) การคัดเลือกไฟและกรรมวิธีการเตรียมชิ้นตัวอย่าง	32
	(3) รูปแบบและขนาดของชิ้นตัวอย่างทดสอบ	32
3.2.2	การคำนวณประสิทธิภาพการรับน้ำหนักของโครงสร้าง	33
3.2.2.1	ตัวแปรต้น	33
	(1) สายพันตู้ไฟ	33
	(2) รูปแบบโครงสร้าง	33
3.2.2.2	ตัวแปรตาม	33
	(1) ประสิทธิภาพการรับน้ำหนักของโครงสร้าง	33
	(2) แนวทางการเลือกใช้ไฟ	33
3.2.2.3	ตัวแปรควบคุม	33
	(1) คุณสมบัติของวัสดุ	33
	(2) รูปแบบของโครงสร้าง	33
	(3) น้ำหนักบรรทุกทุกคงที่	33
	(4) น้ำหนักบรรทุกจร	34
	(5) ค่าความปลอดภัย (factor of safety)	35
3.3	การเตรียมการทดลอง	36
3.3.1	การเก็บและเตรียมตัวอย่างไฟสำหรับการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุ	36
3.3.2	การคำนวณประสิทธิภาพการรับน้ำหนักของโครงสร้าง	36
	3.3.2.1 ออกแบบรูปแบบโครงสร้าง	36
3.4	การทดสอบ	37
3.4.1	เครื่องมือทดสอบ	37
	3.4.1.1 ชิ้นตัวอย่างทดสอบ	37

3.4.1.2 เครื่องชั่งน้ำหนัก	37
3.4.1.3 เครื่องมือสำหรับวัดขนาด	37
3.4.1.4 ตู้อบ	38
3.4.1.5 เครื่องทดสอบสากลและหัวทดสอบต่างๆ	38
3.4.1.6 เครื่องบันทึกข้อมูล	40
3.4.1.7 อุปกรณ์สำหรับตัดและผ่าไม้	40
3.4.2 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไม้	40
3.4.2.1 การเตรียมชิ้นตัวอย่างทดสอบ	40
(1) การเตรียมตัวอย่างโดยแบ่งตามความสูงของลำต้น	40
(2) การเตรียมตัวอย่างโดยแบ่งตามความยาวของปล้อง	41
(3) การเตรียมตัวอย่างโดยแบ่งตามหน้าตัดของลำต้น	42
3.4.2.2 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ	44
(1) วัดขนาด	44
(2) ชั่งน้ำหนัก	44
(3) การทดสอบเพื่อวัดค่าความหนาแน่นของวัสดุ	44
(4) การทดสอบเพื่อวัดค่าความถ่วงจำเพาะ	44
(5) การทดสอบเพื่อวัดค่าความชื้น	44
3.4.2.3 การทดสอบคุณสมบัติเชิงกล	44
(1) การทดสอบกำลังต้านทานแรงดัด	44
(2) การทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดขนานเสี้ยน	46
(3) การทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดตั้งฉากเสี้ยน	47
(4) การทดสอบกำลังต้านทานแรงเฉือนขนานเสี้ยน	48
(5) การทดสอบกำลังต้านทานแรงดึงขนานเสี้ยน	49
3.4.3 การคำนวณประสิทธิภาพการรับน้ำหนักของโครงสร้างไม้ไผ่	49
3.4.3.1 ออกแบบโครงสร้าง	49
(1) รูปแบบโครงสร้าง	50
(2) ความสูงของอาคาร	50
(3) ระยะช่วงพาด	50
(4) น้ำหนักบรรทุกทุกครั้งที่	50
(5) น้ำหนักบรรทุกจร	50

3.4.3.2 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการรับแรงของโครงสร้าง	50
(1) การพิจารณาความเป็นไปได้ในการรับน้ำหนักของเสา	50
(2) การพิจารณาความเป็นไปได้ในการรับน้ำหนักของคาน	51
3.5 สถานที่ทดลอง	51
3.5.1 การเตรียมตัวอย่างทดสอบ	51
3.5.2 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกล	52
3.6 การเก็บข้อมูล	52
3.6.1 การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุ	52
3.6.2 การคำนวณประสิทธิภาพการรับน้ำหนักของโครงสร้าง	52
3.7 การวิเคราะห์ข้อมูล	52
3.7.1 วิเคราะห์เปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุ	52
3.7.2 วิเคราะห์ประสิทธิภาพการรับแรง	53
 บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	 54
4.1 คุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติเชิงกลของไม้	54
4.1.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ	54
4.1.2 ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงดัด	58
4.1.3 ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดขนานเสี้ยน	65
4.1.4 ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดตั้งฉากเสี้ยน	71
4.1.5 ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงเฉือนขนานเสี้ยน	75
4.1.6 ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงดึงขนานเสี้ยน	80
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไม้	83
4.3 ประสิทธิภาพการรับน้ำหนักของโครงสร้าง	89
4.3.1 รูปแบบของโครงสร้าง	89
4.3.2 คำนวณน้ำหนัก	90
4.3.2.1 เสา	90
(1) เสาชั้น 1	91
(2) เสาชั้น 2	91

4.3.2.2 คาน	92
(1) คานพื้นชั้น 1 และพื้นชั้น 2	92
(2) คานหลังคา	93
4.3.3 การคำนวณประสิทธิภาพการรับแรงของโครงสร้าง	94
4.3.3.1 การพิจารณาความเป็นไปได้ในการรับน้ำหนักของคานไม้ไผ่	95
4.3.3.2 การพิจารณาความเป็นไปได้ในการรับน้ำหนักของเสาไม้ไผ่	98
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	102
5.1 ข้อสรุปจากผลการวิจัย	102
5.1.1 คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไผ่	102
5.1.2 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของไผ่กับงานวิจัยอื่นๆ	104
5.1.3 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของไผ่กับไม้ชนิดอื่นๆ	109
5.1.4 ประสิทธิภาพการรับน้ำหนักของโครงสร้าง	113
5.2 ข้อเสนอแนะ	117
5.2.1 หน่วยแรงที่ยอมให้ของไผ่	117
5.2.2 แนวทางการเลือกใช้ไผ่สำหรับงานทางด้านโครงสร้างให้มีความเหมาะสม	119
5.2.2.1 จุดเด่นและจุดด้อยของไผ่	119
5.2.2.2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณสมบัติของไผ่	119
5.2.2.3 การเลือกใช้ไผ่ในงานสถาปัตยกรรม	120
5.2.3 วิธีการเชื่อมต่อลำไผ่สำหรับงานโครงสร้างทางด้านสถาปัตยกรรมไม้ไผ่	120
5.2.3.1 การบากไผ่เพื่อการเชื่อมต่อ	121
5.2.3.2 การเชื่อมต่อไผ่โดยใช้ลิ้มไม้	122
5.2.3.3 การเชื่อมต่อไผ่โดยใช้เนื้อ	123
5.2.3.4 การลดความเสียหายของไผ่ที่เกิดการแตกหักจากการเชื่อมต่อ	124
5.2.3.4 การลดความเสียหายของไผ่บริเวณฐานราก	125
5.2.4 ข้อเสนอแนะในการวิจัย	126
5.2.4.1 การเก็บตัวอย่างสำหรับการทดสอบ	126
5.2.4.2 การทดสอบ	127

5.2.4.3 การทดสอบกำลังต้านทานแรงดึง	127
5.2.4.4 การออกแบบ	127
5.2.4.5 การนำผลการทดลองไปใช้ต่อ	127
รายการอ้างอิง	128
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก	132
ภาคผนวก ข	143
ภาคผนวก ค	153
ภาคผนวก ง	163
ภาคผนวก จ	173
ภาคผนวก ฉ	183
ประวัติผู้เขียน	185

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุ	2
2.1 ลักษณะทางกายภาพของไม้ตง	13
2.2 คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไม้ตง	13
2.3 สายพันธุ์ไม้ในประเทศไทย	14
2.4 ไม้สำคัญ 10 ชนิด ซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศไทย	15
3.1 หน่วยน้ำหนักบรรทุกทุกจรสำหรับประเภทและส่วนต่างๆของอาคาร	34
3.2 ส่วนความปลอดภัย สำหรับไม้ก่อสร้างชั้น 2	35
4.1 ค่าเฉลี่ยของคุณสมบัติทางกายภาพของไม้	54
4.2 ค่าเฉลี่ยแรงกระทำสูงสุด โมดูลัสความยืดหยุ่น และโมดูลัสการแตกร้าวของไม้จากการทดสอบกำลังต้านทานแรงดัด	59
4.3 ค่าเฉลี่ยของกำลังต้านทานแรงอัดขนานเสี้ยนของไม้	65
4.4 ค่าเฉลี่ยของกำลังต้านทานแรงอัดตั้งฉากเสี้ยนของไม้	71
4.5 ค่าเฉลี่ยของกำลังต้านทานแรงเฉือนขนานเสี้ยนของไม้	76
4.6 โมเมนต์อินเนอร์เซียของเสา C1, C2, C3, C4, C5, C6 และโมเมนต์อินเนอร์เซียของไม้ 1 ลำ, 2 ลำ, 3 ลำ, 4 ลำ	95
4.7 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการรับน้ำหนักของเสาไม้ไผ่ของไม้ทั้ง 5 สายพันธุ์	96
4.8 โมดูลัสที่จุดตัดของคาน B1, B2, B3, B4 และโมดูลัสที่จุดตัดของไม้ 1 ลำ, 2 ลำ, 3 ลำ, 4 ลำ	99
4.9 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการรับน้ำหนักของคานไม้ไผ่ของไม้ทั้ง 5 สายพันธุ์	100
5.1 ค่าเฉลี่ยคุณสมบัติเชิงกลของไม้	102
5.2 ค่าเฉลี่ยคุณสมบัติเชิงกลของไม้กับงานวิจัยอื่นๆ	104
5.3 ค่าเฉลี่ยคุณสมบัติเชิงกลของไม้กับไม้ชนิดอื่นๆ	109
5.4 จำนวนไม้ที่ต้องใช้สำหรับเสาและคานของโครงสร้าง	114
5.5 หน่วยแรงใช้งานที่ยอมให้ของไม้	117
5.6 หน่วยแรงใช้งานที่ยอมให้ของไม้และไม้ชนิดต่างๆ	118

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 ประสิทธิภาพของไม้และวัสดุอื่นๆในความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสของยัง (young's modulus) และความหนาแน่น (density) ของวัสดุ	3
1.2 ปัจจัยการพัฒนาระบบการก่อสร้างอาคารด้วยไม้	3
2.1 ไม้ตง (<i>D. asper</i>)	17
2.2 ไม้ซางหม่น (<i>D. sericeus</i>)	17
2.3 ไม้เลี้ยง (<i>B. nana</i>)	18
2.4 ไม้สีสุก (<i>B. blumeana</i>)	19
2.5 ไม้รวก (<i>T. siamensis</i>)	19
2.6 แรงอัดซึ่งเป็นผลจากแรงกระทำโดยตรง	21
2.7 แรงกระทำภายนอกและภายในของวัสดุ	22
2.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด	23
2.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของวัสดุที่แปรรูป	24
2.10 พฤติกรรมของเสาเมื่อรับแรงอัด	25
2.11 การรับน้ำหนักของเสา	26
2.12 การรับน้ำหนักของคาน โดยการไหลคานน้ำหนักตรงจุดกึ่งกลางคาน	27
3.1 เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล ยี่ห้อ METTER TOLEDO รุ่น PG2002-S	37
3.2 เวอร์เนียร์คาร์ลิปเปอร์แบบดิจิทัล ยี่ห้อ ZIM-ZEEM	37
3.3 ตู้อบไฟฟ้า ยี่ห้อ memmert	38
3.4 เครื่องทดสอบสากล (Universal testing machine) ยี่ห้อ Lloyd Model 150 kN.	38
3.5 หัวทดสอบที่ใช้สำหรับการทดสอบกำลังต้านทานแรงดัด	39
3.6 หัวทดสอบที่ใช้สำหรับการทดสอบความต้านทานแรงอัดขนานเสี้ยนและกำลังต้านทานแรงอัดตั้งฉากเสี้ยน	39
3.7 หัวทดสอบที่ใช้สำหรับการทดสอบความต้านทานแรงเฉือนขนานเสี้ยน	39
3.8 หัวทดสอบที่ใช้สำหรับการทดสอบความต้านทานแรงดึงขนานเสี้ยน	40
3.9 การตัดไม้เพื่อทำการทดสอบโดยแบ่งตัดตามความสูงของลำต้น	41
3.10 การตัดไม้เพื่อทำการทดสอบโดยตัดตามความยาวของปล้อง	42

3.11	ขึ้นตัวอย่างสำหรับทดสอบกำลังต้านทานแรงเฉือนขนานเสี้ยน กำลังต้านทานแรงอัดขนานเสี้ยน กำลังต้านทานแรงอัดตั้งฉากเสี้ยน และกำลังต้านทานแรงตัด	42
3.12	ขึ้นไม้สำหรับทำขึ้นตัวอย่างทดสอบกำลังต้านทานแรงดึงขนานเสี้ยน	43
3.13	ขึ้นตัวอย่างสำหรับทดสอบกำลังต้านทานแรงดึงขนานเสี้ยน	43
3.14	การทดสอบกำลังต้านทานแรงตัด	45
3.15	กราฟตัวอย่าง แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่กระทำและการโก่งตัว	45
3.16	การทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดขนานเสี้ยน	47
3.17	การทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดตั้งฉากเสี้ยน	48
3.18	การทดสอบกำลังต้านทานแรงเฉือนขนานเสี้ยน	48
3.19	การทดสอบกำลังต้านทานแรงดึงขนานเสี้ยน	49
4.1	ความหนาแน่นเฉลี่ยของไม้	55
4.2	ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยของไม้	56
4.3	ความชื้นเฉลี่ยของไม้	58
4.4	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและระยะการแอ่นตัวของตัวอย่างทดสอบ ไม้ส่วนโคนจากการทดสอบกำลังต้านทานแรงตัด	60
4.5	ค่าแรงกระทำสูงสุดเฉลี่ยจากการทดสอบกำลังต้านทานแรงตัด	60
4.6	โมดูลัสความยืดหยุ่นเฉลี่ยของไม้	61
4.7	โมดูลัสการแตกกร้าวเฉลี่ยของไม้	62
4.8	ลักษณะการแตกหักของตัวอย่างไม้เนื่องจากแรงตัด	63
4.9	ลักษณะการเสียรูปของขึ้นตัวอย่างทดสอบกำลังต้านทานแรงตัดของไม้ตง	64
4.10	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและระยะการแอ่นตัวของตัวอย่างทดสอบ ไม้ส่วนโคนจากการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดขนานเสี้ยน	66
4.11	ค่าแรงกระทำสูงสุดเฉลี่ยจากการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดขนานเสี้ยน	67
4.12	กำลังต้านทานแรงอัดขนานเสี้ยนเฉลี่ยของไม้	67
4.13	ลักษณะการแตกหักของตัวอย่างไม้เนื่องจากแรงอัดขนานเสี้ยน	69
4.14	ลักษณะการเสียรูปของขึ้นตัวอย่างทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดขนานเสี้ยนของไม้	70
4.15	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและระยะการแอ่นตัวของตัวอย่างทดสอบ ไม้ส่วนโคนจากการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดตั้งฉากเสี้ยน	72
4.16	ค่าแรงกระทำสูงสุดเฉลี่ยจากการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดตั้งฉากเสี้ยน	73
4.17	กำลังต้านทานแรงอัดตั้งฉากเสี้ยนเฉลี่ยของไม้	73

4.18	ลักษณะการแตกหักของตัวอย่างไม้เนื่องจากแรงอัดตั้งฉากเสี้ยน	74
4.19	ลักษณะการเสีयरูปของชิ้นตัวอย่างทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดตั้งฉากเสี้ยนของไม้	75
4.20	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและระยะการแอ่นตัวของตัวอย่างทดสอบ ไม้ส่วนโคนจากการทดสอบกำลังต้านทานแรงเฉือนขนานเสี้ยน	77
4.21	ค่าแรงกระทำสูงสุดเฉลี่ยจากการทดสอบกำลังต้านทานแรงเฉือนขนานเสี้ยน	77
4.22	กำลังต้านทานแรงเฉือนขนานเสี้ยนเฉลี่ยไม้	77
4.23	ลักษณะการเสีयरูปของชิ้นตัวอย่างทดสอบกำลังต้านทานแรงเฉือนขนานเสี้ยนไม้	79
4.24	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและระยะการแอ่นตัวของตัวอย่างทดสอบ ไม้ส่วนโคนจากการทดสอบกำลังต้านทานแรงดึงขนานเสี้ยน	81
4.25	ลักษณะการแตกหักของตัวอย่างไม้เนื่องจากแรงดึงขนานเสี้ยน	81
4.26	ลักษณะการเสีयरูปของชิ้นตัวอย่างทดสอบกำลังต้านทานแรงดึงขนานเสี้ยนของไม้	82
4.27	ลักษณะของชิ้นตัวอย่างทดสอบกำลังต้านทานแรงดึงขนานเสี้ยนของไม้ ที่เกิดการฉีกขาดหรือรูดหลุดบริเวณที่จับก่อนจะถึงจุดวิบัติ	82
4.28	คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไม้ตง	84
4.29	คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไม้ช่างหม่น	85
4.30	คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไม้สีสุก	86
4.31	คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไม้เลียง	87
4.32	คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไม้รวก	88
4.33	รูปแบบของโครงสร้างเสาและคาน	89
4.34	รูปแบบหน้าตัดของการรวบลำไม้	90
4.35	พื้นที่รับน้ำหนักของเสา	90
4.36	พื้นที่รับน้ำหนักของคาน	93
5.1	โครงสร้างทางกายวิภาคของไม้	104
5.2	ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยของไม้กับไม้ชนิดอื่นๆ	105
5.3	โมดูลัสการแตกร้าวเฉลี่ยของไม้กับไม้ชนิดอื่นๆ	106
5.4	โมดูลัสความยืดหยุ่นเฉลี่ยของไม้กับไม้ชนิดอื่นๆ	107
5.5	กำลังต้านทานแรงอัดขนานเสี้ยนเฉลี่ยของไม้กับงานวิจัยอื่นๆ	107
5.6	กำลังต้านทานแรงอัดตั้งฉากเสี้ยนเฉลี่ยของไม้กับงานวิจัยอื่นๆ	108
5.7	กำลังต้านทานแรงเฉือนเฉลี่ยของไม้กับงานวิจัยอื่นๆ	108
5.8	ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยของไม้กับไม้ชนิดอื่นๆ	110

5.9 โมดูลัสการแตกร้าวเฉลี่ยของไฟกับไม้ชนิดอื่นๆ	111
5.10 โมดูลัสความยืดหยุ่นเฉลี่ยของไฟกับไม้ชนิดอื่นๆ	111
5.11 กำลังต้านทานแรงอัดขนานเสี้ยนเฉลี่ยของไฟกับไม้ชนิดอื่นๆ	112
5.12 กำลังต้านทานแรงอัดตั้งฉากเสี้ยนเฉลี่ยของไฟกับไม้ชนิดอื่นๆ	112
5.13 กำลังต้านทานแรงเฉือนเฉลี่ยของไฟกับไม้ชนิดอื่นๆ	113
5.14 โครงสร้างไฟตงและโครงสร้างไฟขวางหม่น	115
5.15 โครงสร้างไฟสี่สูก	115
5.16 โครงสร้างไฟเฉียง	116
5.17 รูปแบบอาคารสาธารณะขนาดเล็ก	116
5.18 การบากไฟเพื่อการเชื่อมต่อ	121
5.19 การบากไฟเพื่อการเชื่อมต่อสำหรับโครงสร้างไม้ไฟ	121
5.20 การเชื่อมต่อไฟโดยใช้ลิ้มไม้	122
5.21 การเชื่อมต่อไฟโดยใช้ลิ้มไม้ โรงเรียนปัญญาเด่น จังหวัดเชียงใหม่	122
5.22 การเชื่อมต่อไฟโดยใช้น็อต	123
5.23 การเชื่อมต่อไฟโดยใช้น็อตสำหรับโครงสร้างไม้ไฟ	123
5.24 การเชื่อมต่อไฟนิยมเชื่อมต่อบริเวณใกล้ข้อไฟ	124
5.25 การใช้เชือกหรือวัสดุอื่นๆพันทับบริเวณที่ทำการเจาะเพื่อลดความเสียหายจากการแตกของไฟ	124
5.26 การใช้เชือกพันทับบริเวณที่ทำการเจาะเพื่อลดความเสียหายจากการแตกของไฟ โรงเรียนปัญญาเด่น จังหวัดเชียงใหม่	125
5.27 ฐานรากคอนกรีตของโครงสร้างไม้ไฟที่โรงเรียนปัญญาประทีป จังหวัดนครราชสีมา	125
5.28 ฐานรากหินของโครงสร้างไม้ไฟ โรงเรียนปัญญาเด่น จังหวัดเชียงใหม่	126

รายการสัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์/คำย่อ	คำเต็ม/คำจำกัดความ
ISO	International standardization and organization
ASTM	American society of testing and material
MOR	modulus of rupture
MOE	modulus of elasticity
MC	moisture content
SG	specific gravity
S	section modulus
B	bottom
C	center
T	top
To	Phai Tong
Sa	Phai Sang-mon
Se	Phai Seesuk
L	Phai Liang
R	Phai Ruak

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

แม้ไฟขึ้นกระจายกว้างไกลอยู่ทั่วโลก แต่คนเอเชียมีวัฒนธรรมไฟที่โดดเด่นกว่าใคร จนไฟกลายเป็นสัญลักษณ์แห่งเอเชีย เป็นความงามที่เรียบง่าย และสะท้อนถึงรูปแบบของเศรษฐกิจพอเพียง ไฟเป็นหัตถ์ยักษ์โบราณที่มีความแข็งแรงของไม้และความโอบอ้อมของต้นหญ้าผสมผสานในเนื้อเดียวกัน มีทั้งความเหนียว แกร่ง เบา และมีสปริงยืดหยุ่นไปพร้อม ๆ กัน ไฟเป็นวัสดุธรรมชาติที่วิศวกรและสถาปนิกทั่วโลกกำลังหลงใหล ไชมอน เวเลซ สถาปนิกชาวโคลัมเบีย ผู้สร้างโครงสร้างไฟที่กว้างใหญ่ที่สุดในโลกเมื่อปี 2552 ที่แมกซิโก ครอบคลุมพื้นที่กว่า 5,100 ตารางเมตร โดยเวเลซได้ตั้งสมญานามไฟว่าเป็นเหล็กกล้าพืช (Vegetal Steel) พร้อมกับกล่าวว่า “ลึ้มเหล็กกล้าและคอนกรีตไปได้เลยวัสดุก่อสร้างของศตวรรษที่ 21 ดูท่าว่าจะไฟ” และที่สำคัญไฟยังเป็นพืชที่โตเร็วที่สุดในโลก บางชนิดโตได้เกือบ 1 เมตรต่อวัน และสามารถปลูกเป็นสวนป่าใช้งานได้ภายในเวลาเพียงไม่กี่ปีโดยไม่ทำลายดิน จึงทำให้ไฟเป็นวัสดุที่สามารถจัดการให้ยั่งยืนได้ไม่ยาก เพราะสามารถผลิตหมุนเวียนในพื้นที่ที่จำกัดได้เร็ว จุดอ่อนของไฟที่ทำให้คนยุคโมเดิร์นศตวรรษ 20 ไม่คิดใส่ใจมากนักคือปัญหาทางด้านอายุการใช้งาน เปรียบได้กับราชสีห์แพ่หนูฉินไต ไฟก็แพ่แมลงฉินนั่น โจทย์ใหญ่คือทำอย่างไรไม่ให้บ้านไม้ไฟผุพังภายใน 5-6 ปี (สรณรัชฎ์ กาญจนะวณิชย์, 2553)

ไฟเปรียบเสมือนโครงสร้างใหญ่โครงสร้างหนึ่งของวัฒนธรรมตะวันออก ประเทศไทยก็เป็นส่วนหนึ่งในตะวันออกและมีความผูกพันกับไฟมายาวนาน ทั้งทางด้านหัตถกรรม และสถาปัตยกรรมอันอยู่คู่กับคนไทยมาช้านาน แม้ว่าเวลาจะผ่านไปแต่งงานสถาปัตยกรรมไฟก็ไม่ได้มีการพัฒนาไปพร้อม ๆ กับเวลาอย่างที่เราควรจะเป็น ในปัจจุบันรูปแบบของงานสถาปัตยกรรมไทยมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบไปเป็นงานสถาปัตยกรรมสมัยใหม่ โดยมีคำกล่าวของโจน จันได (ผู้เชี่ยวชาญการสร้างบ้านดินและไม้ไฟ) กล่าวถึงไฟว่า “ในอดีตการสร้างบ้านที่ทำจากไม้ไฟอายุของการใช้งานประมาณ 4-5 ปี ก็ผุพัง ต้องซ่อมแซม ปรับเปลี่ยน ทำให้เกิดการสืบสานของวัฒนธรรมการสร้างจากรุ่นสู่รุ่น แต่ในปัจจุบันบ้านเป็นสิ่งก่อสร้างที่คงทน ถาวรด้วยวัสดุใหม่ ๆ มรดกทางวัฒนธรรมก็ขาดหายไป” อาจจะเป็นเพราะข้อจำกัดต่าง ๆ ของไฟซึ่งเป็นวัสดุทางธรรมชาติ ไม่ว่าจะใช้อย่างไรก็ตาม ขนาดของไฟ จึงทำให้ไม่เป็นที่นิยมและได้รับความสนใจเท่าที่ควรในการนำมาเป็นวัสดุในการก่อสร้างอาคาร ด้วยวิธีการและรูปแบบในการก่อสร้างซึ่งทำตาม ๆ กันมาตั้งแต่อดีตและอายุการใช้งานที่สั้นของงานสถาปัตยกรรมไม้ไฟ ทำให้การพัฒนาแบบของงานสถาปัตยกรรมไฟมีการพัฒนาในเรื่องของ

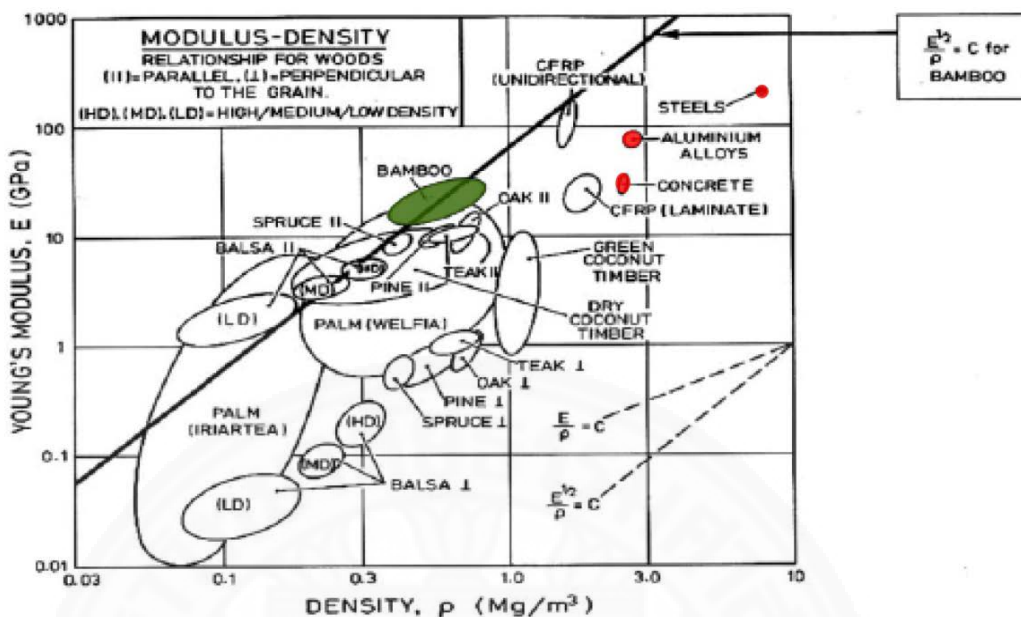
วัสดุ รูปแบบ เทคโนโลยี และวิธีการก่อสร้างอันจะเข้ามามีบทบาทในการพัฒนางานสถาปัตยกรรมไม้ ไม้ รวมถึงงานวิจัยเกี่ยวกับวัสดุทางด้านคุณสมบัติของสายพันธุ์ไม้ที่มีอยู่ในประเทศไทยนั้นยังน้อย ส่งผลให้การนำไม้มาใช้ในงานในรูปแบบโครงสร้างหรืออาคารไม่มีความเหมาะสม เนื่องจากผู้ออกแบบ คำนึงถึงความสวยงามเป็นหลัก โดยไม่ได้คำนึงถึงคุณสมบัติของวัสดุที่แท้จริงว่ามีความเหมาะสมกับ รูปแบบโครงสร้างหรืออาคารเหล่านั้นหรือไม่ หากมีการศึกษาถึงคุณสมบัติของวัสดุอย่างแท้จริง อาจจะส่งผลให้การออกแบบงานสถาปัตยกรรมในรูปแบบนี้มีประสิทธิภาพมากขึ้น และยังคงไว้ซึ่ง คุณสมบัติความเป็นวัสดุธรรมชาติ อีกทั้งยังมีราคาถูก ซึ่งสามารถใช้เป็นวัสดุทางเลือกในงาน สถาปัตยกรรมได้

ตารางที่ 1.1

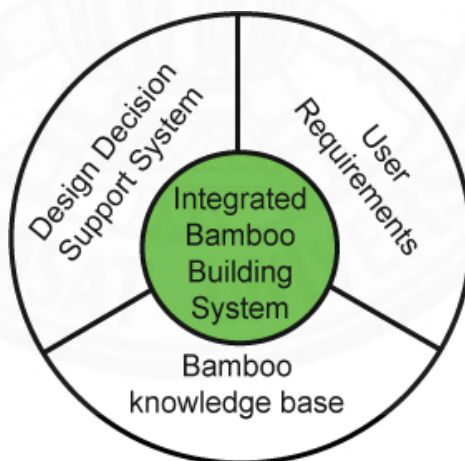
การเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุ

คุณสมบัติเชิงกล (กิโลนิวตันต่อตารางเซนติเมตร)	วัสดุ		
	ไม้สน	ไผ่ (<i>Guadua aangustifolia</i>)	เหล็ก
โมดูลัสความยืดหยุ่น (modulus of elasticity)	1,100	2,000	21,000
กำลังต้านทานแรงอัด (compressive strength)	4.3	6.2 - 9.3	14
กำลังต้านทานแรงดึง (tensile strength)	8.9	14.8 - 38.4	16
กำลังต้านทานแรงดัด (bending strength)	6.8	7.6 - 27.6	14
กำลังต้านทานแรงเฉือน (shear strength)	0.7	2	9.2

หมายเหตุ. *Mechanical properties of bamboo* (p. 3), Janssen, 1991, the Netherland: Kluwer Academic Publishers



ภาพที่ 1.1 ประสิทธิภาพของไม้และวัสดุอื่น ๆ ในความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสของยัง (young's modulus) และความหนาแน่น (density) ของวัสดุ. *Cement and Concrete Composites 27: Bamboo as reinforcement in structural concrete element* (p. 638), Ghavami, 2005, (n.p.)



ภาพที่ 1.2 ปัจจัยการพัฒนาระบบก่อสร้างอาคารด้วยไม้. จาก การพัฒนาวัสดุหลังคาและผนังจากไม้ ไม้เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการก่อสร้าง (น. 4), โดย รุ่งคุณ ราชนิวล, 2550, กรุงเทพฯ

จากภาพที่ 1.2 แสดงปัจจัยการพัฒนาระบบการก่อสร้างอาคารด้วยไม้ (integrated bamboo building) โดยคำนึงถึงปัจจัย 3 ส่วน ดังนี้

(1) การคำนึงถึงองค์ความรู้เดิม (bamboo knowledge base) การก่อสร้างอาคารไม้ไม่ควรมีการพัฒนาและปรับปรุงอันเกิดจากการพัฒนาขององค์ความรู้เดิมที่มีอยู่ ซึ่งเทคนิคการก่อสร้างสามารถติดตั้งได้ง่ายโดยใช้ช่างทั่วไปในชนบท

(2) การพัฒนาอันเกิดจากความต้องการของผู้อยู่อาศัย (user requirements) ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามความเป็นอยู่และความต้องการในปัจจุบัน เช่น ความต้องการในความคงทนของที่อยู่อาศัย และความต้องการในด้านความปลอดภัย

(3) การนำปัญหาและความต้องการในปัจจุบันมาทำการพัฒนาและออกแบบ โดยอยู่บนพื้นฐานขององค์ความรู้เดิมที่สามารถเข้าใจได้ง่าย และช่างท้องถิ่นสามารถก่อสร้างได้ (design decision support system) (วิวัฒน์ เตมียพันธ์, 2541, น. 61-63, อ้างถึงใน รุ่งคุณ ราชินวล, 2550, น. 5)

เนื่องจากไม้มีคุณสมบัติที่โดดเด่นและแตกต่างจากไม้ชนิดอื่น แต่มีข้อจำกัดค่อนข้างมาก มีอายุการใช้งานที่สั้นหากไม่ได้รับการปรับปรุงคุณภาพก่อนการนำมาใช้ รวมทั้งการดูแลรักษาที่ถูกต้องขณะใช้งาน จึงทำให้การนำไม้มาใช้ในการก่อสร้างมักเป็นไปในรูปแบบของอาคารที่พักอาศัยชั่วคราว ซึ่งนิยมใช้เทคนิคการก่อสร้างแบบเก่าคือรูปแบบเดียวกับเรือนเครื่องผูก ในปัจจุบันมีการนำไม้มาใช้ในการก่อสร้างอาคารที่มีขนาดใหญ่ขึ้นและมีการผสมผสานเข้ากับงานสถาปัตยกรรมสมัยใหม่ ทำให้เกิดเป็นรูปทรงของอาคารที่แตกต่างไปจากเดิม มีสถาปนิกหลายท่านหันมาให้ความสนใจกับสถาปัตยกรรมไม้ ไม้ โดยการเลือกสายพันธุ์ไม้ที่เหมาะสมกับการก่อสร้างและมีอยู่ในท้องถิ่น เพื่อที่จะนำไม้มาใช้ในการออกแบบอาคารรูปแบบต่าง ๆ และนำเอาเทคโนโลยีการก่อสร้างสมัยใหม่มาประยุกต์ใช้กับงานสถาปัตยกรรมไม้ ไม้ ทั้งกระบวนการปรับสภาพวัสดุก่อนการใช้งานและการก่อสร้าง จนเกิดเป็นงานสถาปัตยกรรมจากวัสดุธรรมชาติที่มีความสวยงาม แข็งแรง ช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และมีรูปทรงของอาคารที่หลากหลายด้วยคุณสมบัติของวัสดุ

ปัจจุบันนี้การพัฒนาเทคโนโลยีทางด้านต่าง ๆ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นเทคโนโลยีที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ แม้จะมีการพัฒนาไปมากเพียงใดแต่ก็พัฒนาควบคู่ไปกับกระแสการพัฒนาระแสท้องถิ่นนิยมด้วยเช่นกัน เทคโนโลยีทางด้านการก่อสร้างและโครงสร้างได้มีการพัฒนาไปมาก ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะสามารถประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการก่อสร้างสมัยใหม่เข้ากับวัสดุพื้นถิ่น ซึ่งเป็นวัสดุธรรมชาติและหาได้ง่ายในท้องถิ่น สามารถช่วยลดปัญหาผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากเทคโนโลยีการก่อสร้างสมัยใหม่ ลดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง และการนำเข้าวัสดุจากต่างประเทศ

การยกระดับระบบการก่อสร้างด้วยวัสดุท้องถิ่นนั้นต้องคำนึงถึงหลักการที่เหมาะสมกับเทคโนโลยีการก่อสร้างสมัยใหม่อันประกอบด้วย

(1) มีความเป็นไปได้ ฐานรากควรจะมีขนาดเล็กและผนังที่ไม่มีการรับน้ำหนัก ทำให้สามารถลดขนาดความหนาของผนัง และลดส่วนประกอบในการก่อสร้างบางส่วนลง เช่น ไม้ นี้อต ปูนซีเมนต์

(2) ความยั่งยืนและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากไม้เป็นพืชที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจและโตเร็ว ทั้งยังเป็นทรัพยากรหมุนเวียน ไม้ที่มีการปรับปรุงคุณภาพสามารถทำให้มีกำลังวัสดุและอายุการใช้งานที่ดีขึ้นได้

(3) การยอมรับ เมื่อนำวัสดุพื้นถิ่นมาประยุกต์กับความรู้ทางด้านวิศวกรรม ส่งผลให้มีความรู้สึกเป็นบ้านมากขึ้น มีความปลอดภัยและคงทนถาวร

(4) ความทนทานและความปลอดภัย ไม้ที่นำมาใช้ควรมีการปรับปรุงคุณภาพ เพื่อเพิ่มความคงทนและมีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น โดยการประยุกต์ความรู้ทางด้านวิศวกรรมมาใช้ในการออกแบบโครงสร้างที่สามารถต้านทานต่อแรงลม ต้านทานแรงแผ่นดินไหว และผ่านเกณฑ์การทดสอบตามที่วิศวกรรมกำหนด

(5) ปรับปรุงเทคนิคการก่อสร้างและเทคนิคการยึดในการก่อสร้าง (joint)

(6) การก่อสร้างแบบโมดูลาร์ (modular) การทำระบบไม้สำเร็จรูป โดยการทำเป็นขนาดมาตรฐานและมีรูปแบบซ้ำ ๆ กัน ซึ่งการก่อสร้างแบบสำเร็จรูปในรูปแบบโมดูลาร์สามารถนำไปติดตั้งที่สถานที่ก่อสร้างได้เลย

(7) ความง่ายในการติดตั้ง สามารถใช้ความรู้ที่ง่ายพื้นฐานทั่วไปในการติดตั้ง (วิวัฒน์ เตมียพันธ์, 2541, น.61-63, อ้างถึงใน รุ่งคุณ ราชินวล, 2550, บทที่ 1)

ในหัวข้อวิจัยนี้ ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไม้สายพันธุ์ไทยแต่ละชนิดที่แตกต่างกันตามลักษณะการนำมาใช้งานในงานโครงสร้างของแต่ละภูมิภาคในประเทศไทย เพื่อนำมาเป็นแนวทางในการเลือกใช้วัสดุในการก่อสร้างด้านงานสถาปัตยกรรมไม้ไม้ที่มีความเหมาะสมตามรูปแบบการใช้งาน และมีประสิทธิภาพในการรับน้ำหนักของตัวอาคาร

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 ศึกษาและเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกล

ศึกษาและเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของสายพันธุ์ไม้ในประเทศไทยที่สำคัญต่องานโครงสร้าง อันส่งผลต่อประสิทธิภาพการใช้งานด้านโครงสร้างและการนำไม้ไปใช้ร่วมกับวัสดุโครงสร้างอื่น ๆ

1.2.2 ศึกษาและคำนวณประสิทธิภาพของโครงสร้างไม้ไผ่

ศึกษาและคำนวณประสิทธิภาพการรับน้ำหนักของโครงสร้างไม้ไผ่ที่ออกแบบ

1.2.3 เสนอรูปแบบการก่อสร้างโครงสร้างไม้ไผ่

วิเคราะห์ผลการคำนวณประสิทธิภาพการรับน้ำหนักของโครงสร้างไม้ไผ่ เพื่อนำเสนอรูปแบบการก่อสร้างโครงสร้างไม้ไผ่

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาพันธุ์ไม้ที่มีความสำคัญต่องานโครงสร้างเพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไม้ และนำไปวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้งานของวัสดุในการรับน้ำหนักของโครงสร้าง

1.3.1 การทดลองที่ 1 การทดสอบคุณภาพของวัสดุ

ศึกษาพันธุ์ไม้ซึ่งมีพื้นที่เพาะปลูกในประเทศไทยและนิยมนำมาใช้ประโยชน์สำหรับงานโครงสร้าง ได้แก่ ไม้สายพันธุ์ไทยที่มีพื้นที่เพาะปลูกอยู่ในเขตพื้นที่ของภาคเหนือ ภาคกลาง ภาคตะวันตก และภาคตะวันออกของประเทศไทย และทำการคัดเลือกสายพันธุ์ไม้ที่มีความสำคัญต่องานโครงสร้าง 5 สายพันธุ์ เพื่อทำการวิจัยคุณสมบัติของวัสดุ ได้แก่ ไม้ตง (*Dendrocalamus asper*) ไม้ชางหม่น (*Dendrocalamus sericeus*) ไม้สีสุก (*Bambusa blumeana*) ไม้เลี้ยง (*Bambusa nana*) และไม้รวก (*Thyrsostachys siamensis*) โดยทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไม้แต่ละสายพันธุ์ ซึ่งศึกษาจากกลุ่มตัวอย่างไม้สายพันธุ์ละ 15 ตัวอย่างต่อการทดสอบ 1 คุณสมบัติ แบ่งเป็น ส่วนโคนของไม้แต่ละสายพันธุ์ สายพันธุ์ละ 5 ตัวอย่าง ส่วนกลางของไม้แต่ละสายพันธุ์ สายพันธุ์ละ 5 ตัวอย่าง และส่วนปลายของไม้แต่ละสายพันธุ์ สายพันธุ์ละ 5 ตัวอย่าง เพื่อนำผลการทดลองไปวิเคราะห์ เปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุในการนำไปใช้สำหรับงานโครงสร้างที่เหมาะสม

1.3.2 การทดลองที่ 2 การศึกษาและคำนวณประสิทธิภาพการรับน้ำหนักของโครงสร้าง

คำนวณประสิทธิภาพการรับน้ำหนักของโครงสร้างไม้ไผ่ที่ออกแบบ ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการศึกษาไม้ที่มีความเหมาะสมกับโครงสร้างไม้ไผ่ขนาดเล็ก โดยเลือกใช้ไม้ทั้ง 5 สายพันธุ์ที่ผ่านการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุ ซึ่งการศึกษาประสิทธิภาพการรับน้ำหนักของโครงสร้างผู้วิจัยเลือกศึกษา

เฉพาะองค์อาคารหลักของระบบโครงสร้างไม้ได้แก่ เสา และคาน เพื่อนำเสนอเป็นแนวทางในการเลือกวัสดุในการก่อสร้างงานสถาปัตยกรรมไม้ขนาดเล็ก

1.3.3 โครงสร้างเรียบง่าย

โครงสร้างเรียบง่าย คือ รูปแบบของอาคาร ที่มีระบบเสาและคานเป็นระบบโครงสร้างหลักในการรับน้ำหนักของอาคาร ซึ่งเป็นโครงสร้างแบบเรียบง่ายและมีรูปทรงของอาคารที่ไม่สลับซับซ้อน และมีขนาดเล็ก

1.4 สมมติฐานของการวิจัย

คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไม้แต่ละชนิดส่งผลต่อประสิทธิภาพในการรับน้ำหนักของโครงสร้างสำหรับงานสถาปัตยกรรมไม้

1.5 ระเบียบวิธีวิจัย

1.5.1 ศึกษาทฤษฎี ผลงานวิจัยและงานเขียนอื่น ๆ

1.5.1.1 ศึกษาสายพันธุ์ไม้

ศึกษาสายพันธุ์ไม้ไทยที่มีพื้นที่เพาะปลูกในประเทศไทย ซึ่งมีความสำคัญและได้รับความนิยมในการนำมาใช้ประโยชน์ทางด้านโครงสร้าง

1.5.1.2 ศึกษาคุณสมบัติของไม้

ศึกษาคุณสมบัติของไม้สายพันธุ์ต่าง ๆ ทั้งที่มีพื้นที่เพาะปลูกในประเทศไทยและมีพื้นที่เพาะปลูกในต่างประเทศ เพื่อวิเคราะห์หาปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณสมบัติของไม้ เช่น สภาพภูมิประเทศ สภาพภูมิอากาศ สายพันธุ์ ความชื้น เป็นต้น

1.5.1.3 ศึกษาการนำไม้ไปใช้ร่วมกับงานโครงสร้าง

ศึกษาการนำไม้ไปใช้ร่วมกับงานโครงสร้าง เช่น การทำคอนกรีตเสริมไม้ การพัฒนาระบบหลังคาและผนังจากไม้เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในงานก่อสร้าง การแปรรูปไม้เพื่อทำเป็นพื้นและผนังรวมถึงวัสดุประสาน เป็นต้น

1.5.1.4 ศึกษาวิธีการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุ

ศึกษาวิธีการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุทั้งคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกล รวมถึงรูปแบบการรับน้ำหนักของโครงสร้างหลักของอาคาร

1.5.2 ศึกษาศึกษาเชิงปฏิบัติการ

1.5.2.1 คัดเลือกพันธุ์ไม้สำหรับทดสอบคุณสมบัติ

คัดเลือกสายพันธุ์ไม้ที่มีพื้นที่เพาะปลูกในประเทศไทย และเป็นที่ยอมรับสำหรับการนำมาใช้งานทางด้านโครงสร้าง เพื่อนำมาใช้ในการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุ ได้แก่ ไม้ตง ไม้ช่างหม่น ไม้สีสุก ไม้เลียง และไม้รวก

1.5.2.2 ทดสอบคุณสมบัติของไม้

ทำการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุในด้านคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ การวัดค่าความหนาของเนื้อไม้ มวล ปริมาณ ความหนาแน่นของเนื้อไม้ (density) ความถ่วงจำเพาะ (specific gravity) และความชื้น (moisture content) ของชิ้นตัวอย่างทดสอบ ส่วนการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล ได้แก่ การทดสอบเพื่อหาโมดูลัสการแตกร้าว (modulus of rupture: MOR) โมดูลัสความยืดหยุ่น (modulus of elasticity: MOE) กำลังต้านทานแรงอัด (compressive strength) กำลังต้านทานแรงเฉือน (shear strength) และกำลังต้านทานแรงดึง (tensile strength) ของไม้แต่ละสายพันธุ์

1.5.2.3 คัดเลือกพันธุ์ไม้สำหรับจำลองรูปแบบโครงสร้าง

คัดเลือกไม้ที่มีความเหมาะสมจากการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุ เพื่อคำนวณประสิทธิภาพการรับน้ำหนักของโครงสร้างไม้ฝอยขนาดเล็ก

1.5.2.4 คำนวณประสิทธิภาพการรับน้ำหนักของโครงสร้างไม้ฝอย

คำนวณประสิทธิภาพการรับน้ำหนักของโครงสร้าง โดยอ้างอิงคุณสมบัติวัสดุจากผลการทดสอบคุณสมบัติของไม้

1.5.3 สรุปและวิเคราะห์

1.5.3.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของไม้

วิเคราะห์เปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไม้ทั้ง 5 สายพันธุ์ รวมถึงวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคุณสมบัติของไม้ทั้ง 5 สายพันธุ์ กับไม้จากงานวิจัยอ้างอิงและไม้ชนิดต่าง ๆ ได้แก่ ไม้เนื้ออ่อนมาก ไม้เนื้ออ่อน ไม้เนื้อแข็งปานกลาง ไม้เนื้อแข็ง และไม้เนื้อแข็งมาก

1.5.3.2 การรับน้ำหนักของโครงสร้างไม้ฝอย

วิเคราะห์ประสิทธิภาพการรับน้ำหนักของโครงสร้างที่ออกแบบ

1.5.3.3 เสนอแนวทางการเลือกใช้วัสดุ

วิเคราะห์ความเหมาะสมของพันธุ์ไม้กับรูปแบบของโครงสร้าง เพื่อเสนอแนวทางการเลือกใช้วัสดุที่มีความเหมาะสมกับรูปแบบโครงสร้าง และมีประสิทธิภาพในการรับน้ำหนัก

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

1.6.1 แนวทางในการประยุกต์ใช้ไฟ

แนวทางในการประยุกต์ใช้ไฟในงานสถาปัตยกรรมซึ่งมีคุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติเชิงกลที่เหมาะสมกับโครงสร้างประเภทต่าง ๆ

1.6.2 ประสิทธิภาพของไฟ

ศึกษาประสิทธิภาพของไฟเพื่อใช้ในงานสถาปัตยกรรม

1.6.3 แนวทางการเลือกใช้วัสดุและรูปแบบของโครงสร้างสำหรับงานสถาปัตยกรรม ไม้ไฟ

แนวทางการเลือกใช้วัสดุที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมกับรูปแบบการรับน้ำหนักของโครงสร้างสำหรับงานสถาปัตยกรรมไม้ไฟ

1.6.4 แนวทางในการก่อสร้างโดยใช้ไฟ

การเสนอแนวทางในการก่อสร้างโดยใช้ไฟ

1.7 นิยามศัพท์

1.7.1 คุณสมบัติทางกายภาพ

คุณสมบัติทางกายภาพ (physical properties) หมายถึง ลักษณะที่สามารถสังเกตได้ด้วยตาเปล่าหรือลักษณะภายนอก และสามารถใช้เครื่องมืออย่างง่าย ๆ ในการสังเกต เช่น ความหนา มวล ปริมาณ ความหนาแน่น ความถ่วงจำเพาะ และความชื้น

1.7.2 คุณสมบัติเชิงกล

คุณสมบัติเชิงกล (mechanical properties) หมายถึง คุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นของวัตถุเมื่อมีแรงจากภายนอกกระทำต่อวัตถุ ได้แก่ กำลังต้านทานแรงดัด กำลังต้านทานแรงอัด กำลังต้านทานแรงเฉือน และกำลังต้านทานแรงดึง เป็นต้น ซึ่งสิ่งเหล่านี้สามารถบอกได้ว่าวัตถุสามารถรับหรือต้านทานแรงที่มากกระทำได้ดีเพียงใด และมีความสำคัญมากในงานวิศวกรรม เพราะการเลือกใช้วัสดุใด ๆ สิ่งแรกที่ต้องพิจารณา คือ คุณสมบัติเชิงกล เนื่องจากอุปกรณ์หรือวัสดุใด ๆ จะทำงานได้อย่างปลอดภัยหรือไม่ก็ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติเชิงกล

1.7.3 ความหนาแน่น

ความหนาแน่น (density) หมายถึง ตัวบ่งบอกปริมาณมวลของวัตถุต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรบนพื้นที่ที่มีค่าแรงโน้มถ่วงของโลกค่าเดียวกัน ความหนาแน่นของวัตถุเป็นค่าที่บอกความหนักเบาของวัตถุ และเป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งที่ต้องคำนึงถึงในการเลือกใช้วัสดุ

1.7.4 ความถ่วงจำเพาะ

ความถ่วงจำเพาะ (specific gravity) หมายถึง ค่าอัตราส่วนระหว่างมวลของวัตถุต่อมวลของน้ำที่มีปริมาตรเท่ากัน

1.7.5 ความชื้น

ความชื้น (moisture content) หมายถึง ปริมาณของน้ำที่มีอยู่ในเนื้อวัสดุคิดเป็นร้อยละโดยมวลเทียบกับมวลของวัตถุที่อบแห้ง เช่น ความชื้นร้อยละ 20 คือ มีปริมาณน้ำในวัตถุ 20 กรัมของน้ำหนักวัตถุ 100 กรัม

1.7.6 แรงกระทำสูงสุด

แรงกระทำสูงสุด (maximum load) หมายถึง หน่วยแรงสูงสุดที่เกิดจากแรงกดในแนวแกนสูงสุดแล้วทำให้วัตถุวิบัติ

1.7.7 กำลังต้านทานแรงดัด

กำลังต้านทานแรงดัด (bending strength) หมายถึง แรงที่ทำให้วัตถุโค้งหรือโก่งตัว

1.7.8 โมดูลัสการแตกร้าว

โมดูลัสการแตกร้าว (modulus of rupture: MOR) หมายถึง แรงที่เกิดขึ้นจากแรงดัดสูงสุดที่กระทำต่อวัตถุ ณ จุดวิบัติ ซึ่งได้จากการทดสอบหากำลังต้านทานแรงดัดของวัตถุ โดยสามารถทดสอบได้ 2 วิธี คือ การใช้แรงกด 1 จุดที่จุดกึ่งกลางวัตถุ และการใช้แรงกด 2 จุดโดยตำแหน่งของทั้ง 2 จุดต้องแบ่งวัตถุออกเป็น 3 ส่วนเท่า ๆ กัน

1.7.9 โมดูลัสความยืดหยุ่น

โมดูลัสความยืดหยุ่น (modulus of elasticity: MOE) หมายถึง ค่าบอกระดับความแข็งแรงของวัสดุ สามารถหาได้จากค่าของลิมิตอัตราการเปลี่ยนแปลงของความเค้น (stress) ต่อความเครียด (strain) หรือความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น (stress) และความเครียดที่ได้จากการทดสอบกำลังต้านทานแรงดัดของวัตถุ

1.7.10 กำลังต้านทานแรงอัด

กำลังต้านทานแรงอัด (compressive strength) หมายถึง ความสามารถในการรับน้ำหนักของวัตถุ ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อมีแรงมากกระทำกับพื้นที่ภาคตัดขวาง เพื่อพยายามให้วัตถุมีขนาดสั้นลง

1.7.11 กำลังต้านทานแรงเฉือน

กำลังต้านทานแรงเฉือน (shear strength) หมายถึง ค่าความสามารถในการทนต่อแรงที่กระทำให้น้ำหรือวัสดุส่วนหนึ่งเคลื่อนตัวหรือแยกหลุดออกจากวัสดุอีกส่วนหนึ่งที่อยู่ติดกัน

1.7.12 กำลังต้านทานแรงดึง

กำลังต้านทานแรงดึง (tensile strength) หมายถึง แรงที่กระทำตั้งฉากกับพื้นที่ภาคตัดขวาง โดยพยายามที่จะแยกเนื้อของวัสดุให้ขาดออกจากกัน

1.7.13 โครงสร้างเรียบง่าย

โครงสร้างเรียบง่าย (simple structure) หมายถึง รูปแบบของอาคารที่มีระบบเสาและคานเป็นระบบโครงสร้างหลักในการรับน้ำหนักของอาคาร ซึ่งมีรูปทรงของอาคารที่เรียบง่ายไม่สลับซับซ้อน และมีขนาดเล็ก

บทที่ 2

วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ธรรมชาติของไผ่

ไผ่เป็นไม้ประเภทยืนต้นที่มีอยู่ตลอดทุกฤดูกาล ไม่ใช่พืชล้มลุก แต่จัดอยู่ในจำพวกหญ้าตระกูลปาล์มชนิดที่มีใบเดี่ยวแตกออกจากเมล็ด แล้วมีการเปลี่ยนแปลงไปจนกลายเป็นเนื้อไม้ที่แข็งแรงแรง แต่ก็ไม่เหมือนกับเนื้อไม้ธรรมดา คือเมื่อหน่อไม้ได้เติบโตมาเป็นเวลา 40-50 วัน ต้นก็จะยาวและมีความหนาเต็มที่ จากนั้นลำต้นก็จะไม่เติบโตออกไปอีก แต่ภายในปล้อง (cellular tissue) จะเกิดมากยิ่งขึ้นและเนื้อแน่นขึ้น ลำไผ่มีลักษณะเป็นกระบอกเกือบจะกลางตลอดลำ มีข้อและปล้อง ซึ่งความยาวของปล้องจะขึ้นอยู่กับชนิดของสายพันธุ์ไผ่และสภาวะของการเจริญเติบโต โดยทั่วไปแล้วความยาวของปล้องตอนกลางลำต้นจะยาว ส่วนตอนปลายและโคนของลำต้นจะสั้นกว่าตอนกลางของลำต้น ไผ่ประกอบด้วยผิวนอกบาง ๆ (thin pith) มีลักษณะเป็นเยื่อบาง ๆ (คือเยื่อข้าวหลาม) ถัดเข้าไปเป็นรูกลวงของไม้ไผ่ (Runghana Pattanavibool, 2009)

2.1.1 คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไผ่

2.1.1.1 คุณสมบัติทางกายภาพ

คุณสมบัติทางกายภาพเป็นลักษณะภายนอกที่สามารถสังเกตได้ด้วยตาเปล่า และสามารถใช้เครื่องมืออย่างง่าย ๆ ในการสังเกต เช่น ความหนาของเนื้อไม้ มวล ปริมาณความหนาแน่นของเนื้อไม้ ความถ่วงจำเพาะ และความชื้น

2.1.1.2 คุณสมบัติเชิงกล

คุณสมบัติเชิงกลเป็นสมบัติที่มีความสำคัญมากในงานวิศวกรรม กล่าวคือเป็นข้อมูลที่ถูกนำมาใช้ในการตัดสินใจเลือกใช้วัสดุอย่างมีประสิทธิภาพ การทดสอบวัสดุโดยทั่วไปจะเป็นการทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติเชิงกล เพื่อศึกษาพฤติกรรมของวัสดุเมื่อมีแรงมากระทบและไม่ว่าแรงนั้นจะอยู่ในลักษณะใดก็ตามย่อมทำให้เกิดความเค้นและความเครียดกับวัสดุ เป็นการตอบสนองแรงที่มากระทำ ทั้งนี้กำลังต้านทานแรงอัดและกำลังต้านทานแรงดึงจะเปลี่ยนแปลงไปเมื่อไผ่อยู่ในสภาวะสดและแห้ง ไผ่สดมีความชื้นประมาณร้อยละ 60 ความชื้นจะมีมากในส่วนกลางของลำต้น และมีค่าลดลงในส่วนปลายของลำต้น

ตารางที่ 2.1

ลักษณะทางกายภาพของไม้ต่ง

ลักษณะทางกายภาพ	หน่วย	แหล่งที่มา		
		Rao (1998)	Othman (1995)	Sutnaun (2005)
ความสูงของลำต้น	เมตร	20 - 30	18 - 23	-
ความยาวของปล้อง	เซนติเมตร	20 - 45	35	14 - 45
เส้นผ่านศูนย์กลางของปล้อง	เซนติเมตร	8 - 20	9 - 13	1.2 - 9.3
ความหนาของเนื้อไม้	มิลลิเมตร	11 - 20	10 - 14	4 - 30

หมายเหตุ. *The suitability of Dendrocalamus asper backer for oriented strand lumber* (p. 15), Pannipa Malanit, 2009, Hamberg

ตารางที่ 2.2

คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไม้ต่ง

คุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติเชิงกล	หน่วย	แหล่งที่มา		
		Dransfield & Widjaja (1995)	Othman (1995)	Pakhkeree (1997)
ความชื้นในสภาวะสด	ร้อยละ	55	66.5	46
ความถ่วงจำเพาะ การหดตัว		0.70	0.67	0.77
- ตามแนวรัศมี	ร้อยละ	5	6.5	1.3
- ตามแนวขนานเส้น สัมผัส	ร้อยละ	4.5	8.5	2.5
- ตามความยาว	ร้อยละ	-	-	0.2
โมดูลัสการแตกร้าว	เมกะพาสคัล	92.5	85.65	135
โมดูลัสความยืดหยุ่น	เมกะพาสคัล	-	63,000	13,115
กำลังต้านทานแรงดึง	เมกะพาสคัล	-	-	314
กำลังต้านทานแรงอัด	เมกะพาสคัล	27.1	31.45	72
กำลังต้านทานแรงเฉือน	เมกะพาสคัล	7.15	5.35	14

หมายเหตุ. *The suitability of Dendrocalamus asper backer for oriented strand lumber* (p. 16), Pannipa Malanit, 2009, Hamberg

2.1.2 พฤติกรรมการแตกและหักของไผ่

ไผ่จะมีลักษณะที่แตกต่างกันชัดเจนกับไม้ เนื่องจากเงื่อนไขคุณสมบัติความแตกต่างของเนื้อไม้ ไผ่มีลักษณะเนื้อไม้ภายนอกมีความแข็งแรงมากกว่าเนื้อไม้ภายใน เมื่อผิวภายนอกของไผ่มีการแตกเป็นร่อง จะส่งผลให้ไผ่สูญเสียความแข็งแรง อาจนำไปสู่ความเสียหายได้ในทันที หากมีการถ่ายแรงไปในทิศทางเดียวไปตามยาวขนาดก้านกับเนื้อไม้ เมื่อมีแรงเพิ่มขึ้นตามยาวจะมีการถ่ายเทแรงที่ไม่มีความสม่ำเสมอบริเวณที่เป็นร่องไม้จะเกิดแรงเฉือนบริเวณผิวของไผ่จนเกิดการแตกหักได้ ดังนั้นจึงควรระวังบริเวณผิวของไผ่ให้มากกว่าส่วนอื่น ๆ โดยพยายามอย่าให้เกิดรอยหรือแตก (Rottke, 2011, para. 14)

2.1.3 ไผ่ในประเทศไทย

สายพันธุ์ไผ่ในโลกนี้มีประมาณ 1,500 สายพันธุ์ จะพบมากในทวีปเอเชีย ทวีปอเมริกา และทวีปแอฟริกา ในประเทศไทยมีพื้นที่ป่าไผ่ประมาณ 17.6 ล้านตารางเมตร ซึ่งประเทศไทยตั้งอยู่ระหว่างละติจูดที่ 5 องศา 37 ลิปดาเหนือ และ 20 องศา 27 ลิปดาเหนือ ระหว่างลองจิจูดที่ 97 องศา 22 ลิปดาตะวันออก และ 105 องศา 37 ลิปดาตะวันออก ประกอบไปด้วยไผ่ 17 ตระกูล 72 สายพันธุ์ ซึ่งไผ่ที่นิยมใช้กันอยู่ทั่วไปมีอยู่ 5 สายพันธุ์ คือ *Bambusa*, *Cephalostachyum*, *Dendrocalamus*, *Thyrsostachys* และ *Gigantochloa* พื้นที่ที่นิยมปลูกไผ่มากในประเทศไทย ได้แก่ จ.ปราจีนบุรี จ.กาญจนบุรี จ.ราชบุรี จ.พิษณุโลก และจ.เพชรบูรณ์ (Rungnapa Pattanavibool, 2009)

ตารางที่ 2.3

สายพันธุ์ไผ่ในประเทศไทย

ตระกูล	จำนวนสายพันธุ์
<i>Bambusa</i>	15
<i>Chimonocalamus</i>	1
<i>Dendrocalamus</i>	10
<i>Dinochloa</i>	3
<i>Gigantochloa</i> (including species formerly placed under <i>Pseudoxytenanthera</i>)	15
<i>Indosasa</i>	1
<i>Melocalamus</i>	1

ตารางที่ 2.3 (ต่อ)

สายพันธุ์ไม้ในประเทศไทย

ตระกูล	จำนวนสายพันธุ์
<i>Melocanna</i>	2
<i>Neohouzeoua</i>	4
<i>Phuphanochloa</i>	1
<i>Phyllostachys</i>	1
<i>Pseudostachyum</i>	1
<i>Schizostachyum</i> (including species formerly placed under <i>Cephalostachyum</i>)	10
<i>Teinostachyum</i>	2
<i>Temochloa</i>	1
<i>Thyrsostachys</i>	2
<i>Vietnamosasa</i>	2
17 ตระกูล	72

หมายเหตุ. *Bamboo research and development in Thailand*, Rungnapa Pattanavibool, 2009, Bangkok: Royal forest department

ตารางที่ 2.4

ไม้ลำค้ำย 10 ชนิด ซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศไทย

ที่	ชื่อท้องถิ่น	ชื่อวิทยาศาสตร์
1	ไผ่ตง	<i>Dendrocalamus asper</i>
2	ไผ่รวก	<i>Thyrsostachys siamensis</i>
3	ไผ่สีสุก	<i>Bambusa blumeana</i>
4	ไผ่เลี้ยง	<i>Bambusa nana</i> (syn. <i>Bambusa multiplex</i>)
5	ไผ่รวกดำ	<i>Thyrsostachys oliveri</i>

ตารางที่ 2.4 (ต่อ)

ไผ่สำคัญ 10 ชนิด ซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศไทย

ที่	ชื่อท้องถิ่น	ชื่อวิทยาศาสตร์
6	ไผ่ป่า	<i>Bambusa bambos</i>
7	ไผ่ชางนวล	<i>Dendrocalamus membranaceus</i>
8	ไผ่ชาง	<i>Dendrocalamus strictus</i>
9	ไผ่หวาน	<i>Bambusa burmanica</i>
10	ไผ่ข้าวหลาม	<i>Cephalostachyum pergracile</i>
อื่น ๆ	ไผ่ไร่	<i>Gigantochloa albociliata</i>
	ไผ่บงใหญ่	<i>Dendrocalamus brandisil kurz</i>
	ไผ่ผาก	<i>Gigantochloa hasskarliana</i>
	ไผ่เกรียบ	<i>Schizostachyum humilis</i>
	ไผ่เอี้ยะ	<i>Cephalostachyum virgatum</i>

หมายเหตุ. Bamboo research and development in Thailand, Rungnapa Pattanavibool, 2009, Bangkok: Royal forest department

2.1.4 การแบ่งกลุ่มของสายพันธุ์ไผ่ไทยตามการใช้ประโยชน์

ไผ่สำคัญของประเทศไทยสามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มตามการใช้ประโยชน์ได้ ดังนี้

1. ไผ่สำหรับใช้ลำต้นทำเป็นโครงสร้าง เช่น ไผ่ป่า (*B. bambus*) ไผ่ตง (*D. asper*) ไผ่สีสุก (*B. blumeana*) ไผ่ชางนวล (*D. membranaceus*) ไผ่ผาก (*G. hasskariana*) ไผ่เลี้ยง (*B. nana*) ไผ่รวกดำ (*T. oliverii*) และไผ่ชาง (*D. strictus*)
2. ไผ่สำหรับใช้ลำต้นในการทำงานหัตถกรรม เช่น ไผ่สีสุก (*B. blumeana*) ไผ่เลี้ยง (*B. nana*) ไผ่รวกดำ (*T. oliverii*) ไผ่รวก (*T. siamensis*) ไผ่ผาก (*G. hasskariana*) ไผ่เกรียบ (*S. humilis*) และไผ่เอี้ยะ (*C. virgatum*)
3. ไผ่สำหรับใช้หน่อเป็นอาหาร เช่น ไผ่ตง (*D. asper*) ไผ่สีสุก (*B. blumeana*) ไผ่บงใหญ่ (*D. brandisil kurz*) ไผ่ชาง (*D. strictus*) ไผ่รวก (*T. siamensis*) ไผ่รวกดำ (*T. oliverii*) และไผ่ไร่ (*G. albociliata*) (Rungnapa Pattanavibool, 2009)

2.1.5 สายพันธุ์ไม้ในประเทศไทย สำหรับใช้ลำต้นทำเป็นโครงสร้าง

2.1.5.1 ไม้ตง



ภาพที่ 2.1 ไม้ตง (*D. asper*)

ไม้ตง (*D. asper*) จัดเป็นไม้ประเภทเหง้า ที่มีกอนขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ กอมีลักษณะค่อนข้างแน่น สูงประมาณ 20-30 เมตร ลำต้นมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10-20 เซนติเมตร มีขนาดปล้องยาวประมาณ 20-50 เซนติเมตร ขนาดของเนื้อไม้หนาประมาณ 1-3.5 เซนติเมตร ลำอ่อนบริเวณปล้องล่างมีขนสีน้ำตาลปกคลุม ปล้องบนมีขนสีขาวหรือสีเทาปกคลุม ลำแก่จะมีสีเขียวเข้มหรือสีเขียวอมเทา ปล้องล่างยังคงมีขนปกคลุมและมักมีรากอากาศจำนวนมากออกตามข้อ ใบมีลักษณะคล้ายรูปหอกปลายเรียวแหลมมีขนาดกลางถึงใหญ่ กว้างประมาณ 1.5-4.5 เซนติเมตร ยาว 15-30 เซนติเมตร กาบหุ้มลำมีสีน้ำตาลอมม่วงหรือสีน้ำตาลจนถึงสีเขียวอ่อน

2.1.5.2 ไม้ซางหม่น



ภาพที่ 2.2 ไม้ซางหม่น (*D. sericeus*)

ไผ่ซางหม่น (*D. sericeus*) เป็นไผ่พันธุ์พื้นเมืองที่พบมากในพื้นที่ภาคเหนือ เป็นไผ่ที่มีลำขนาดใหญ่ ลำต้นมีสีเขียวอ่อน ผิวเป็นมันไม่มีหนาม ลำต้นมีความยาวประมาณ 6-20 เมตร มีขนาดความยาวของปล้องประมาณ 15-50 เซนติเมตร ลำต้นมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2.5-12.5 เซนติเมตร และมีเนื้อไม้หนาประมาณ 5-8 มิลลิเมตร มีกาบหุ้มลำต้นสีเขียวอมเหลือง ครีบกาบเล็ก ใบมีลักษณะเป็นรูปสามเหลี่ยมแคบ ๆ บริเวณปลายใบมีลักษณะเรียวแหลมและโคนใบเป็นมุมป้าน มีขนาดยาวประมาณ 12-30 เซนติเมตร กว้างประมาณ 1-2 เซนติเมตร

2.1.5.3 ไผ่เลี้ยง



ภาพที่ 2.3 ไผ่เลี้ยง (*B. nana*)

ไผ่เลี้ยง (*B. nana*) จะขึ้นเป็นกอในลักษณะที่ไม่แน่นที่บันทึก จัดว่าเป็นพุ่มขนาดกลางที่สามารถสูงได้ถึง 15 เมตร ลำต้นมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1-4.5 เซนติเมตร ปล้องมีความยาวประมาณ 20-30 เซนติเมตร ลำมีสีเขียวออกเหลือง บริเวณลำต้นไม่มีหนาม ใบเล็กมีลักษณะเรียวคล้ายรูปหอก มีความยาวประมาณ 2.5-15 เซนติเมตร และกว้างประมาณ 0.5-1.5 เซนติเมตร บริเวณลำต้นมีกาบบาง ๆ หุ้มลำสีน้ำตาลอ่อน มีลักษณะหนาและแข็งสามารถหลุดออกได้ง่าย เป็นไผ่ที่ออกหน่อดกมากและสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้หลังปลูก 6 เดือน

2.1.5.4 ใผ่สีสุก



ภาพที่ 2.4 ใผ่สีสุก (*B. blumeana*)

ใผ่สีสุก (*B. blumeana*) เป็นไผ่ประเภทมีหนาม กอมีลักษณะหนาแน่น ลำต้นมีความยาวประมาณ 10–18 เมตร มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นประมาณ 8–12 เซนติเมตร ปล้องยาวประมาณ 30 เซนติเมตร ลำต้นมีสีเขียวสด ผิวเรียบเป็นมัน บริเวณข้อมีกิ่งคล้ายหนาม โดยกิ่งแตกตั้งฉากกับลำต้นและมีหนามโคนอกเป็นกลุ่ม ใบมีลักษณะเรียวยาวแหลม บริเวณโคนใบเป็นรูปลิ้นกว้าง ๆ หรือตัดตรง ใบมีขนาดกว้างประมาณ 0.8–2 เซนติเมตร ยาวประมาณ 10–20 เซนติเมตร

2.1.5.5 ใผ่รวก



ภาพที่ 2.5 ใผ่รวก (*T. siamensis*)

ไผ่รวก (*T. siamensis*) กอมีลักษณะค่อนข้างแน่น ลำต้นมีขนาดเล็ก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2–7 เซนติเมตร ปล้องยาวประมาณ 15–30 เซนติเมตร สูงประมาณ 7–15 เมตร บริเวณส่วนโคนมีเนื้อหนาจนเกือบตัน แต่บริเวณส่วนปลายจะมีเนื้อบาง ลำต้นมีสีเขียวอมเทา ใบบริเวณโคนใบมีลักษณะป้านหรือเกือบกลมและบริเวณปลายใบเรียวแหลมมีลักษณะแหลม ใบมีขนาดกว้างประมาณ 0.5–1.5 เซนติเมตร ยาวประมาณ 7–22 เซนติเมตร

2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับการรับแรงของโครงสร้าง

2.2.1 แรง

แรง คือ การกระทำจากภายนอก ซึ่งก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของระบบทางกายภาพ ถ้าแรงก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางจลนศาสตร์ตามกฎข้อที่สองของนิวตัน คือ เกิดความเร่ง หากไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางจลนศาสตร์ก็อาจก่อให้เกิดความเปลี่ยนแปลงอื่น ๆ ได้เช่นกัน หน่วยเอสไอของแรง คือ นิวตัน

2.2.2 น้ำหนักจากแรงโน้มถ่วงของโลก

น้ำหนักจากแรงโน้มถ่วงของโลก (gravity load) คือ แรงที่โลกกระทำต่อมวลของวัตถุในแนวตั้ง และทำให้วัตถุมีน้ำหนัก

แหล่งกำเนิด: น้ำหนักของโครงสร้าง

การคำนวณ: คำนวณจากปริมาตรและความหนาแน่น

2.2.3 การรับน้ำหนักของโครงสร้างอาคาร

การรับน้ำหนักของโครงสร้างอาคารจากแรงที่กระทำต่อโครงสร้างอาคารประกอบด้วย

2.2.3.1 น้ำหนักบรรทุกคงที่

น้ำหนักบรรทุกคงที่ (dead load) คือ น้ำหนักบรรทุกที่เกิดจากน้ำหนักของโครงสร้างอาคารและเป็นแรงที่กระทำแบบถาวร โดยแรงที่กระทำต่อโครงสร้างจะค่อย ๆ กระทำจนกระทั่งคงที่ ไม่เปลี่ยนแปลงทั้งในด้านน้ำหนักและตำแหน่งที่กระทำ ภายใต้แรงกระทำนี้โครงสร้างจะค่อย ๆ โค้งตัวตามน้ำหนักที่มากระทำกับโครงสร้าง จนกระทั่งโค้งตัวสูงสุดเมื่อมีแรงที่กระทำต่อโครงสร้างมีค่าสูงสุด

2.2.3.2 น้ำหนักบรรทุกจร

น้ำหนักบรรทุกจร (live load) คือ น้ำหนักบรรทุกที่สามารถเคลื่อนที่ได้ และอาจจะไม่ได้กระทำอยู่ตลอดเวลา โดยแรงจะกระทำในแนวตั้งหรือแนวราบลงบนโครงสร้าง

ประกอบไปด้วยแรงต่าง ๆ ซึ่งไม่ได้กระทำกับโครงสร้างแบบถาวร เช่น น้ำหนักเฟอร์นิเจอร์ น้ำหนักคน เป็นต้น ค่าของน้ำหนักบรรทุกจรขึ้นอยู่กับกฎหมายอาคาร สำหรับบ้านพักอาศัยมีค่าน้ำหนักบรรทุกจรประมาณ 150 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

2.2.4 โมดูลัสของยัง

โมดูลัสของยัง (young's modulus) หรือโมดูลัสความยืดหยุ่นเป็นค่าบอกระดับความแข็งแรงของวัสดุ ซึ่งสามารถหาได้จากค่าลิมิตของอัตราการเปลี่ยนแปลงของความเค้นต่อความเครียด ที่ค่าความเค้นน้อยสามารถหาจากความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด (stress-strain curve)

$$\text{โมดูลัสของยัง (young's modulus)} = \text{ความเค้น (f)}/\text{ความเครียด (e)} \quad (2.1)$$

2.2.4.1 ความเค้นและความเครียด

(1) ความเค้น

ความเค้น หมายถึง แรงดันที่อยู่ภายในเนื้อวัสดุที่ต้านทานต่อแรงภายนอกซึ่งมากระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ของวัสดุนั้น ๆ แต่เนื่องจากความไม่เหมาะสมทางปฏิบัติและความยากในการวัดค่า จึงมักกล่าวถึงความเค้นในรูปแบบของแรงภายนอกที่มากระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ด้วยเหตุผลที่ว่าแรงกระทำภายนอกมีความสมดุลกับแรงต้านทานภายใน ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก

$$\text{ความเค้น (กก./ตร.ซม.)} = \frac{\text{แรงที่กระทำต่อวัสดุ (กก.)}}{\text{พื้นที่หน้าตัดส่วนที่รับแรง (ตร.ซม.)}} \quad (2.2)$$

ความเค้นแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด ตามลักษณะของแรงที่มากระทำ

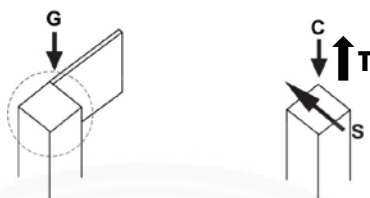
1. ความเค้นอัด: ความเค้นอัดเกิดขึ้นเมื่อมีแรงกดมากระทำตั้งฉากกับพื้นที่ภาคตัดขวาง เพื่อพยายามทำให้วัสดุมีขนาดสั้นลง



ภาพที่ 2.6 แรงอัดซึ่งเป็นผลจากแรงกระทำโดยตรง เมื่อ f = แรงกระทำต่อพื้นที่, F = แรงกระทำทั้งหมด และ A = พื้นที่ผิวบริเวณที่ถูกแรงกระทำ

2. ความเค้นดึง: ความเค้นดึงเกิดขึ้นเมื่อมีแรงดึงมากระทำตั้งฉากกับพื้นที่ภาคตัดขวาง โดยพยายามแยกเนื้อวัสดุให้ขาดออกจากกันซึ่งจะกระทำกับวัตถุในทิศตรงข้ามกับแรงอัด

3. ความเค้นเฉือน: ความเค้นเฉือนเกิดขึ้นเมื่อมีแรงมากระทำในแนวขนานกับพื้นที่ภาคตัดขวาง เพื่อให้วัสดุเลื่อนหลุดออกจากกันตามแนวระนาบที่ขนานกับทิศทางของแรงกระทำ



ภาพที่ 2.7 แรงกระทำภายนอกและภายในของวัตถุ เมื่อ G = แรงโน้มถ่วงของโลก, C = แรงอัด, S = แรงเฉือน และ T = แรงดึง

(2) ความเครียด

ความเครียดเป็นการเปลี่ยนแปลงของวัสดุเมื่อมีแรงภายนอกมากระทำกับวัสดุ การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเป็นการเปลี่ยนแปลงของขนาดและรูปร่างในทิศทางเดียวกันกับแรงที่มากระทำ เช่น เกิดการยืดตัวออกของวัสดุ หรือหดตัวเข้าของวัสดุ ความเครียดสามารถคำนวณได้จาก

$$\text{ความเครียด} = \frac{\text{ความยาวที่เปลี่ยนไป (มม.)}}{\text{ความยาวเดิม (มม.)}} \quad (2.3)$$

ความเครียดแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด ตามลักษณะของแรงที่มากระทำ

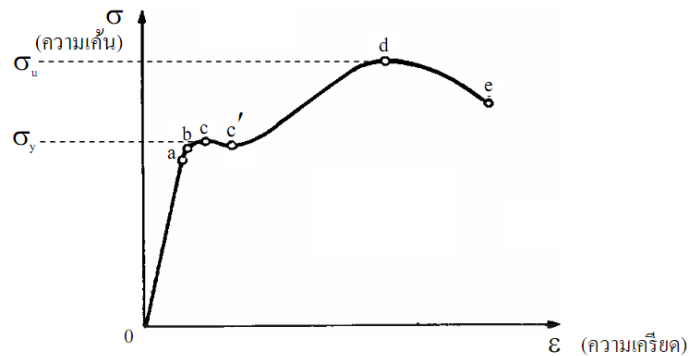
1. การเปลี่ยนแปลงรูปร่างแบบอีลาสติกหรือความเครียดแบบคืนรูป เป็นการเปลี่ยนรูปของวัสดุในลักษณะที่เมื่อเอาแรงกระทำออก อะตอมซึ่งเคลื่อนไหวเนื่องจากผลของความเค้นจะเคลื่อนที่กลับไปยังตำแหน่งเดิมทำให้วัสดุสามารถคงรูปร่างเดิมไว้ได้ ได้แก่ ยางยืด สปริง

2. การเปลี่ยนแปลงรูปร่างแบบพลาสติกหรือความเครียดแบบคงรูป เป็นการเปลี่ยนรูปของวัสดุในลักษณะที่เมื่อเอาแรงกระทำออกแล้ววัสดุก็ยังคงรูปร่างตามรูปร่างที่ถูกเปลี่ยนไปจากแรงกระทำ โดยอะตอมที่เคลื่อนที่ไปแล้วเนื่องจากความเค้นจะไม่กลับไปยังตำแหน่งเดิม

3. การเปลี่ยนแปลงรูปร่างแบบกึ่งอีลาสติกหรือความเครียดกึ่งอีลาสติก เป็นการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุเมื่อปราศจากแรงกระทำโดยวัสดุจะมีการคืนรูป แต่จะไม่สามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างจนกลับไปมีลักษณะเหมือนรูปร่างเดิมก่อนมีแรงมากระทำ ได้แก่ พลาสติก

2.2.4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด

ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด เป็นความสัมพันธ์ที่เกิดจากขนาดของแรงที่กระทำและความยาวของวัสดุที่เปลี่ยนแปลงไปจากการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุ โดยสามารถแสดงความสัมพันธ์ดังกล่าวในรูปแบบของกราฟเส้นโดยกำหนดให้ความเค้นเป็นแกนตั้งและความเครียดเป็นแกนนอนดังภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด. วิทยาลัยเทคนิคสุพรรณบุรี. (ม.ป.ป.). ความแข็งแรงของวัสดุ: ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด. สืบค้นจาก https://www.google.co.th/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&sqi=2&ved=0CCIQFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.stc.ac.th%2Fstc%2Fdata%2Fdata_aum-n%2F1_03.pdf&ei=eLuRVff4FZG9ugSl3oDYCQ&usq=AFQjCNFPoahYVlpqhNE1LV_HkU8jZYmmvA&sig2=Ta1UpXK1y_583OTto5plKaw

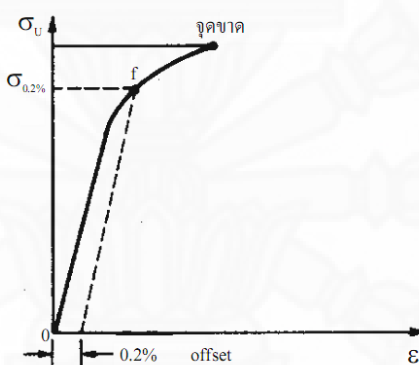
(1) จุดสำคัญต่าง ๆ ของกราฟ

1. จาก 0 ถึง a กราฟจะเป็นเส้นตรง แสดงว่าแรงเป็นปฏิกิริยาโดยตรงกับส่วนที่ยืดออกหรือความเค้นเป็นปฏิกิริยาโดยตรงกับความเครียด
2. จุด a คือจุดสูงสุดของเส้นตรงเรียกว่าขีดจำกัดสัดส่วน (proportional limit) เป็นจุดสุดท้ายที่กราฟจะเป็นเส้นตรง หลังจากจุดนี้แล้วความเค้นจะไม่เป็นปฏิกิริยาโดยตรงกับความเครียดอีก และกราฟจะไม่เป็นเส้นตรง
3. จุด b คือขีดจำกัดยืดหยุ่น (elastic limit) เป็นจุดสุดท้ายที่ความยาวของวัตถุจะกลับมามีความยาวเท่าเดิมได้อีก
4. จุด c คือจุดครากบน (upper yield point)
5. จุด c' คือจุดครากล่าง (lower yield point)
6. จาก c ถึง e เป็นการเปลี่ยนแปลงแบบพลาสติก (plastic) นั่นคือวัตถุยืดออกอย่างถาวร ถ้าปล่อยแรงวัตถุจะไม่หดตัวกลับมาอยู่ในสภาพเดิมอีก
7. จาก 0 ถึง d การยืดเกิดขึ้นทุกส่วนตลอด gauge length
8. จาก d ถึง e การยืดเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว เฉพาะบริเวณที่จะเกิดการหักหรือขาดเท่านั้น
9. จุด d คือกำลังประลัย (ultimate strength) เป็นจุดที่เกิดความเค้นสูงสุดในวัสดุนั้น

10. จุด e คือจุดแตกหัก (rupture point or breaking point) เป็นจุดที่วัสดุขาดออกจากกัน

สำหรับวัสดุที่มีความเปราะกราฟแสดงความสัมพันธ์ของความเค้นและความเครียดจะแตกต่างจากภาพที่ 2.8 เพราะวัสดุที่มีความแข็งแต่ในขณะเดียวกันนั้นก็มีความเปราะจึงทำให้ไม่มีระยะการเปลี่ยนแปลงรูปร่างแบบพลาสติก โดยกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดจะเปลี่ยนแปลงไปดังภาพที่ 2.9

วัสดุที่เปราะนั้นจะไม่ยืดตัวก่อนที่จะขาดออกจากกัน และกราฟความสัมพันธ์ของความเค้นและความเครียดไม่ได้แสดงให้เห็นถึงจุดคราก ดังนั้นการหาจุดครากสามารถทำได้โดย ลากเส้นที่ 0.2% ของความเครียดขนานไปกับส่วนที่เป็นเส้นตรงไปตัดกับกราฟที่จุด f เรียกความเค้นที่จุด f ว่า 0.2% ความเค้นพิสูจน์

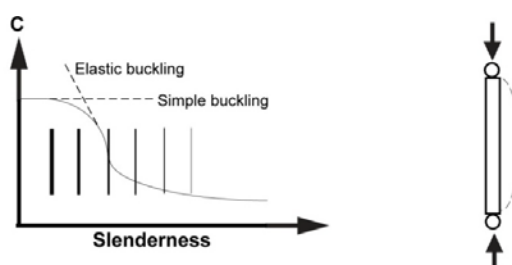


ภาพที่ 2.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของวัสดุที่เปราะ. วิทยาลัยเทคนิคสุพรรณบุรี. (ม.ป.ป.). ความแข็งแรงของวัสดุ: ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด. สืบค้นจาก https://www.google.co.th/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&sqi=2&ved=0CCIQFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.stc.ac.th%2Fstc%2Fdata%2Fdata_aum-n%2F1_03.pdf&ei=eLuRVff4FZG9ugSl3oDYCQ&usg=AFQJCNFPoahYVlpqhNE1LV_HkU8jZYmmvA&sig2=Ta1UpXK1y_583OTo5plKaw

2.2.5 ระบบโครงสร้างเสาและคาน

2.2.5.1 เสา

เสาเป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างที่มีความแข็งแรงและมีรูปร่างผอม ถูกออกแบบไว้เพื่อรองรับแรงอัดตามแนวแกนของเสา แล้วถ่ายเทแรงไปยังเสาอีกด้านหนึ่ง เสาอาจจะเกิดการพังทลายได้เนื่องจากแรงกระทำตามแนวแกนเกินกว่ากำลังของวัสดุเนื้อหน้าตัดของเสาจะรับได้



ภาพที่ 2.10 พฤติกรรมของเสาเมื่อรับแรงอัด

2.2.5.2 คาน

คานเป็นส่วนโครงสร้างที่มีลักษณะแข็ง ออกแบบไว้เพื่อรองรับน้ำหนัก และถ่ายเทน้ำหนักต่อไปยังจุดรองรับบริเวณใต้คานทั้งสองข้าง ซึ่งแรงกระทำดังกล่าวจะทำให้คานเกิดอาการโค้งและโก่งลง ดังนั้นการที่จะทำให้คานเกิดความสมดุล วัสดุเนื้อคานนั้นต้องมีความแข็งแรง ภายในเพื่อต้านทานความโค้งและโก่งลง

2.2.6 การคำนวณคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุ

2.2.6.1 ความหนาแน่น

ค่าความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) = มวลก่อนอบ/ปริมาตร (2.4)

2.2.6.2 ความถ่วงจำเพาะ

ค่าความถ่วงจำเพาะ = (มวลอบแห้ง/ปริมาตรก่อนอบ)/ความหนาแน่นน้ำ (2.5)

2.2.6.3 ความชื้น

ความชื้น (ร้อยละ) = [(มวลก่อนอบ-มวลอบแห้ง) x 100]/มวลอบแห้ง (2.6)

2.2.6.4 โมดูลัสการแตกร้าว

ค่าโมดูลัสการแตกร้าว (กก./ตร.ซม.) = $3PL/2bd^2$ (2.7)

เมื่อ P คือ น้ำหนักที่กระทำสูงสุด (กิโลกรัม)

L คือ ระยะระหว่างจุดรองรับ (เซนติเมตร)

b คือ ความกว้างของตัวอย่างทดสอบ (เซนติเมตร)

d คือ ความลึกของตัวอย่างทดสอบ (เซนติเมตร)

2.2.6.5 โมดูลัสความยืดหยุ่น

ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น (กก./ตร.ซม.) = $(Pp.l. \times L^3)/(4 Dp.l. \times bd^3)$ (2.8)

เมื่อ Pp.l. คือ น้ำหนักที่กระทำที่ขอบเขตของความได้สัดส่วน (กิโลกรัม)

L คือ ระยะระหว่างจุดรองรับ (เซนติเมตร)

Dp.l. คือ ระยะโค้งของตัวอย่างทดสอบ ที่ขอบเขตของความได้สัดส่วน (เซนติเมตร)

b คือ ความกว้างของตัวอย่างทดสอบ (เซนติเมตร)

d คือ ความลึกของตัวอย่างทดสอบ (เซนติเมตร)

2.2.6.6 กำลังต้านทานแรงอัด

กำลังต้านทานอัด (กก./ตร.ซม.) = แรงอัดสูงสุด/พื้นที่หน้าตัด (2.9)

2.2.6.7 กำลังต้านทานแรงเฉือน

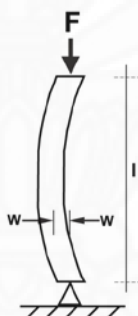
กำลังต้านทานแรงเฉือน (กก./ตร.ซม.) = แรงเฉือนสูงสุด/พื้นที่หน้าตัด (2.10)

2.2.6.8 กำลังต้านทานแรงดึง (tensile strength)

กำลังต้านทานแรงดึง (กก./ตร.ซม.) = แรงดึงสูงสุด/พื้นที่หน้าตัด (2.11)

2.2.7 การคำนวณประสิทธิภาพการรับน้ำหนักของโครงสร้าง

2.2.7.1 เสา (column)



ภาพที่ 2.11 การรับน้ำหนักของเสา

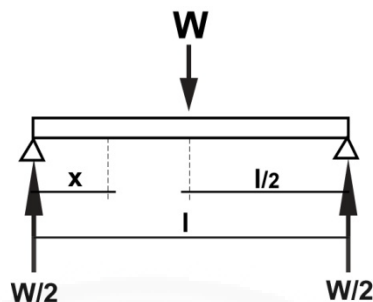
ค่ากำลังการรับแรงสูงสุดจนถึงจุดแตกหัก (critical buckling load) = $\pi^2 EI/l^2$ (2.12)

เมื่อ E คือ โมดูลัสความยืดหยุ่น (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)

I คือ โมเมนต์อินเนอร์เซีย (เซนติเมตร⁴)

l คือ ความยาวของเสา (เซนติเมตร)

2.2.7.2 คาน (beam)



ภาพที่ 2.12 การรับน้ำหนักของคาน โดยการไหลต่อน้ำหนักตรงจุดกึ่งกลางคาน

(1) โมดูลัสที่จุดตัด (section modulus : Z)

$$\text{โมดูลัสที่จุดตัด} = I/c \quad (2.13)$$

เมื่อ I คือ โมเมนต์อินเนอร์เซีย (เซนติเมตร⁴)

c คือ ระยะไปยังจุดกึ่งกลางแกน (เซนติเมตรเมตร)

(2) ระยะโก่งตัวสูงสุดของคาน (maximum deflection at load)

$$\text{ระยะโก่งตัวสูงสุดของคาน} = Wl^3/48EI \quad (2.14)$$

เมื่อ W คือ น้ำหนักสูงสุด (กิโลกรัม)

l คือ ความยาวของคาน (เซนติเมตร)

E คือ โมดูลัสความยืดหยุ่น (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)

I คือ โมเมนต์อินเนอร์เซีย (เซนติเมตร⁴)

(3) ค่าความเค้นที่จุดกึ่งกลางคาน (stress at center)

$$\text{ค่าความเค้นที่จุดกึ่งกลางคาน (กก./ตร.ซม.)} = -Wl/4Z \quad (2.15)$$

เมื่อ W คือ น้ำหนักสูงสุด (กิโลกรัม)

l คือ ความยาวของคาน (เซนติเมตร)

Z คือ โมดูลัสที่จุดตัด

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.3.1 เทคโนโลยีการใช้ไม้ไผ่สำหรับโครงสร้างบ้านพักอาศัยในบังคลาเทศ

บทบาทของไม้สำหรับโครงสร้างของบ้านพักอาศัยต้องมีความแข็งแรง ความยืดหยุ่นและความคล่องตัว ดังนั้นไม้จึงเป็นวัสดุที่เหมาะสมสำหรับเป็นส่วนหนึ่งของทุก ๆ ส่วนของบ้าน

แต่ต้องได้รับการปรับสภาพวัสดุและนำไปใช้อย่างถูกต้อง ข้อดีของการใช้ไฟในการก่อสร้าง ไม่ได้มีแค่ด้านเทคนิคเท่านั้น แต่การใช้ไฟในการก่อสร้างยังประหยัดมากเพราะไฟเป็นวัสดุที่มีในท้องถิ่น ดังนั้นจึงมีราคาถูกกว่าวัสดุอื่น ๆ ในหมู่วัสดุก่อสร้าง ซึ่งในปัจจุบันมีราคาเพิ่มขึ้นเนื่องจากขาดพื้นที่เพาะปลูกและการจัดการที่ดี การปลูกป่าไฟจะได้อัตราผลตอบแทนสูงมากถ้ามีการจัดการอย่างถูกต้อง นอกจากนี้ไฟไม่สามารถใช้แทนการไม้ในงานต่าง ๆ มากมาย แต่ไฟมีข้อเสียที่สำคัญอย่างหนึ่งคือการทำลายเนื้อวัสดุจากเชื้อราและแมลง หากไม่มีการปรับสภาพวัสดุและการใช้ที่เหมาะสมทำให้วัสดุที่มีอายุการใช้งานที่สั้นมาก (De Vries, 2002)

2.3.2 คอนกรีตเสริมไฟ

เนื่องจากไฟมีค่าความต้านทานแรงดึงที่สูงมากและสามารถสูงถึง 370 เมกะพาสคัล ทำให้ไฟมีความน่าสนใจในการนำไปประยุกต์ใช้สำหรับการรับแรงดึงรูปแบบเดียวกับเหล็ก ผู้วิจัยจึงทดลองนำไฟไปประยุกต์ใช้กับคอนกรีตเพื่อทำเป็นคอนกรีตเสริมไฟ ซึ่งปัญหาที่เกิดขึ้นคือเรื่องคุณสมบัติการยึดเกาะของสารเมื่อนำไฟไปใช้ร่วมกับคอนกรีต เนื่องจากเมื่อคอนกรีตเซตตัวน้ำก็จะระเหยออก ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างคอนกรีตกับไฟ แต่สามารถแก้ไขได้โดยการใช้กาวอีพ็อกซีทาบริเวณผิวไฟ ซึ่งมีต้นทุนที่ค่อนข้างจะสูงในการปรับปรุงด้วยวิธีนี้ ผลทดลองแสดงให้เห็นว่าไฟสามารถใช้แทนเหล็กได้อย่างเป็นที่น่าพอใจ (Ghavami, 2004, p.637-649)

2.3.3 การโค้งตัวของนั่งร้านไม้ไฟ

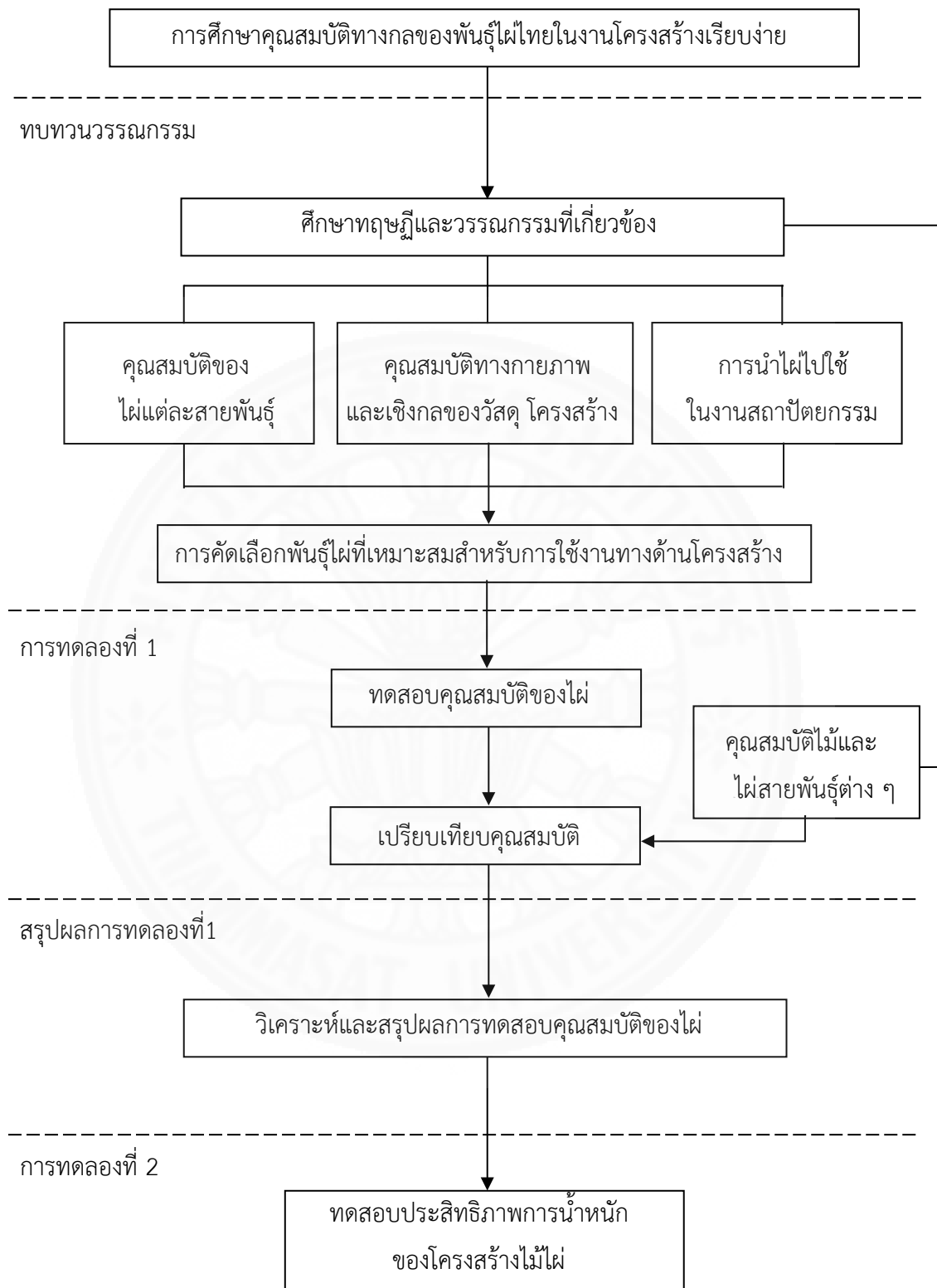
โครงสร้างไม้ไฟที่มีการใช้กันอย่างแพร่หลายในการก่อสร้างในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้คือนั่งร้านไม้ไฟ ซึ่งนั่งร้านไม้ไฟมักจะสร้างขึ้นโดยผู้ปฏิบัติงานก่อสร้าง รูปแบบของนั่งร้านมักขึ้นอยู่กับประสบการณ์ของพวกเขาโดยไม่ต้องออกแบบโครงสร้างใด ๆ งานวิจัยนี้ได้ดำเนินการภายใต้การส่งเสริมการใช้ไฟอย่างมีประสิทธิภาพสำหรับนั่งร้านและเสริมสร้างความปลอดภัยในการใช้งานนั่งร้านให้มากขึ้น โดยทำการทดสอบด้วยโปรแกรม KKPR และ KK-RRA เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลสำหรับการเปรียบเทียบกับทดสอบการรับน้ำหนักของโครงสร้างนั่งร้านไม้ไฟ และทำการทดสอบโดยใช้ถ่วงทรายวางบนโครงสร้างบริเวณใกล้จุดกึ่งกลางที่สุด และบริเวณด้านล่างของจุดกึ่งกลางโครงสร้างซึ่งรับแรงปฏิกิริยาที่กระทำกับโครงสร้าง ผลการทดลองที่ได้มีความเป็นไปได้ทั้งหมด ประสิทธิภาพการทำงานของโครงสร้างเป็นที่น่าพอใจในแง่ของความแข็งแรงและการเปลี่ยนรูป และมีเพียงรอยแตกเล็กน้อยในแนวแกนของไม้ไฟ แต่ไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการรับแรงของโครงสร้าง (Yu, Chung and Chan, 2004, p.61-73)

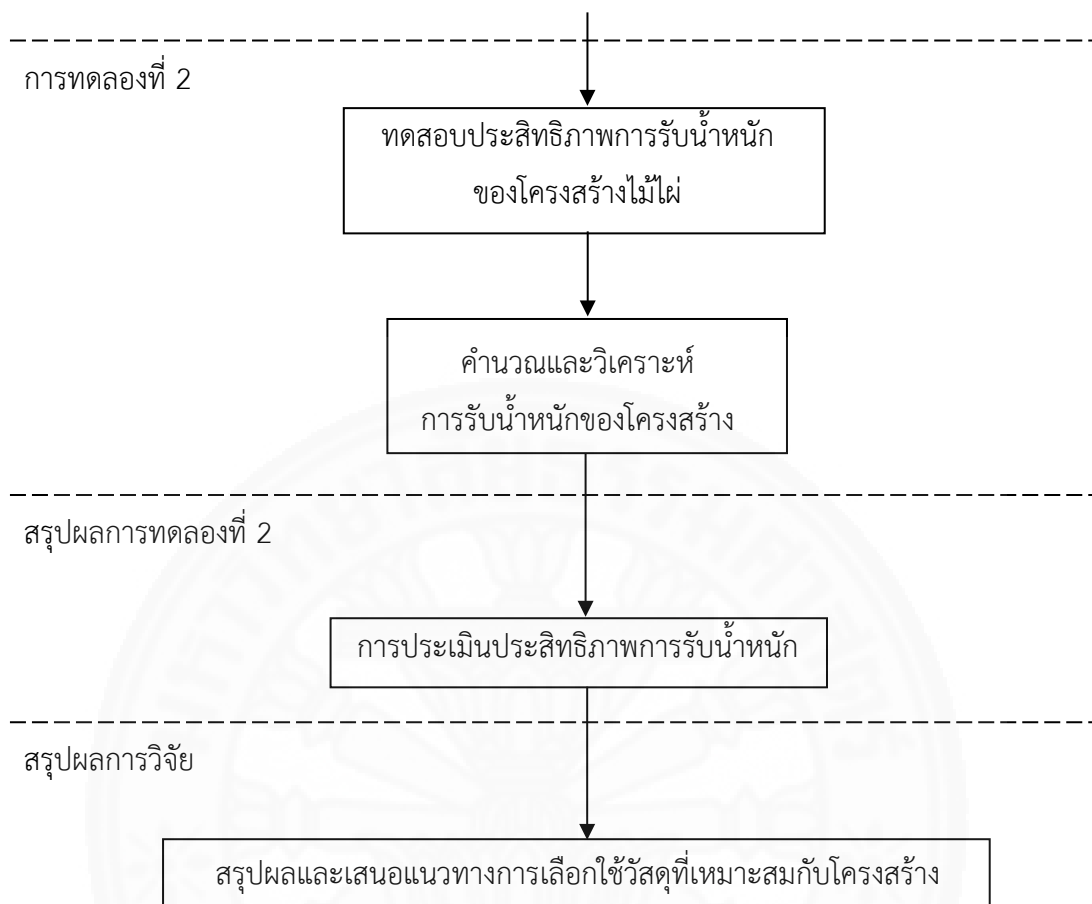
บทที่ 3

วิธีการวิจัย

3.1 กรอบระเบียบการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง โดยเริ่มศึกษาข้อมูลเบื้องต้นจากเอกสาร บทความ งานวิจัย และหนังสือต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับสายพันธุ์ไม้ในประเทศไทยและในต่างประเทศ คุณสมบัติของไม้สายพันธุ์ต่าง ๆ การนำไม้มาแปรรูปเป็นไม้ประกบ สถาปัตยกรรมไม้ ไม้ รูปแบบและวิธีการก่อสร้างอาคารด้วยไม้ การทดสอบประสิทธิภาพของไม้ตามมาตรฐานสากล และการนำไม้มาใช้ร่วมกับคอนกรีตในงานโครงสร้าง เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไม้ รวมถึงการนำไม้มาใช้ในงานสถาปัตยกรรม โดยทำการศึกษาเพื่อคัดเลือกสายพันธุ์ไม้ในประเทศไทยที่นิยมนำมาใช้ในงานก่อสร้างและทำการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติเชิงกลของสายพันธุ์ไม้ที่คัดเลือกตามมาตรฐานสากล เช่น ความหนาแน่น ความถ่วงจำเพาะ ความชื้น โมดูลัสการแตกร้าว โมดูลัสความยืดหยุ่น กำลังต้านทานแรงอัด กำลังต้านทานแรงเฉือน และกำลังต้านทานแรงดึง เป็นต้น เพื่อนำมาจำลองรูปแบบโครงสร้างและหาประสิทธิภาพการรับแรงของโครงสร้าง โดยอ้างอิงคุณสมบัติเชิงกลและความเหมาะสมในการนำมาใช้งานของไม้จากการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล ซึ่งวิเคราะห์จากคุณสมบัติเชิงกลของไม้แต่ละสายพันธุ์ว่าเหมาะแก่การนำมาใช้งานในส่วนใดของโครงสร้าง เพื่อใช้วิเคราะห์ต่อต้านประสิทธิภาพการรับแรงของโครงสร้างไม้ในงานสถาปัตยกรรมแล้วเสนอเป็นแนวทางเบื้องต้นในการเลือกไม้ให้มีความเหมาะสมกับรูปแบบโครงสร้าง และมีประสิทธิภาพในการรับน้ำหนัก





3.2 กำหนดตัวแปร

3.2.1 การทดสอบคุณภาพของวัสดุ

3.2.1.1 ตัวแปรต้น

(1) สายพันธุ์ไม้

สายพันธุ์ไม้ที่เลือกใช้ 5 พันธุ์ ได้แก่ ไม้ตง ไม้ช่างหม่น ไม้สีสุก ไม้เลียง และไม้รวก เนื่องจากไม้ทั้ง 5 ชนิดนี้เป็นไม้ที่นิยมนำมาใช้สำหรับงานโครงสร้างและเป็นไม้สายพันธุ์ไทยซึ่งมีอยู่ทั่วไปในแต่ละภูมิภาคของประเทศไทย

(2) ตำแหน่งของไม้ที่เลือกใช้

ตำแหน่งของลำที่ใช้เตรียมเป็นชิ้นตัวอย่างในการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุ แบ่งเป็น 3 ช่วง ได้แก่ ช่วงโคนของลำต้น ช่วงกลางของลำต้น และช่วงปลายของลำต้น

3.2.1.2 ตัวแปรตาม

(1) คุณสมบัติทางกายภาพ

คุณสมบัติทางกายภาพของไม้ ได้แก่ มวล ปริมาตร ความหนาของเนื้อไม้ ความหนาแน่นของเนื้อไม้ ความถ่วงจำเพาะ และความชื้น

(2) คุณสมบัติเชิงกล

คุณสมบัติเชิงกลของไม้ ได้แก่ โมดูลัสการแตกร้าว โมดูลัสความยืดหยุ่น กำลังต้านทานแรงอัด กำลังต้านทานแรงเฉือน และกำลังต้านทานแรงดึง

3.2.1.3 ตัวแปรควบคุม

(1) อายุของไม้

อายุของไม้เลือกใช้ไม้ช่วงอายุประมาณ 3 ปี เพราะไม้ช่วงอายุประมาณ 3 ปี เป็นช่วงที่มีการเจริญเติบโตสูง มีความแข็งแรง และมีเหมาะสมสำหรับการนำมาใช้งานทางด้านโครงสร้าง

(2) การคัดเลือกไม้และกรรมวิธีการเตรียมชิ้นตัวอย่าง

ตัวอย่างทดลองต้องเป็นไม้ที่ปลูกในพื้นที่เดียวกันหรืออยู่ในพื้นที่ใกล้เคียงกัน และต้องมีกรรมวิธีการเตรียมตัวอย่างด้วยด้วยกระบวนการที่เหมือนกัน นั่นคือนำไม้มาผึ่งแดดให้แห้งหลังจากตัดไม้ตามภูมิปัญญาชาวบ้าน ซึ่งไม่ได้ผ่านการทรีตเมนต์ด้วยกระบวนการทางเคมีหรือการอบด้วยไอน้ำแต่อย่างใด โดยเลือกไม้จากจังหวัดปราจีนบุรี และจัดทำชิ้นตัวอย่างที่บริษัท พิมธา จำกัด (Za baai Bamboo) จังหวัดปราจีนบุรี

(3) รูปแบบและขนาดของชิ้นตัวอย่างทดสอบ

รูปแบบและขนาดของชิ้นตัวอย่างไม้สำหรับการทดลองคุณสมบัติต่าง ๆ ได้แก่ ความยาว ความกว้าง ความหนา และรูปทรงของชิ้นตัวอย่าง เป็นต้น ทั้งนี้กระบวนการเตรียมตัวอย่างสำหรับทดสอบได้ดำเนินการโดยอ้างอิงรูปแบบจากคู่มือทดสอบเชิงกลของไม้ เรียบเรียงโดยสาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และทรัพยากร มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ ซึ่งรวบรวมและสรุปวิธีการเตรียมชิ้นตัวอย่างทดสอบและวิธีการทดสอบตามหลักการของมาตรฐาน British standard No. 373 (Methods of testing small clear specimens of timber), ASTM standard D143 (Standard method of testing small clear specimens of timber) และ ISO 3133 (Wood- determination of ultimate stress in static bending) สำหรับการทดสอบความต้านทานแรงดัด, ISO 3345 (Wood-determination of ultimate tensile stress parallel to grain) สำหรับการทดสอบความต้านทานแรงดึงในแนวขนานเส้นใย, ISO 3347 (Wood-determination of ultimate shearing stress parallel to grain) สำหรับการทดสอบความต้านทานแรงเฉือนใน

แนวขนานเสี้ยน การที่คู่มือทดสอบเชิงกลของไม้เลือกใช้มาตรฐานหลากหลายเพื่อเป็นการปรับใช้ให้มีความเหมาะสมสำหรับการทดสอบไม้บางชนิดมากขึ้น เช่น ไม้ เนื่องจากมาตรฐานบางมาตรฐานได้กำหนดขนาดของชิ้นตัวอย่างตายตัว ส่งผลให้ไม้บางชนิดไม่สามารถเตรียมขนาดดังกล่าวได้ด้วยข้อจำกัดทางธรรมชาติ จึงมีความจำเป็นต้องปรับเปลี่ยนการเตรียมตัวอย่างโดยอ้างอิงมาตรฐานอื่นร่วม

3.2.2 การคำนวณประสิทธิภาพการรับน้ำหนักของโครงสร้าง

3.2.2.1 ตัวแปรต้น

(1) สายพันธุ์ไม้

สายพันธุ์ไม้ที่เลือกใช้อ้างอิงตามความเหมาะสมในด้านคุณสมบัติการรับแรงของโครงสร้างเพื่อใช้ในการจำลองรูปแบบของโครงสร้าง โดยอ้างอิงจากการทดสอบคุณสมบัติในการทดลองที่ 1

(2) รูปแบบโครงสร้าง

รูปแบบโครงสร้างอ้างอิง คือ โครงสร้างของอาคารสาธารณะขนาดเล็กที่มีรูปทรงเรียบง่ายอันมีเสาและคานเป็นโครงสร้างหลักของอาคาร ซึ่งออกแบบโดยผู้วิจัย

3.2.2.2 ตัวแปรตาม

(1) ประสิทธิภาพการรับน้ำหนักของโครงสร้าง

ประสิทธิภาพการรับน้ำหนักของโครงสร้าง

(2) แนวทางการเลือกใช้ไม้

แนวทางการเลือกใช้ไม้ที่เหมาะสมกับรูปแบบการรับน้ำหนักของโครงสร้างสำหรับงานสถาปัตยกรรมไม้

3.2.2.3 ตัวแปรควบคุม

(1) คุณสมบัติของวัสดุ

กำหนดให้ใช้ค่าที่ได้จากการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุจากการทดลองที่ 1 ในการคำนวณ โดยใช้ค่าเฉลี่ยคุณสมบัติของวัสดุในการคำนวณ

(2) รูปแบบของโครงสร้าง

รูปแบบของโครงสร้างที่ใช้ทดสอบ ศึกษาเฉพาะโครงสร้างของเสาและคาน

(3) น้ำหนักบรรทุกคงที่

น้ำหนักบรรทุกคงที่ของอาคารอันเกิดจากน้ำหนักของโครงสร้าง

(4) น้ำหนักบรรจุ

น้ำหนักบรรจุอ้างอิงตามกฎกระทรวงฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2527) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร ซึ่งหน่วยน้ำหนักบรรจุสำหรับประเภทและส่วนต่าง ๆ ของอาคาร นอกเหนือจากน้ำหนักของตัวอาคาร หรือเครื่องจักร หรืออุปกรณ์อย่างอื่น ให้คำนวณโดยประมาณค่าเฉลี่ยไม่ต่ำกว่าอัตราดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1

หน่วยน้ำหนักบรรจุสำหรับประเภทและส่วนต่าง ๆ ของอาคาร

ประเภทและส่วนต่าง ๆ ของอาคาร	น้ำหนักบรรจุ (กิโลกรัมต่อตารางเมตร)
(1) หลังคา	30
(2) กันสาดหรือหลังคาคอนกรีต	100
(3) ที่พักอาศัย โรงเรียนอนุบาล ห้องน้ำ ห้องส้วม	150
(4) ห้องแถว ตึกแถวที่ใช้พักอาศัย อาคารชุด หอพัก โรงแรม และห้องคนไข้พิเศษของโรงพยาบาล	200
(5) สำนักงาน ธนาคาร	250
(6) (ก) อาคารพาณิชย์ ส่วนของห้องแถว ตึกแถวที่ใช้เพื่อการพาณิชย์ มหาวิทยาลัย วิทยาลัย โรงเรียน โรงพยาบาล	300
(ข) ห้องโถง บันได ช่องทางเดินของอาคารชุด หอพัก โรงแรม สำนักงาน และธนาคาร	300
(7) (ก) ตลาด อาคารสรรพสินค้า หอประชุม โรงแรม หอสมุด พิพิธภัณฑ์ ห้องประชุม ห้องอ่านหนังสือในห้องสมุดหรือหอสมุด ที่จอดรถหรือเก็บรถยนต์นั่ง หรือรถจักรยานยนต์	400
(ข) ห้องโถง บันได ช่องทางเดินของอาคารพาณิชย์ มหาวิทยาลัย วิทยาลัยและโรงเรียน	400
(8) (ก) คลังสินค้า โรงกีฬา พิพิธภัณฑสถาน อิมจันทร์ โรงงานอุตสาหกรรม โรงพิมพ์ ห้องเก็บเอกสารและพัสดุ	500
(ข) ห้องโถง บันได ช่องทางเดินของตลาด อาคารสรรพสินค้า ห้องประชุม หอประชุม โรงแรม หอสมุด พิพิธภัณฑ์ ห้องสมุดและหอสมุด	500

ตารางที่ 3.1 (ต่อ)

หน่วยน้ำหนักบรรทุกทุกจรสำหรับประเภทและส่วนต่าง ๆ ของอาคาร

ประเภทและส่วนต่าง ๆ ของอาคาร	น้ำหนักบรรทุกทุกจร (กิโลกรัมต่อตารางเมตร)
(9) ห้องเก็บหนังสือของห้องสมุดหรือหอสมุด	600
(10) ที่จอดรถหรือเก็บรถยนต์บรรทุกเปล่า	800

หมายเหตุ. หน่วยน้ำหนักบรรทุกทุกจรสำหรับประเภทและส่วนต่าง ๆ ของอาคาร (p. 6), 2527, กรุงเทพฯ

(5) ค่าความปลอดภัย (factor of safety)

เนื่องจากค่าความเค้นสูงสุดที่ได้จากการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุนั้นไม่สามารถนำมาใช้ในการออกแบบหรือคำนวณได้โดยตรง เนื่องจากแรงหรือน้ำหนักที่เกิดขึ้นจริงในโครงสร้างนั้นอาจจะสูงกว่าค่าที่ได้จากการทดสอบ ดังนั้นเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความเค้นที่เกิดขึ้นจริงสูงเกินกว่าค่าสูงสุดในโครงสร้างนั้นจะรับได้จึงจำเป็นต้องกำหนดค่าความปลอดภัยหรือค่าเผื่อในการออกแบบ

การพิจารณาใช้ค่าส่วนความปลอดภัยต้องคำนึงถึงสิ่งที่เกี่ยวข้องของหลายอย่าง การด้วยกัน คือ ความแตกต่างระหว่างค่าของกลสมบัติ สภาพแวดล้อมของการนำไปใช้งาน ตำแหน่งของไม้ที่จะทำให้ไม้เสียกำลัง ช่วงระยะเวลาที่ไม่ต้องรับน้ำหนักบรรทุกชั่วคราวหรือน้ำหนักบรรทุกถาวร เป็นต้น กรมป่าไม้เสนอค่าความปลอดภัยตามสภาพของการใช้งานและตามชนิดของหน่วยแรงสำหรับไม้ก่อสร้างชั้นที่ 2 ดังแสดงในตาราง (วินิต ช่อวิเชียร, 2542)

ตารางที่ 3.2

ส่วนความปลอดภัย สำหรับไม้ก่อสร้างชั้น 2

ชนิดของหน่วยแรงที่ยอมให้	ส่วนความปลอดภัย สำหรับไม้ก่อสร้างชั้น 2		
	งานในร่ม	งานกลางแจ้ง	งานในที่เปียกชื้น
แรงดัดในคาน แรงดึงขนานเสี้ยน	6.50	8.00	9.00
แรงเฉือนขนานเสี้ยน	9.00	9.00	9.00

ตารางที่ 3.2 (ต่อ)

ส่วนความปลอดภัย สำหรับไม้ก่อสร้างชั้น 2

ชนิดของหน่วยแรงที่ยอมให้	ส่วนความปลอดภัย สำหรับไม้ก่อสร้างชั้น 2		
	งานในร่ม	งานกลางแจ้ง	งานในที่เปียกชื้น
แรงเฉือนตามแนวอนในคาน	13.00	13.00	13.00
แรงอัดขนานเสี้ยน	5.75	6.50	7.75
แรงอัดตั้งฉากเสี้ยน	2.50	3.50	3.75

หมายเหตุ. การออกแบบโครงสร้างไม้ (น. 42), วินิต ช่อวิเชียร, 2542, กรุงเทพฯ

3.3 การเตรียมการทดลอง

3.3.1 การเก็บและเตรียมตัวอย่างไม้สำหรับการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุ

เก็บและเตรียมตัวอย่างโดยเลือกใช้ไม้ตง ไม้ช่างหม่น ไม้สีสุก ไม้เลียง และไม้รวก ซึ่งมีอายุประมาณ 3 ปี จากพื้นที่เพาะปลูกในจังหวัดปราจีนบุรี หลังจากตัดไม้แล้วนั้นได้นำไม้มาผึ่งตากแดดจนแห้ง และทำการแบ่งตัดไม้แต่ละลำเพื่อแยกส่วนต่าง ๆ ของไม้ทั้ง 5 สายพันธุ์ออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนโคนของลำต้น ส่วนกลางของลำต้น และส่วนปลายของลำต้น เพื่อนำเอาแต่ละส่วนของลำต้นไปเตรียมเป็นชิ้นตัวอย่างสำหรับการทดสอบคุณสมบัติทางกายและคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุ โดยการจัดเตรียมชิ้นตัวอย่างสำหรับทดสอบได้อ้างอิงขนาดและรูปทรงตามคู่มือทดสอบเชิงกลของไม้เรียบเรียงโดยสาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และทรัพยากร มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ และได้ทำการตัดแปลงให้มีความเหมาะสมกับไม้ภายใต้การควบคุมดูแลของผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมวัสดุ ของสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และทรัพยากร มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ ขั้นตอนดังกล่าวข้างต้นใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ ในการจัดเตรียมชิ้นตัวอย่างทดสอบจากบริษัท พิมธา จำกัด (Za baai Bamboo) จังหวัดปราจีนบุรี

3.3.2 การคำนวณประสิทธิภาพการรับน้ำหนักของโครงสร้าง

3.3.2.1 ออกแบบรูปแบบโครงสร้าง

ออกแบบรูปแบบโครงสร้างอาคารไม้ไม้ที่มีรูปทรงเรียบง่าย โดยมีเสาและคานเป็นโครงสร้างหลังของอาคาร

3.4 การทดสอบ

3.4.1 เครื่องมือทดสอบ

เครื่องมือทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติเชิงกลของวัสดุ และเครื่องมือสำหรับทดสอบประสิทธิภาพการรับน้ำหนักของโครงสร้าง

3.4.1.1 ชิ้นตัวอย่างทดสอบ

ชิ้นตัวอย่างสำหรับการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไม้ตุง ไม้ช่างหม่น ไม้เลียง ไม้สีสุก และไม้รวก

3.4.1.2 เครื่องชั่งน้ำหนัก

เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล ยี่ห้อ METTLER TOLEDO รุ่น PG2002-S



ภาพที่ 3.1 เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล ยี่ห้อ METTLER TOLEDO รุ่น PG2002-S

3.4.1.3 เครื่องมือสำหรับวัดขนาด

เครื่องมือสำหรับวัดขนาด ได้แก่ เวอร์เนียคาร์ลิปเปอร์ ไม้บรรทัด และ ตลับเมตร



ภาพที่ 3.2 เวอร์เนียคาร์ลิปเปอร์แบบดิจิทัล ยี่ห้อ ZIM-ZEEM

3.4.1.4 ตู้อบ

ตู้อบไฟฟ้า ซึ่งมีปุ่มควบคุมอุณหภูมิและเวลาอบ (Hot air oven) ยี่ห้อ

memmert



ภาพที่ 3.3 ตู้อบไฟฟ้า ยี่ห้อ memmert

3.4.1.5 เครื่องทดสอบสากลและหัวทดสอบต่าง ๆ

เครื่องทดสอบสากล (Universal testing machine) ยี่ห้อ Lloyd Model

150 kN



ภาพที่ 3.4 เครื่องทดสอบสากล (Universal testing machine) ยี่ห้อ Lloyd Model 150 kN



ภาพที่ 3.5 หัวทดสอบที่ใช้สำหรับการทดสอบกำลังต้านทานแรงดัด



ภาพที่ 3.6 หัวทดสอบที่ใช้สำหรับการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดขนานเสี้ยนและกำลังต้านทานแรงอัดตั้งฉากเสี้ยน



ภาพที่ 3.7 หัวทดสอบที่ใช้สำหรับการทดสอบกำลังต้านทานแรงเฉือนขนานเสี้ยน



ภาพที่ 3.8 หัวทดสอบที่ใช้สำหรับการทดสอบกำลังต้านทานแรงดึงขนานเสี้ยน

3.4.1.6 เครื่องบันทึกข้อมูล

เครื่องบันทึกข้อมูล (data logging instruments)

3.4.1.7 อุปกรณ์สำหรับตัดและผ่าไม้

อุปกรณ์สำหรับตัดและผ่าไม้ ได้แก่ เลื่อยวงเดือน และมีด

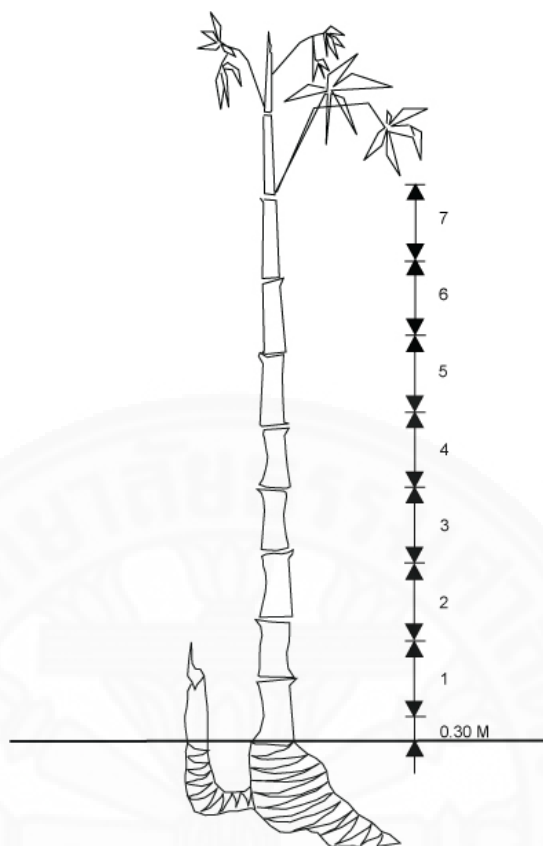
3.4.2 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไม้

3.4.2.1 การเตรียมชิ้นตัวอย่างทดสอบ

การเตรียมตัวอย่างทดสอบมีการดัดแปลงเพื่อปรับให้มีความเหมาะสมกับไม้ ซึ่งอ้างอิงขนาดและรูปร่างตามคู่มือทดสอบเชิงกลของไม้ เรียบเรียงโดยสาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และทรัพยากร มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

(1) การเตรียมตัวอย่างโดยแบ่งตามความสูงของลำต้น

การแบ่งส่วนของลำไม้เพื่อเตรียมชิ้นตัวอย่างโดยแบ่งตามความสูงของลำต้น ซึ่งแบ่งตัดออกเป็น 7 ท่อน ยาวท่อนละ 1 เมตร และกำหนดให้เป็นท่อนที่ 1 และ 2 เป็นส่วนโคนของลำต้น ท่อนที่ 3, 4 และ 5 เป็นส่วนกลางของลำต้น ท่อนที่ 6 และ 7 เป็นส่วนปลายของลำต้น ตามลำดับ สำหรับท่อนที่ 1 ตัดสูงจากโคนประมาณ 0.30 เมตร



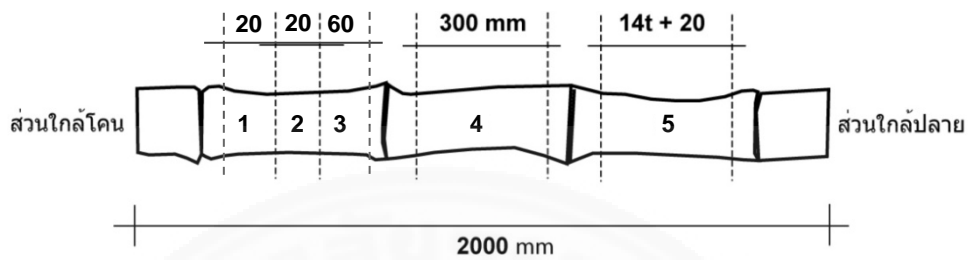
ภาพที่ 3.9 การตัดไม้เพื่อทำการทดสอบโดยแบ่งตัดตามความสูงของลำต้น

(2) การเตรียมตัวอย่างโดยแบ่งตามความยาวของปล้อง

การแบ่งส่วนของลำไม้จากชั้นตอนที่ 1 เพื่อเตรียมชิ้นตัวอย่างโดยแบ่งตามความยาวของปล้องหลังจากทำการแบ่งตามความยาวของลำต้นเรียบร้อยแล้ว โดยตัดไม้เรียงตามลำดับจากส่วนโคนของลำต้นไปยังส่วนปลายของลำต้นและตัดหลบข้อของไม้ ให้มีขนาดความยาวตามวิธีการทดสอบที่แตกต่างกัน

1. ขนาดความยาวของไม้สำหรับทดสอบกำลังต้านทานแรงเฉือนขนานเส้น (shear strength parallel to grain) เท่ากับ 20 มิลลิเมตร
2. ขนาดความยาวของไม้สำหรับทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดขนานเส้น (compressive strength parallel to grain) เท่ากับ 20 มิลลิเมตร
3. ขนาดความยาวของไม้สำหรับทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดตั้งฉากเส้น (compressive strength perpendicular to grain) เท่ากับ 60 มิลลิเมตร
4. ขนาดความยาวของไม้สำหรับทดสอบกำลังต้านทานแรงดึงขนานเส้น (tensile strength parallel to grain) เท่ากับ 300 มิลลิเมตร

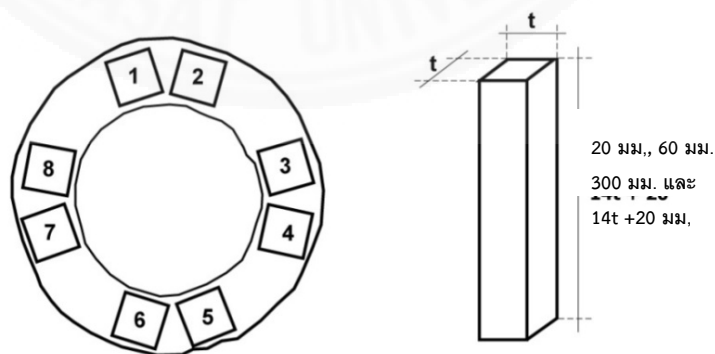
5. ขนาดความยาวของไม้สำหรับทดสอบกำลังต้านทานแรงดัด (bending strength) เพื่อหาค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น (MOR) และค่าโมดูลัสการแตกร้าว (MOE) เท่ากับ 12-16 เท่าของความหนาผนังปล้อง และบวกเพิ่มอีก 20 มิลลิเมตร



ภาพที่ 3.10 การตัดไม้เพื่อทำการทดสอบโดยแบ่งตัดตามความยาวของปล้อง โดยกำหนดให้ t คือ ความหนาของเนื้อไม้

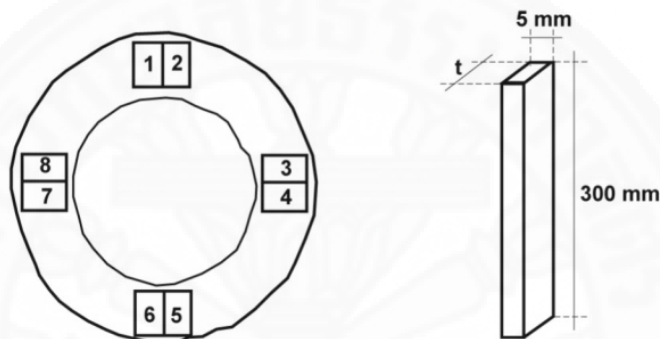
(3) การเตรียมตัวอย่างโดยแบ่งตามหน้าตัดของลำต้น

1. ชิ้นตัวอย่างสำหรับทดสอบกำลังต้านทานแรงดัด กำลังต้านทานแรงอัดขนานเสี้ยน กำลังต้านทานแรงอัดตั้งฉากเสี้ยนและกำลังต้านทานแรงเฉือนขนานเสี้ยน ใช้เฉพาะส่วนของเนื้อไม้โดยนำเอาส่วนของผิวภายนอกและผิวภายในของไม้ออก ขนาดของความหนาและความกว้างของชิ้นตัวอย่างเท่ากับความหนาของเนื้อไม้ที่ไม่มีส่วนของผิวภายนอกและผิวภายในของไม้ ขนาดความยาวขึ้นอยู่กับวิธีการทดสอบดังภาพที่ 3.10 ในไม้แต่ละท่อนจะได้ชิ้นตัวอย่างที่ตัดออกมาสำหรับการทดสอบตามหน้าตัดของลำต้น จำนวน 8 ชิ้น

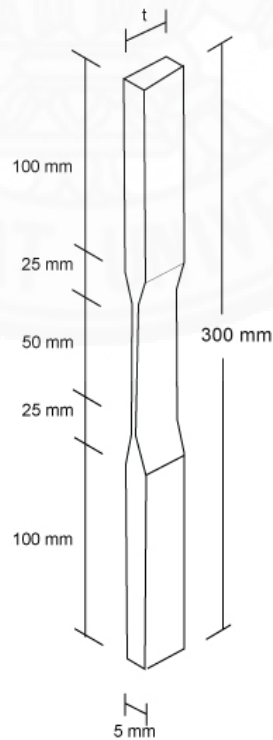


ภาพที่ 3.11 ชิ้นตัวอย่างสำหรับทดสอบกำลังต้านทานแรงเฉือนขนานเสี้ยน กำลังต้านทานแรงอัดขนานเสี้ยน กำลังต้านทานแรงอัดตั้งฉากเสี้ยน และกำลังต้านทานแรงดัด

2. ชิ้นตัวอย่างสำหรับการทดสอบกำลังต้านทานแรงดึงขนานเส้นใย เฉพาะส่วนของเนื้อไม้โดยนำเอาส่วนของผิวภายนอกและผิวภายในของไฟ้ออกเช่นเดียวกัน แต่มีขนาดความกว้างเท่ากับ 5 มิลลิเมตร และความหนาเท่ากับความหนาเนื้อไม้ที่ไม่มีส่วนของผิวภายนอกและผิวภายในของไฟ้อ ในไฟ้อแต่ละท่อนจะมีชิ้นตัวอย่างที่ตัดออกมาสำหรับการทดสอบตามหน้าตัดของลำต้น จำนวน 8 ชิ้น ดังภาพที่ 3.12 จากนั้นนำชิ้นตัวอย่างดังกล่าวมาทำการเปลี่ยนแปลงรูปร่างให้ได้ขนาดชิ้นตัวอย่างสำหรับการทดสอบความต้านทานแรงดึง โดยมีขนาดของบริเวณส่วนที่รับแรงดึง (gauge portion) เท่ากับ $1 \times$ ความหนาของเนื้อไม้ไฟ้อ $\times 100$ มิลลิเมตร ดังภาพที่ 3.13



ภาพที่ 3.12 ชิ้นไม้สำหรับทำชิ้นตัวอย่างทดสอบกำลังต้านทานแรงดึงขนานเส้นใย



ภาพที่ 3.13 ชิ้นตัวอย่างสำหรับทดสอบกำลังต้านทานแรงดึงขนานเส้นใย

3.4.2.2 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ

การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุโดยใช้การสังเกตลักษณะของไม้แต่ละสายพันธุ์และใช้เครื่องมืออย่างง่ายในการวัดค่า เพื่อเก็บเป็นข้อมูลทางกายภาพของไม้แต่ละสายพันธุ์

(1) วัดขนาด

วัดขนาดความกว้าง ความยาว และความหนาของชิ้นตัวอย่างเพื่อหาปริมาตร โดยใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์ในการวัดค่า และใช้ไม้บรรทัดหรือตลับเมตรสำหรับชิ้นวัดความยาวของตัวอย่างสำหรับทดสอบกำลังต้านทานแรงดัด และกำลังต้านทานแรงดึงขนานเสี้ยน

(2) ชั่งน้ำหนัก

ชั่งน้ำหนักของชิ้นตัวอย่างทั้งก่อนและหลังอบ เพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าความหนาแน่น ความถ่วงจำเพาะ และความชื้น

(3) การทดสอบเพื่อหาค่าความหนาแน่นของวัสดุ

ความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) = มวลก่อนอบ/ปริมาตร (3.1)

(4) การทดสอบเพื่อหาค่าความถ่วงจำเพาะ

ความถ่วงจำเพาะ = (มวลอบแห้ง/ปริมาตรก่อนอบ)/ความหนาแน่นน้ำ (3.2)

(5) การทดสอบเพื่อวัดค่าความชื้น

ค่าความชื้น (ร้อยละ) = [(มวลก่อนอบ-มวลอบแห้ง)×100]/มวลอบแห้ง (3.3)

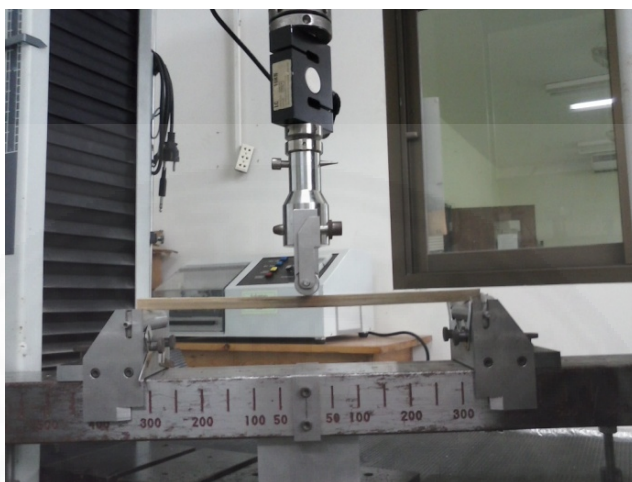
3.4.2.3 การทดสอบคุณสมบัติเชิงกล

การทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุ โดยดำเนินการตามคู่มือทดสอบเชิงกลของไม้ ซึ่งเรียบเรียงโดยสาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และทรัพยากร มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ ซึ่งบันทึกข้อมูลการทดสอบและกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและระยะการเสียรูป ทั้งนี้ผู้วิจัยจะบันทึกน้ำหนักสูงสุดที่ใช้ในการทำให้ชิ้นตัวอย่างวิบัติ โดยบันทึกค่าของแต่ละชิ้นทดสอบโดยใช้เครื่องบันทึกข้อมูล

(1) การทดสอบกำลังต้านทานแรงดัด

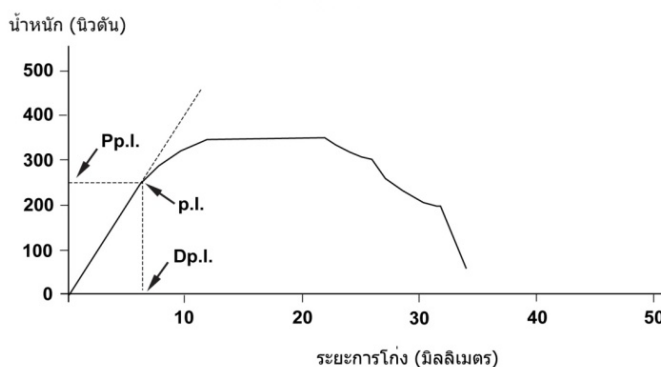
การทดสอบกำลังต้านทานแรงดัด นำตัวอย่างทดสอบไปวางบนแท่นรองซึ่งวางตัวอย่างทดสอบให้ปลายทั้ง 2 ข้างเลยจากจุดรองรับข้างละ 10 มิลลิเมตร โดยให้ด้านรัศมี (ด้านที่ไม่ใช่ผิวภายในและเปลือก) อยู่ด้านล่างดังภาพที่ 3.14 ส่วนของแท่นรองที่สัมผัสกับตัวอย่างไม้ใช้แบบลูกกลิ้งกลมเพื่อลดแรงเสียดทานตามแนวนอน กदन้ำหนักลงบนตัวอย่างทดสอบด้วยหัวกดที่มีรัศมีความโค้ง 25 มิลลิเมตร และให้น้ำหนักกดลงกึ่งกลางของความยาวของตัวอย่างทดสอบเดินเครื่องให้หัวกดสัมผัสกับตัวอย่างไม้ จากนั้นทำการทดสอบโดยใช้ความเร็วคงที่ในการเคลื่อนที่ของ

ห้วงเวลาที่ให้ตัวอย่างทดสอบแตกหักภายในเวลา 1.5 ± 0.5 นาที กดน้ำหนักจนตัวอย่างไม้แตกหัก บันทึกค่าสูงสุดหน่วยเป็นกิโลกรัมและปริมาณการโก่งเนื่องจากแรง เพื่อนำไปใช้ในคำนวณหาค่าโมดูลัสการแตกร้าวและโมดูลัสความยืดหยุ่นต่อไป



ภาพที่ 3.14 การทดสอบกำลังต้านทานแรงดัด

นำข้อมูลที่บันทึกไว้ไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่กระทำ (P) และการโก่งตัวที่เกิดขึ้น (D) โดยให้น้ำหนักที่กระทำอยู่ในแกนตั้งและการโก่งตัวที่เกิดขึ้นอยู่ในแกนนอน นำไม้บรรทัดมาทาบเส้นกราฟให้ผ่านจุด O และทำเครื่องหมายจุดที่เส้นกราฟเริ่มโค้งและเขียน p.l. กำกับ จากนั้นลากเส้นตรงจากจุด p.l. ให้ขนานกับแกน X ไปตัดแกน Y จะได้ค่าน้ำหนักที่กระทำที่ขอบเขตของความได้สัดส่วน (Pp.l.) และลากเส้นตรงจากจุด p.l. ให้ขนานกับแกน Y ไปตัดแกน X จะได้ค่าระยะโก่งของชิ้นไม้ทดสอบที่ขอบเขตของความได้สัดส่วน (Dp.l.) และนำไปคำนวณหาค่าต่าง ๆ ดังนี้



ภาพที่ 3.15 กราฟตัวอย่าง แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่กระทำและการโก่งตัว

1. การคำนวณโมดูลัสการแตกร้าว

$$\text{โมดูลัสการแตกร้าว (กก./ตร.ซม.)} = 3PL/2bd^2 \quad (3.4)$$

เมื่อ P คือ น้ำหนักที่กระทำสูงสุด (กิโลกรัม)

L คือ ระยะระหว่างจุดรองรับ (เซนติเมตร)

b คือ ความกว้างของตัวอย่างทดสอบ (เซนติเมตร)

d คือ ความลึกของตัวอย่างทดสอบ (เซนติเมตร)

2. การคำนวณโมดูลัสความยืดหยุ่น

$$\text{ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น (กก./ตร.ซม.)} = (Pp.l. \times L^3)/(4 Dp.l. \times bd^3) \quad (3.5)$$

เมื่อ Pp.l. คือ น้ำหนักที่กระทำที่ขอบเขตของความได้สัดส่วน (กิโลกรัม)

L คือ ระยะระหว่างจุดรองรับ (เซนติเมตร)

Dp.l. คือ ระยะโค้งของชิ้นไม้ที่ทดสอบที่ขอบเขตของความได้สัดส่วน (เซนติเมตร)

b คือ ความกว้างของชิ้นไม้ทดสอบ (เซนติเมตร)

d คือ ความลึกของชิ้นไม้ทดสอบ (เซนติเมตร)

(2) การทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดขนานเสี้ยน

ทำการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดขนานเสี้ยนโดยนำตัวอย่างทดสอบไปวางในช่องสำหรับทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดของเครื่องทดสอบสากลในทิศทางขนานกับเสี้ยนไม้ ดังภาพที่ 3.16 และเลือกใช้อุปกรณ์ทดสอบที่มีหัวกดด้านหนึ่งหมุนได้รอบตัวโดยใช้ระบบลูกปืน เพื่อให้หัวกดปรับตัวเองได้แนบสนิทกับหน้าตัดของตัวอย่างทดสอบ เพื่อให้สามารถกระจายน้ำหนักลงบนหน้าตัดได้อย่างสม่ำเสมอ และยังช่วยขจัดแรงโมเมนต์อื่นที่ไม่ต้องการทำการทดสอบ การทดสอบตั้งความเร็วคงที่ในการเคลื่อนที่ของหัวกด เพื่อให้ตัวอย่างทดสอบแตกหักภายในเวลา 1.5 ± 0.5 นาที และกदन้ำหนักจนตัวอย่างทดสอบแตกหัก บันทึกค่าแรงสูงสุดหน่วยเป็นกิโลกรัม

$$\text{กำลังต้านทานแรงอัดขนานเสี้ยน (กก./ตร.ซม.)} = \text{แรงอัดสูงสุด/พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างทดสอบ} \quad (3.6)$$



ภาพที่ 3.16 การทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดขนานเสี้ยน

(3) การทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดตั้งฉากเสี้ยน

ทำการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดตั้งฉากเสี้ยน โดยวางตัวอย่างทดสอบไว้บนแท่นสำหรับทดสอบแรงอัดในแนวนอน โดยให้ด้านรัศมี (ด้านที่ไม่ใช่ผิวภายในและเปลือก) อยู่ด้านล่าง นำแผ่นเหล็กกว้าง 20 มิลลิเมตร วางทับผิวด้านบนของตัวอย่างทดสอบ จัดให้แผ่นเหล็กอยู่ตรงกึ่งกลางและตั้งฉากกับความยาวของตัวอย่างทดสอบดังภาพที่ 3.17 และเลือกใช้อุปกรณ์ทดสอบที่มีหัวกดด้านหนึ่งหมุนได้รอบตัวโดยใช้ระบบลูกปืน เพื่อให้หัวกดปรับตัวเองได้แนบสนิทกับหน้าตัดของตัวอย่างทดสอบ และสามารถกระจายน้ำหนักลงบนหน้าตัดได้อย่างสม่ำเสมอ เช่นเดียวกับการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดขนานเสี้ยน เลื่อนหัวกดให้แตะแผ่นเหล็กพอดี การทดสอบใช้แรงอัดบนตัวอย่างทดสอบเพียงบางส่วนของพื้นที่รับแรง เนื่องจากมีความถูกต้องมากกว่าในแง่ของการนำค่าผลการทดสอบไปใช้งาน เพราะองค์อาคารที่รับแรงอัดตั้งฉากเสี้ยนจะรับเพียงบางส่วนของผิวหน้าเท่านั้น เช่น คาน รับแรงอัดตั้งฉากเสี้ยนตรงบริเวณจุดรองรับที่ปลายคานทั้งสองข้าง เป็นต้น ทำการทดสอบโดยอัดหัวกดลงบนแผ่นเหล็กด้วยอัตราเร็วคงที่ที่ทำให้ได้จุดพิกัดอัตราส่วนโดยตรงภายในเวลา 1.5 ± 0.5 นาที และทดสอบจนผิวหน้าของตัวอย่างทดสอบถูกแผ่นเหล็กกดยุบลงไป 2.5 มิลลิเมตร บันทึกกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและการยุบตัวของตัวอย่างทดสอบ เพื่อนำไปหาค่าความแข็งแรงสำหรับนำไปใช้ในการออกแบบโครงสร้าง

กำลังต้านทานแรงอัดตั้งฉากเสี้ยน (กก./ตร.ซม.) = น้ำหนักที่ขอบเขตของความได้สัดส่วน/พื้นที่รับแรง (3.7)



ภาพที่ 3.17 การทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดตั้งฉากเสี้ยน

(4) การทดสอบกำลังต้านทานแรงเฉือนขนานเสี้ยน

ทำการทดสอบกำลังต้านทานแรงเฉือนขนานเสี้ยนโดยนำตัวอย่างทดสอบไปวางไว้ในอุปกรณ์สำหรับทดสอบแรงเฉือนขนานเสี้ยน และให้น้ำหนักกดลงบนระนาบในแนวขนานกับเสี้ยนไม่ดังภาพที่ 3.18 ปรับเครื่องให้เริ่มต้นจากศูนย์ ทำการทดสอบโดยใช้ความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัวกดที่ทำให้ตัวอย่างทดสอบแตกหักภายในเวลา 1.5-2 นาที กัดจนตัวอย่างทดสอบเลื่อนไถลออกจากกัน บันทึกค่าแรงสูงสุดหน่วยเป็นกิโลกรัม

$$\text{กำลังต้านทานแรงเฉือนขนานเสี้ยน (กก./ตร.ซม.)} = \frac{\text{แรงเฉือนสูงสุด}}{\text{พื้นที่หน้าตัด}} \quad (3.8)$$

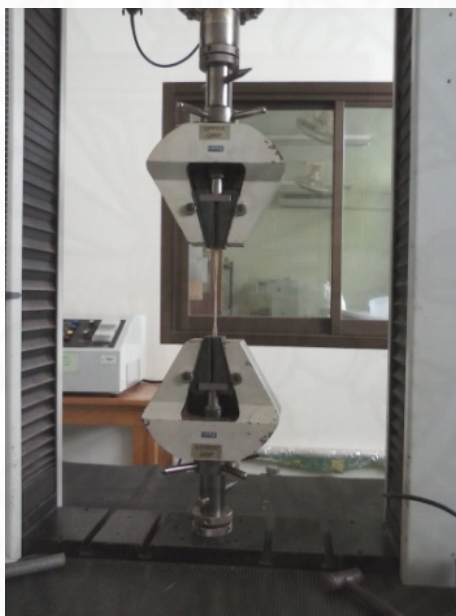


ภาพที่ 3.18 การทดสอบกำลังต้านทานแรงเฉือนขนานเสี้ยน

(5) การทดสอบกำลังต้านทานแรงดึงขนานเสี้ยน

ทำการทดสอบกำลังต้านทานแรงดึงขนานเสี้ยนโดยนำตัวอย่างทดสอบใส่เข้าไปยังเครื่องทดสอบกำลังรับแรงดึงให้ยึดปลายด้านบนก่อน จากนั้นจับตัวอย่างไม่ให้ตรงและเลื่อนที่จับลงมายึดปลายด้านล่าง ควรให้ที่จับอยู่ห่างจากส่วนคอดของตัวอย่างทดสอบประมาณ 20-25 มิลลิเมตร ดังภาพที่ 3.19 ทำการทดสอบโดยใช้ความเร็วคงที่ในการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ดึงที่ทำให้ตัวอย่างทดสอบขาดในเวลา 1.5-2 นาที เติมน้ำเครื่องดึงจนบริเวณคอดของตัวอย่างทดสอบขาดออกจากกัน บันทึกค่าแรงสูงสุดหน่วยเป็นกิโลกรัม แต่ถ้าหากตัวอย่างทดสอบไม่ขาดออกจากกันตรงบริเวณคอด ข้อมูลดังกล่าวที่ได้ไม่สามารถนำไปใช้ได้

$$\text{กำลังต้านทานแรงดึงขนานเสี้ยน (กก./ตร.ซม.)} = \text{แรงดึงสูงสุด/พื้นที่รับแรง (3.9)}$$



ภาพที่ 3.19 การทดสอบกำลังต้านทานแรงดึงขนานเสี้ยน

3.4.3 การคำนวณประสิทธิภาพการรับน้ำหนักของโครงสร้างไม้ไผ่

3.4.3.1 ออกแบบโครงสร้าง

ออกแบบแบบของโครงสร้างไม้ไผ่เป็นอาคารสาธารณะขนาดเล็กที่มีรูปทรงเรียบง่าย ใช้เสาและคานเป็นโครงสร้างหลักของตัวอาคาร มีความสูง 2 ชั้น ซึ่งใช้ไม้เป็นวัสดุโครงสร้างทั้งหมด โดยการอ้างอิงคุณสมบัติของไม้จากการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุในการทดลองที่ 1 มาใช้ในการกำหนดค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ของวัสดุโครงสร้างสำหรับจำลองรูปแบบโครงสร้าง และกำหนดให้ตัวอาคารมีลักษณะดังนี้

(1) รูปแบบของโครงสร้าง

โครงสร้างไม้ไผ่ มีขนาดหน้ากว้าง 12 เมตร ลึก 16 เมตร

(2) ความสูงของอาคาร

จำลองอาคารสูง 2 ชั้น แต่ละชั้นสูง 4 เมตร

(3) ระยะช่วงพาด

กำหนดระยะช่วงพาดของอาคารเท่ากับ 4 เมตร

(4) น้ำหนักบรรทุกคงที่

กำหนดน้ำหนักบรรทุกคงที่ที่กระทำต่อโครงสร้าง ดังนี้
โครงสร้างหลังคา

กระเบื้องหลังคา	8 กิโลกรัมต่อตารางเมตร
แป้ไม้	5 กิโลกรัมต่อตารางเมตร
รวม	13 กิโลกรัมต่อตารางเมตร
พื้น	
พื้นไม้ไผ่หนา 2.5 ซม.	20 กิโลกรัมต่อตารางเมตร
ตงไม้	4 กิโลกรัมต่อตารางเมตร
รวม	24 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

(5) น้ำหนักบรรทุกจร

กำหนดน้ำหนักบรรทุกคงที่ที่กระทำต่อโครงสร้าง ดังนี้

หลังคา	30 กิโลกรัมต่อตารางเมตร
อาคารสาธารณะ	300 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

3.4.3.2 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการรับน้ำหนักของโครงสร้าง

การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการรับน้ำหนักของโครงสร้าง โดยใช้ไม้เป็นวัสดุในการก่อสร้าง แบ่งพิจารณาจากการรับน้ำหนักของเสาและคาน

(1) การพิจารณาความเป็นไปได้ในการรับน้ำหนักของเสา

การพิจารณาความเป็นไปได้ในการรับน้ำหนักของเสา ใช้หลักการในการพิจารณาคือ การคำนวณหาขนาดของเสาและจำนวนไม้ที่ใช้สำหรับเป็นเสาของโครงสร้าง โดยการคำนวณหาค่าโมเมนต์อินเนอร์เซียของเสาเปรียบเทียบกับโมเมนต์อินเนอร์เซียของไม้ 1 ลำ, 2 ลำ, 3 ลำ และ 4 ลำ

$$I_1 = \frac{PI^2}{\pi^2 E} \quad (3.10)$$

$$I_2 = 2I_1 + 2Ad^2 \quad (3.11)$$

$$I_3 = 3I_1 + Ad^2_{\text{บน}} + Ad^2_{\text{ล่าง}} \quad (3.12)$$

$$I_4 = 4I_1 + 4Ad^2 \quad (3.13)$$

- เมื่อ I คือ โมเมนต์อินเนอร์เซีย (เซนติเมตร⁴)
 P คือ แรงในชิ้นส่วนโครงสร้าง (กิโลกรัม)
 L คือ ความยาวของเสา (เซนติเมตร)
 E คือ โมดูลัสของการยืดหยุ่น (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)
 A คือ พื้นที่หน้าตัดของไม้ (ตารางเซนติเมตร)
 d คือ ระยะจากแกนสะเทิน (neutral axis) ไปยังจุดกึ่งกลางของลำไม้ (เซนติเมตร)

(2) การพิจารณาความเป็นไปได้ในการรับน้ำหนักของคาน

การพิจารณาความเป็นไปได้ในการรับน้ำหนักของคาน ใช้หลักการในการพิจารณา คือ การคำนวณหาขนาดของคานและจำนวนไม้ที่ใช้สำหรับเป็นคานของโครงสร้าง โดยการคำนวณหาค่าโมดูลัสที่จุดตัดของคาน (section modulus) เปรียบเทียบกับโมดูลัสที่จุดตัดไม้ 1 ลำ, 2 ลำ, 3 ลำ และ 4 ลำ

$$S = \frac{I}{\bar{y}} \quad (3.14)$$

- เมื่อ S คือ โมดูลัสที่จุดตัด (section modulus) (เซนติเมตร³)
 I คือ โมเมนต์อินเนอร์เซีย (เซนติเมตร⁴)
 \bar{y} คือ ระยะจากแกนสะเทิน (neutral axis) ไปยังผิวบนของคาน (เซนติเมตร)

3.5 สถานที่ทดลอง

3.5.1 การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

การเตรียมไม้ตามสายพันธุ์ที่คัดเลือกเพื่อใช้เตรียมเป็นชิ้นตัวอย่างสำหรับทำการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุ โดยเตรียมไม้และชิ้นตัวอย่างที่บริษัท พิมธา จำกัด (Za baai Bamboo) ตำบลประจันตคาม อำเภอเมือง จังหวัดปราจีนบุรี

3.5.2 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกล

การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุ ได้ทำการทดสอบที่ห้องปฏิบัติการไม้และโพลีเมอร์สาขาวิศวกรรมวัสดุ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และทรัพยากร มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ ตำบลท่าศาลา อำเภอท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช

3.6 การเก็บข้อมูล

3.6.1 การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุ

การเก็บข้อมูลในส่วนของการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุทั้งคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกล โดยทำการทดสอบคุณสมบัติของไม้ทั้ง 5 สายพันธุ์ สายพันธุ์ละ 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนโคนของลำต้น ส่วนกลางของลำต้น และส่วนปลายของลำต้น โดยแต่ละการทดสอบใช้ตัวอย่างทดสอบ 5 ตัวอย่างต่อหนึ่งส่วนของแต่ละสายพันธุ์ แล้วนำค่าที่ได้ของแต่ละชิ้นตัวอย่างมาหาค่าเฉลี่ยเป็นผลการทดสอบของแต่ละส่วนของสายพันธุ์ จากนั้นนำค่าเฉลี่ยของผลการทดสอบในแต่ละส่วนของไม้สายพันธุ์เดียวกันมาคิดเป็นค่าเฉลี่ยรวมของไม้สายพันธุ์นั้น ๆ เพื่อทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุ

3.6.2 การคำนวณประสิทธิภาพการรับน้ำหนักของโครงสร้าง

การเก็บข้อมูลในส่วนของการคำนวณประสิทธิภาพการรับน้ำหนักของโครงสร้าง โดยกำหนดให้ใช้คุณสมบัติของวัสดุเป็นค่าเฉลี่ยของคุณสมบัติที่ได้จากการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุในการทดลองที่ 1 มาใช้ในการคำนวณ จากนั้นนำผลที่ได้มาวิเคราะห์การรับแรงของโครงสร้างที่ออกแบบ ทั้งนี้การเลือกสายพันธุ์ไม้มาใช้ในการออกแบบโครงสร้างนั้นคำนึงถึงความเหมาะสมและคุณสมบัติของวัสดุเป็นหลัก โดยการอ้างอิงจากข้อมูลการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุ

3.7 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.7.1 วิเคราะห์เปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุ

วิเคราะห์ข้อมูลโดยการเปรียบเทียบคุณสมบัติต่าง ๆ ของไม้แต่ละพันธุ์ที่ทดสอบ และนำค่าเฉลี่ยของคุณสมบัติต่าง ๆ ที่ได้ไปใช้ในการเปรียบเทียบคุณสมบัติของไม้และไม้จากงานวิจัยอื่น ๆ รวมถึงการนำค่าดังกล่าวไปใช้ต่อในการทดสอบประสิทธิภาพการรับน้ำหนักของโครงสร้าง

3.7.2 วิเคราะห์ประสิทธิภาพการรับแรง

นำผลที่ได้จากการคำนวณประสิทธิภาพการรับแรงของโครงสร้างไปวิเคราะห์ตามรูปแบบหรือลักษณะการรับแรงของโครงสร้าง แล้วจึงนำเสนอเป็นแนวทางในการเลือกใช้ไม้แต่ละพันธุ์ให้เหมาะสมกับการรับแรงและรูปแบบของโครงสร้างที่แตกต่างกัน



บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 คุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติเชิงกลของไม้

4.1.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของไม้ประกอบด้วย ผลจากการหาค่าความหนาแน่น ความถ่วงจำเพาะ และความชื้น โดยทำการทดสอบจาก 3 ส่วนของลำต้นคือ ส่วนโคนของลำต้น ส่วนกลางของลำต้น และส่วนปลายของลำต้น ของไม้ทั้ง 5 สายพันธุ์ ส่วนละ 20 ชิ้น โดยคำนวณจากชิ้นตัวอย่างทดสอบที่ใช้ทำการทดสอบคุณสมบัติทางกล บันทึกผลดังภาคผนวก ก. เพื่อหาค่าเฉลี่ยของแต่ละช่วงของลำต้นไม้ทั้ง 5 สายพันธุ์ และดูแนวโน้มค่าเฉลี่ยของผลการทดสอบแต่ละช่วงของลำต้นไม้ จากนั้นจึงนำค่าเฉลี่ยที่ได้มาเปรียบเทียบกับระหว่างไม้แต่ละสายพันธุ์ ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1

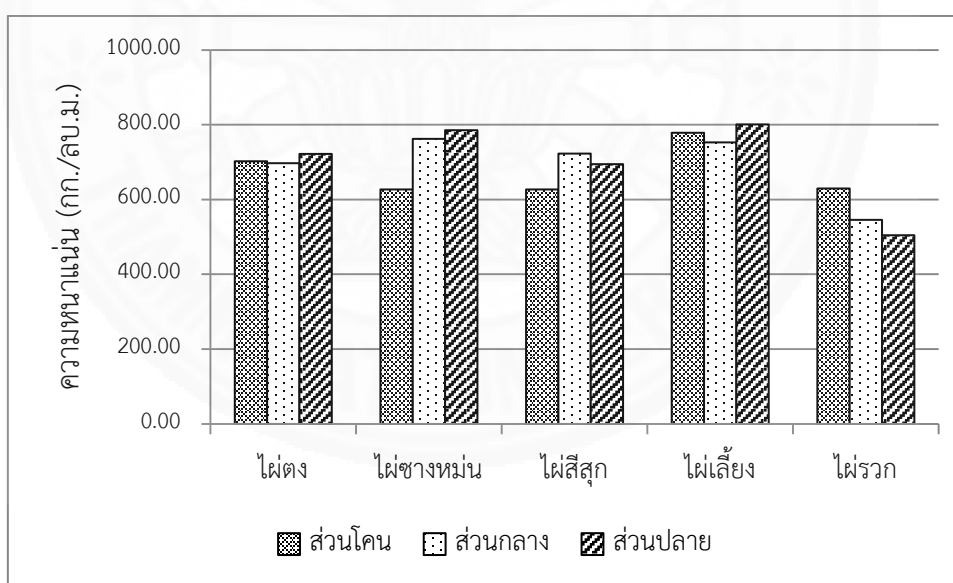
ค่าเฉลี่ยของคุณสมบัติทางกายภาพของไม้

ตัวอย่างทดสอบ		ความหนาแน่นของเนื้อไม้ (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)	ความถ่วงจำเพาะ	ความชื้น (%)
ไม้ต่ง	ส่วนโคน	702.57	0.57	24.30
	ส่วนกลาง	697.28	0.62	11.16
	ส่วนปลาย	722.66	0.67	7.97
ค่าเฉลี่ย		707.50	0.62	14.48
ไม้ช่างหม่น	ส่วนโคน	636.94	0.57	9.49
	ส่วนกลาง	762.31	0.69	10.19
	ส่วนปลาย	785.92	0.72	8.84
ค่าเฉลี่ย		725.06	0.66	9.51
ไม้สีสุก	ส่วนโคน	744.51	0.63	18.74
	ส่วนกลาง	723.40	0.67	8.51
	ส่วนปลาย	694.98	0.65	7.52
ค่าเฉลี่ย		720.96	0.65	11.59

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

ค่าเฉลี่ยของคุณสมบัติทางกายภาพของไผ่

ตัวอย่างทดสอบ		ความหนาแน่นของเนื้อไม้ (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)	ความถ่วงจำเพาะ	ความชื้น (%)
ไผ่เลี้ยง	ส่วนโคน	778.57	0.67	17.97
	ส่วนกลาง	752.96	0.69	10.44
	ส่วนปลาย	800.72	0.73	10.23
ค่าเฉลี่ย		777.42	0.69	12.88
ไผ่รวก	ส่วนโคน	623.77	0.56	11.87
	ส่วนกลาง	545.86	0.49	11.93
	ส่วนปลาย	504.84	0.45	11.81
ค่าเฉลี่ย		560.16	0.50	11.87



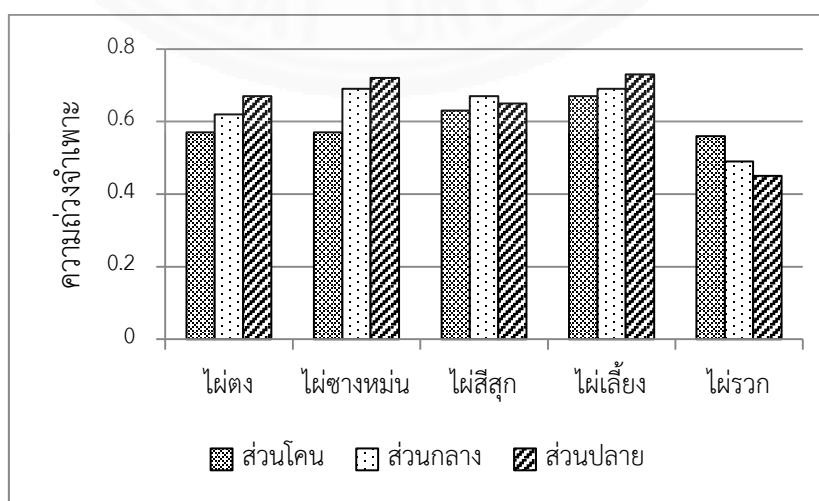
ภาพที่ 4.1 ความหนาแน่นของเนื้อไม้เฉลี่ยของไผ่

“ความหนาแน่นของไผ่มีค่าหลากหลายอยู่ในช่วง 0.5-0.9 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร บริเวณเนื้อไม้ภายนอกมีความหนาแน่นสูงกว่าบริเวณเนื้อไม้ภายใน ความหนาแน่นจะเพิ่มขึ้นจากโคนสู่ปลายเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของท่อลำเลียงอาหารบริเวณภายนอกและส่วนปลายของลำต้น” (Liese, 1985 & Espiloy 1987 อ้างถึงใน Abd. Latif & Liese, n.d. , p. 59) จากตารางที่ 4.1

และกราฟความหนาแน่นของเนื้อไม้เฉลี่ยของไม้ทั้ง 5 สายพันธุ์ พบว่าความหนาแน่นมีค่าอยู่ในช่วง 500-800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยที่ไม้ตง ไม้สีสุก และไม้เลียง ในส่วนโคน ส่วนกลางและส่วนปลายของลำต้นมีค่าความหนาแน่นของเนื้อไม้ที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากค่าความหนาแน่นเกิดจากสัดส่วนระหว่างมวลก่อนอบและปริมาตรของวัตถุ ทั้งนี้ไม้ทั้ง 3 สายพันธุ์มีสัดส่วนการเปลี่ยนแปลงระหว่างมวลและปริมาตรที่ใกล้เคียงและคล้ายตามกันทั้ง 3 ส่วนของลำต้น กล่าวคือเมื่อขนาดของชิ้นส่วนลดลง มวลก็ลดลงในสัดส่วนที่ใกล้เคียงกัน ทำให้ความหนาแน่นทั้ง 3 ส่วนมีค่าใกล้เคียงกัน

ไม้ช่างหม่นมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นจากส่วนโคนสู่ส่วนปลายของลำต้น จากลักษณะการกระจายตัวของเนื้อไม้ในไม้ช่างหม่นค่อนข้างส่งผลต่อมวล พบว่าบริเวณส่วนโคนของลำต้นจะมีการกระจายตัวของเนื้อไม้หนาแน่นบริเวณผิวภายนอกและเบาบางมากบริเวณผิวภายใน ซึ่งสามารถสังเกตความแตกต่างได้อย่างชัดเจน ส่งผลให้ขนาดของไม้ช่างหม่นที่ใหญ่ ปริมาตรเยอะแต่กลับมีน้ำหนักน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับสัดส่วนความสัมพันธ์และไม้ช่างหม่นยังมีขนาดของลำต้นเล็กกลวงค่อนข้างมากในส่วนกลางรวมถึงส่วนปลายของลำต้น ความหนาแน่นของเนื้อไม้กระจายตัวค่อนข้างสม่ำเสมอและหนาแน่นมากขึ้นตามลำดับ ส่งผลให้สัดส่วนระหว่างมวลและปริมาตรมีค่าแตกต่างกัน น้อยลงและสอดคล้องกันเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้ค่าความหนาแน่นในส่วนกลางและส่วนปลายของลำต้นเพิ่มขึ้นและมีค่าใกล้เคียงกัน

ไผ่รวกมีความหนาแน่นลดลงจากโคนสู่ปลาย เนื่องจากไผ่รวกเป็นไม้ขนาดเล็ก มีเนื้อไม้ไม่หนาแน่นมากนัก การกระจายตัวของเนื้อไม้ค่อนข้างสม่ำเสมอในบริเวณเดียวกันของลำต้น และมีการกระจายตัวเบาบางมากขึ้นในส่วนกลางและส่วนปลายของลำต้นตามลำดับ ทำให้การเปลี่ยนแปลงของมวลและปริมาตรของไผ่รวกลดลงจากโคนสู่ปลายในสัดส่วนที่สอดคล้องกัน การเปลี่ยนแปลงในลักษณะดังกล่าวส่งผลให้ค่าความหนาแน่นของไผ่รวกลดลงจากส่วนโคนสู่ส่วนปลาย



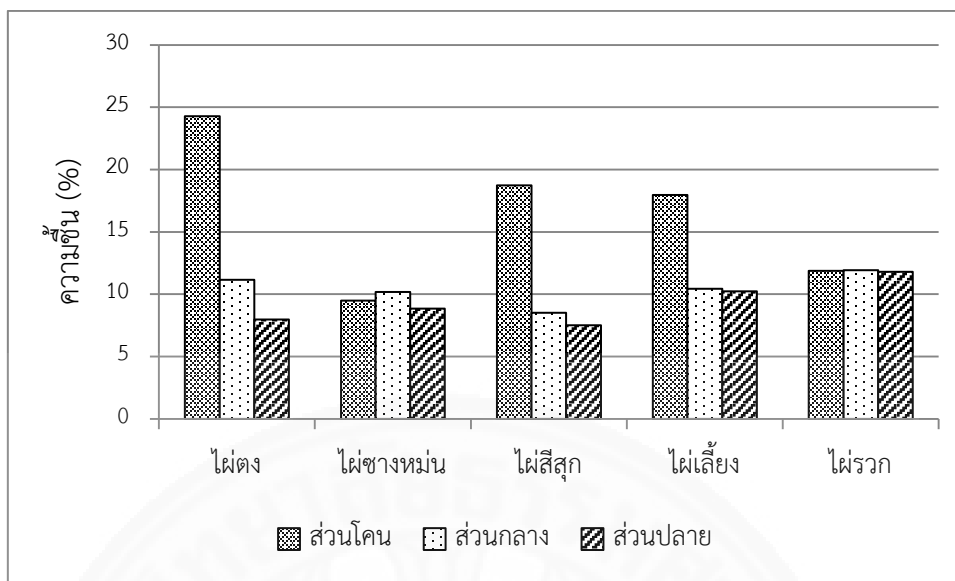
ภาพที่ 4.2 ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยของไม้

จากตารางที่ 4.1 และกราฟความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยของไฟทั้ง 5 สายพันธุ์ พบว่า ความถ่วงจำเพาะของไฟทั้ง 5 สายพันธุ์มีค่าอยู่ในช่วง 0.45-0.73 ความถ่วงจำเพาะคำนวณได้จาก สัดส่วนระหว่างมวลหลังอบและปริมาตรหารด้วยความหนาแน่นของน้ำซึ่งเป็นค่าคงที่ ดังนั้นมวลที่ เปลี่ยนไปหลังจากนำขึ้นตัวอย่างไปอบแห้งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นของขึ้น ตัวอย่างแต่ละส่วนของไฟแต่ละสายพันธุ์ ไฟตง ไฟชางหม่น และไฟเลี้ยงมีค่าความถ่วงจำเพาะเพิ่มขึ้น จากโคนสู่ปลาย ในส่วนของไฟตงและไฟเลี้ยงนั้นมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นและ ความถ่วงจำเพาะในลักษณะเดียวกัน คือมีความหนาแน่นให้เคียงกันทั้ง 3 ส่วนของลำต้น และมีค่า ความถ่วงจำเพาะเพิ่มขึ้นจากโคนสู่ปลาย เนื่องจากไฟตงและไฟเลี้ยงเป็นไฟขนาดใหญ่ มีเนื้อไม้ ค่อนข้างหนาในส่วนโคนของลำต้นและมีขนาดเล็กกลวงค่อนข้างมากในส่วนกลางและส่วนปลายของ ลำต้น ทำให้ส่วนโคนของไฟตงและไฟเลี้ยงมีค่าความชื้นที่สูงกว่าส่วนกลางและส่วนปลายค่อนข้างมาก ส่งผลต่อมวลหลังอบที่มีค่าลดลงในส่วนโคนของลำต้นเยอะกว่าส่วนกลางและส่วนปลายของลำต้น ซึ่ง สัดส่วนการเปลี่ยนแปลงของมวลที่เกิดขึ้นเยอะกว่าการเปลี่ยนแปลงของปริมาตร ทำให้ค่าความ ถ่วงจำเพาะมีค่าลดลง ในส่วนของไฟชางหม่นมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นและความ ถ่วงจำเพาะเหมือนกันคือมีค่าเพิ่มขึ้นจากโคนสู่ปลาย ทั้งนี้เนื่องมาจากทั้ง 3 ส่วนของไฟชางหม่นมีค่า ความชื้นที่ใกล้เคียงกัน ส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงของมวลหลังอบแห้งมีการเปลี่ยนแปลงในสัดส่วนที่ ใกล้เคียงกัน จึงมีแนวโน้มของค่าความถ่วงจำเพาะในลักษณะเดียวกับความหนาแน่น

ไฟสีสุกมีค่าความหนาแน่นและความถ่วงจำเพาะที่ใกล้เคียงกันในทั้ง 3 ส่วนของ ลำต้น เมื่อดูค่าความชื้นของไฟสีสุกทั้ง 3 ส่วน พบว่าไม่สามารถระบุแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงได้ ซึ่งไฟ สีสุกมีค่าความชื้นจากมากไปน้อยจากส่วนโคนไปสู่ส่วนปลายของลำต้น เมื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงที่ ละส่วนพบว่าแนวโน้มค่าความหนาแน่นแปรผกผันกับค่าความชื้น กล่าวคือส่วนใดของลำต้นมีค่า ความชื้นเยอะที่สุดส่วนนั้นจะมีค่าความถ่วงจำเพาะน้อยที่สุด ส่วนใดของลำต้นมีค่าความชื้นน้อยที่สุด ส่วนนั้นจะมีค่าความถ่วงจำเพาะเยอะที่สุด

ไฟรวกมีค่าความถ่วงจำเพาะลดลงจากส่วนโคนสู่ส่วนปลายของลำต้น เช่นเดียวกับค่าความหนาแน่น ทั้งนี้แนวโน้มดังกล่าวเป็นไปในลักษณะเดียวกันกับไฟชางหม่น คือมีค่า ความชื้นที่ใกล้เคียงกันทั้ง 3 ส่วนของลำต้น ทำให้แนวโน้มของค่าความหนาแน่นและค่าความ ถ่วงจำเพาะเป็นไปในลักษณะเดียวกัน

จากการสังเกตพบว่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของความถ่วงจำเพาะแปรผกผัน กับแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของความชื้น กล่าวคือหากมีค่าความชื้นลดลงจากโคนสู่ปลาย ค่าความ ถ่วงจำเพาะจะเพิ่มขึ้นจากโคนสู่ปลาย หากค่าความชื้นใกล้เคียงกันทั้ง 3 ส่วน ค่าความถ่วงจำเพาะจะ มีแนวโน้มในลักษณะเดียวกับค่าความหนาแน่น



ภาพที่ 4.3 ความชื้นเฉลี่ยของไม้

“ค่าความชื้นของไม้ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ ความสูง และตำแหน่งของลำต้น” (Rahman & Ishaq, 1947 อ้างถึงใน Mohmod et al., n.d., p. 58) “ค่าความชื้นเป็นตัวกำหนดความแข็งแรงของไม้เช่นเดียวกับไม้” (Mohmod et al., n.d., p. 58) ในส่วนโคนของไม้ตง ไม้สีสุก และไม้เลียงมีค่าความชื้นค่อนข้างสูง เนื่องจากไม้ทั้งสามชนิดมีเนื้อไม้ค่อนข้างหนาบริเวณส่วนโคนของลำต้น ทำให้มีค่าความชื้นสูงกว่าบริเวณอื่นค่อนข้างมาก ซึ่งมีค่าความชื้นอยู่ในช่วง 17.97%-24.30% แต่ในส่วนกลางและส่วนปลายของลำต้นไม้ทั้งสามชนิดมีค่าความชื้นใกล้เคียงกับความชื้นทั้ง 3 ส่วนของไม้ช่างหม่นและไม้รวก คือมีค่าความชื้นอยู่ในช่วง 7.97%-11.93%

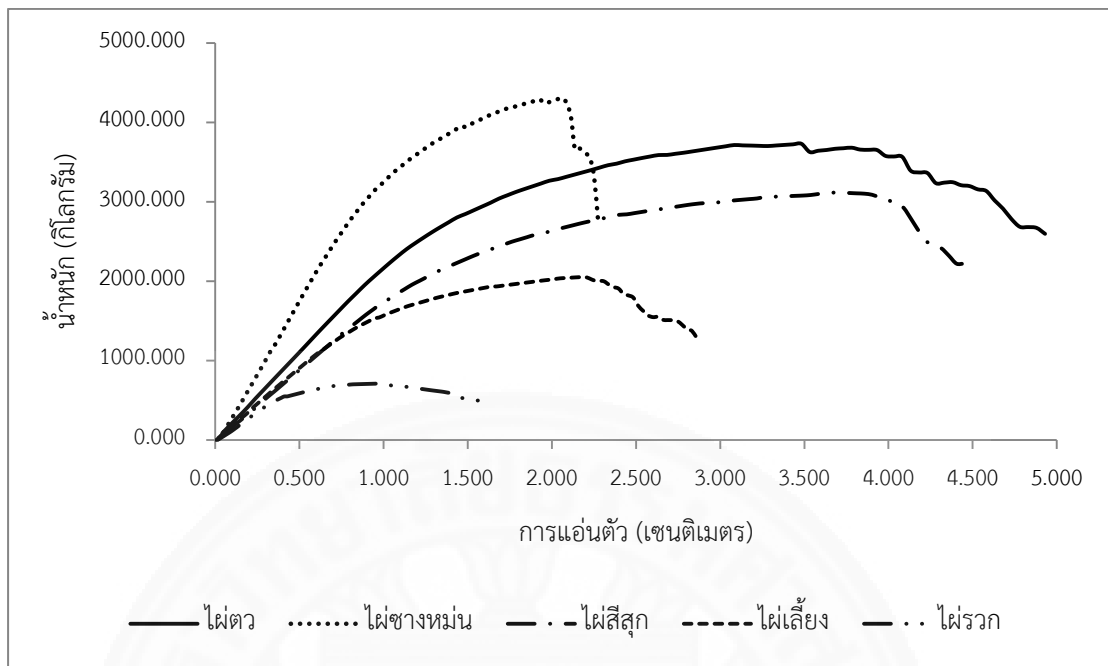
4.1.2 ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงดัด

ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงดัดของไม้ ประกอบด้วย ค่าแรงกระทำสูงสุด ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น และค่าโมดูลัสการแตกร้าว โดยทำการทดสอบจาก 3 ส่วนของลำต้นของไม้ทั้ง 5 สายพันธุ์ ส่วนละ 5 ชิ้น บันทึกผลดังภาคผนวก ข. เพื่อหาค่าเฉลี่ยของแต่ละช่วงของลำต้นไม้ทั้ง 5 สายพันธุ์ และดูแนวโน้มค่าเฉลี่ยของผลการทดสอบแต่ละช่วงของลำต้นไม้ และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของผลการทดสอบไม้ต่างสายพันธุ์ ได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.2

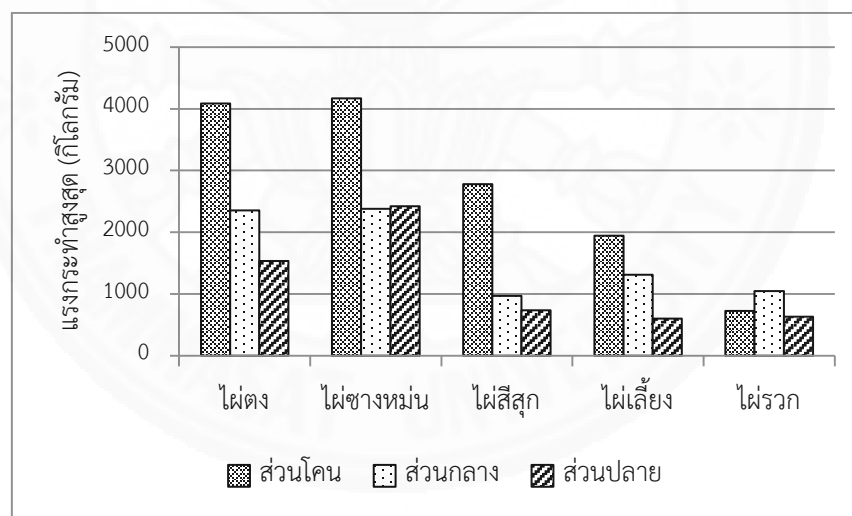
ตารางที่ 4.2

ค่าเฉลี่ยค่าเฉลี่ยของแรงกระทำสูงสุด โมดูลัสความยืดหยุ่น และโมดูลัสการแตกร้าวของไม้จากการทดสอบกำลังต้านทานแรงดัด

ตัวอย่างทดสอบ		แรงกระทำสูงสุด (กิโลกรัม)	โมดูลัสความยืดหยุ่น (กก./ตร.ซม.)	โมดูลัสการแตกร้าว (กก./ตร.ซม.)
ไม้ตง	ส่วนโคน	4,087.61	111,422.82	126.38
	ส่วนกลาง	2,352.59	140,755.88	1,559.69
	ส่วนปลาย	1,532.21	146,624.06	1,774.02
ค่าเฉลี่ย		2,657.47	132,934.25	1,532.50
ไม้ซางหม่น	ส่วนโคน	4,167.55	137,342.48	1,599.31
	ส่วนกลาง	2,380.44	166,316.53	1895.28
	ส่วนปลาย	2,420.11	161,814.56	1,937.85
ค่าเฉลี่ย		2,989.37	155,157.86	1,810.85
ไม้สีสุก	ส่วนโคน	2,779.15	144,274.22	1,670.05
	ส่วนกลาง	970.62	179,235.06	1,934.44
	ส่วนปลาย	734.65	150,923.92	1,858.16
ค่าเฉลี่ย		1,494.81	158,144.40	1,820.88
ไม้เลียง	ส่วนโคน	1,946.37	168,250.73	1,594.25
	ส่วนกลาง	1,310.70	165,268.32	1,670.66
	ส่วนปลาย	599.60	196,052.88	1,836.59
ค่าเฉลี่ย		1,285.56	176,523.98	1,700.50
ไม้รวก	ส่วนโคน	723.17	126,205.93	1,098.88
	ส่วนกลาง	1,045.19	120,916.28	1,126.78
	ส่วนปลาย	631.90	118,329.92	1,062.07
ค่าเฉลี่ย		800.09	121,817.38	1,095.91



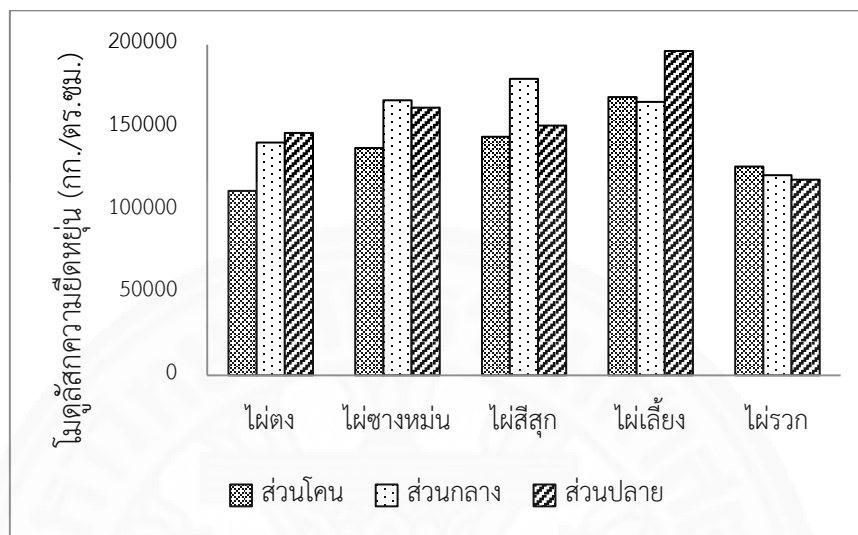
ภาพที่ 4.4 กราฟการทรุดตัวของฐานรองรับจากการทดสอบกำลังต้านทานแรงดัดของไผ่ส่วนโคน



ภาพที่ 4.5 ค่าแรงกระทำสูงสุดเฉลี่ยจากการทดสอบกำลังต้านทานแรงดัด

แรงกระทำสูงสุดที่บันทึกได้จากการทดสอบกำลังต้านทานแรงดัดของไผ่ตง ไผ่สีสุก และไผ่เลี้ยงมีแนวโน้มลดลงจากโคนสู่ปลาย เนื่องจากไผ่ทั้ง 3 สายพันธุ์มีขนาดของลำที่ใหญ่ในส่วนโคนทำให้มีพื้นที่รับแรงที่เยอะและสามารถรับแรงดัดได้เยอะกว่าในส่วนกลางและส่วนปลายของลำต้น ไผ่ชางหม่นส่วนโคนมีขนาดใหญ่และเนื้อไม้หนากว่าส่วนกลางและปลายของลำต้น ซึ่ง 2 ส่วนดังกล่าวมีขนาดที่ใกล้เคียงกันทำให้มีประสิทธิภาพในการรับแรงที่ใกล้เคียงกัน และมีค่าน้อยกว่าส่วนโคนของ

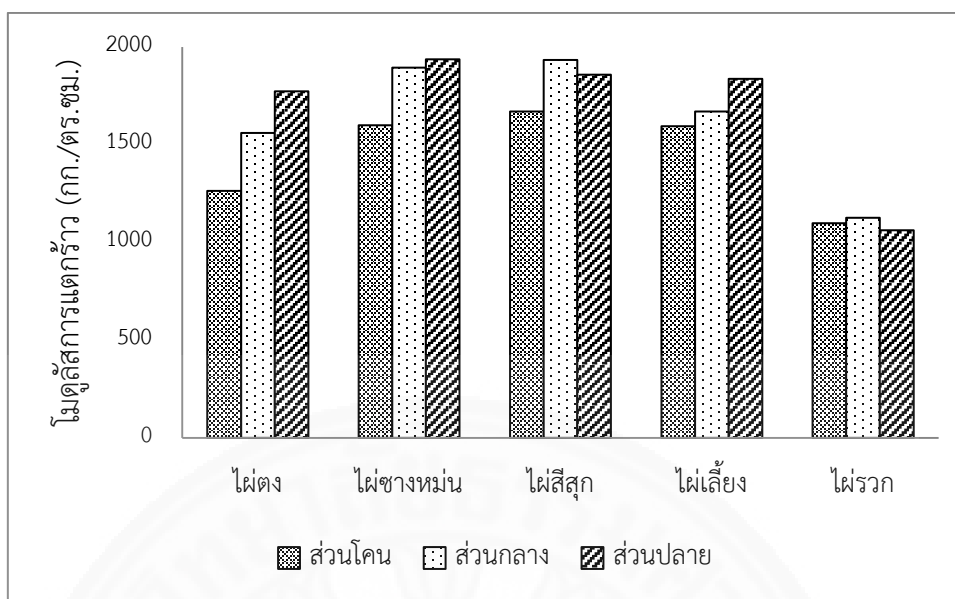
ลำต้นค่อนข้างมาก ใฝ่รวกเป็นใฝ่ขนาดเล็ก ขนาดของลำและความหนาของเนื้อไม้ใกล้เคียงกันทั้งลำต้น ทำให้มีประสิทธิภาพในการรับแรงไม่แตกต่างกันมากนัก



ภาพที่ 4.6 โมดูลัสความยืดหยุ่นเฉลี่ยของใฝ่

“การเปรียบเทียบของโมดูลัสความยืดหยุ่นของไผ่ตงสามารถอธิบายได้ด้วยการเปลี่ยนแปลงของค่าความถ่วงจำเพาะจากส่วนโคนไปสู่ส่วนปลายของลำต้น” (Pannipa Malanit, 2009, p.39) ไผ่ตงมีค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นจากโคนสู่ปลายของลำต้น และมีค่าใกล้เคียงกันในส่วนกลางและส่วนปลาย ไผ่สีสุกมีค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นในส่วนกลางของลำต้นสูงกว่าส่วนโคนและส่วนปลายของลำต้นที่มีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งไม่สามารถบอกแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงได้ ส่วนใฝ่รวกทั้ง 3 ส่วนมีค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นที่ใกล้เคียงกันและมีแนวโน้มลดลงจากโคนสู่ปลาย ซึ่งแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของโมดูลัสความยืดหยุ่นในไผ่ตง ไผ่สีสุก และใฝ่รวกเป็นแนวโน้มเดียวกับค่าความถ่วงจำเพาะ

ไผ่ชางหม่น และไผ่เลี้ยง ไม่สามารถสรุปแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของโมดูลัสความยืดหยุ่นได้ โดยไผ่ชางหม่นมีค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นในส่วนกลางและส่วนปลายของลำต้นใกล้เคียงกัน และสูงกว่าส่วนโคนของลำต้น ส่วนไผ่เลี้ยงมีค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นในส่วนกลางของลำต้นน้อยที่สุดและมีค่าใกล้เคียงกับส่วนโคนของลำต้น ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำกว่าในส่วนปลายของลำต้นซึ่งมีค่าค่อนข้างสูง ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวไม่ได้สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของค่าความถ่วงจำเพาะ

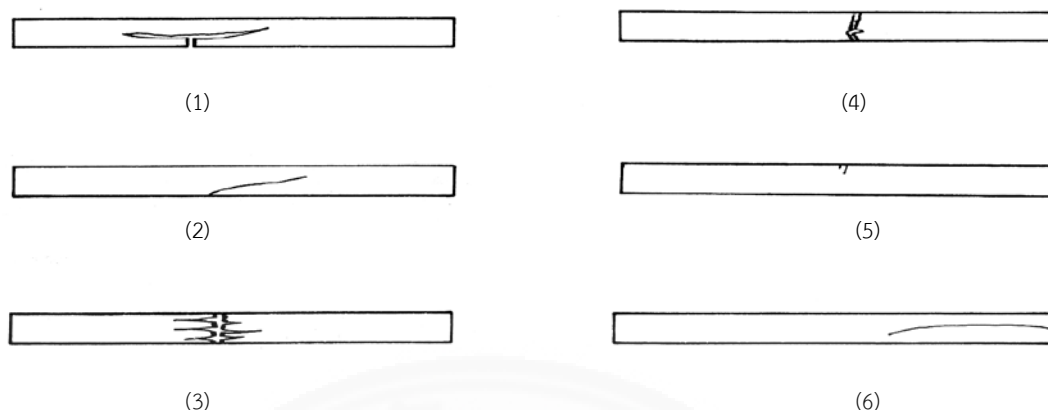


ภาพที่ 4.7 โมดุลัสการแตกข้าวเฉลี่ยของไผ่

การเปลี่ยนแปลงค่าโมดุลัสการแตกข้าวของไผ่ตงในความสัมพันธ์ของตำแหน่งของลำต้นนั้นไม่สามารถอธิบายได้ชัดเจน จากผลการทดสอบเห็นได้ชัดเจนว่าไผ่ตงปล้องที่ 3 มีค่าโมดุลัสการแตกข้าวน้อยกว่าไผ่ตงปล้องที่ 2 เพราะมีค่าความถ่วงจำเพาะน้อยกว่า แสดงให้เห็นว่าผลการทดลองสนับสนุนว่าโมดุลัสการแตกข้าวสัมพันธ์กับค่าความถ่วงจำเพาะ โมดุลัสการแตกข้าวเพิ่มขึ้นเมื่อความถ่วงจำเพาะเพิ่มขึ้น (Pannipa Malanit, 2009, p.39)

ไผ่ตง ไผ่ชางหม่น และไผ่เลี้ยงมีค่าโมดุลัสการแตกข้าวเพิ่มขึ้นจากโคนสู่ปลายของลำต้น ส่วนไผ่สีสุกไม่สามารถสรุปแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงได้ โดยไผ่สีสุกมีค่าโมดุลัสการแตกข้าวในส่วนกลางใกล้เคียงกับส่วนโคนของลำต้น ซึ่งมากกว่าส่วนปลายของลำต้น แต่ไผ่ทั้ง 4 สายพันธุ์มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าโมดุลัสการแตกข้าวเป็นลักษณะเดียวกับการเปลี่ยนแปลงค่าความถ่วงจำเพาะ

ไผ่รวก ไม่สามารถสรุปแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของโมดุลัสการแตกข้าวได้ ซึ่งมีค่าที่ค่อนข้างใกล้เคียงกันทั้งใน 3 ส่วนของลำต้นที่ทำการทดสอบ และการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวไม่ได้สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงค่าความถ่วงจำเพาะ



ภาพที่ 4.8 ลักษณะการแตกหักของตัวอย่างไม้เนื่องจากแรงดึง จาก Standard test methods for small clear specimens of timber. ASTM D143-94 (น. 6), โดย American society for testing and material, 2000 อ้างถึงใน คู่มือการทดสอบเชิงกลของไม้ (น. 58-59), โดย มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์, สำนักวิชาวิศวกรรมวัสดุ, ม.ป.ป., ม.ป.ท.

ชิ้นตัวอย่างที่ทำการทดสอบจะเกิดความเค้นอัดทางส่วนบน ความเค้นดึงทางส่วนล่าง และความเค้นเฉือนขึ้นตรงแนวแกนกลาง (เป็นความเค้นขนานเสี้ยน) เมื่อชิ้นตัวอย่างได้รับน้ำหนักจนเกิดการแตกหัก ลักษณะการแตกหักจึงเกิดขึ้นเนื่องจากความเค้นทั้งสาม ซึ่งแบ่งรูปแบบการแตกหักได้เป็น 6 รูปแบบ ตามลักษณะที่ปรากฏทางด้านข้างของตัวอย่างทดสอบ ดังภาพที่ 4.8

(1) simple tension (รอยแยกเนื่องจากแรงดึง) : ชิ้นตัวอย่างทดสอบเสียรูปด้วยแรงดึงโดยตรง โดยชิ้นตัวอย่างจะขาดบริเวณส่วนล่าง แสดงให้เห็นว่าชิ้นตัวอย่างแตกเนื่องจากแรงดึงขนานเสี้ยน ซึ่งลักษณะดังกล่าวจะเกิดขึ้นกับชิ้นตัวอย่างที่มีเสี้ยนตรงและผ่านการผึ่งหรืออบแห้งมาแล้ว

(2) cross-grain tension (รอยแตกขวางเสี้ยน) : ชิ้นตัวอย่างทดสอบเสียรูปด้วยแรงดึงขวางเสี้ยน จะเกิดขึ้นกับชิ้นตัวอย่างที่มีเสี้ยนในแนวขวาง โดยชิ้นตัวอย่างจะแตกตามแนวของเสี้ยน อันเนื่องมาจากแรงดึงในแนวตั้งฉากเสี้ยนและแรงเฉือนขนานเสี้ยน

(3) splintering (รอยแตกแบบฟันปลา) : ชิ้นตัวอย่างเสียรูปด้วยแรงดึงเสี้ยนประสาน โดยชิ้นตัวอย่างจะขาดเนื่องจากแรงดึงขนานเสี้ยนจากส่วนล่างของคาน แต่ลักษณะการขาดของเซลล์ยังประสานกันอยู่และชิ้นตัวอย่างทั้งสองส่วนยังไม่หลุดออกจากกัน แสดงให้เห็นว่าชิ้นตัวอย่างดังกล่าวเป็นไม้ที่มีความเหนียว

(4) brash tension (รอยแตกแบบเปราะขาด) : ชิ้นตัวอย่างเสียรูปด้วยแรงดึงเสี้ยนเปราะ โดยชิ้นตัวอย่างจะขาดเนื่องจากแรงดึง ซึ่งผิวหน้าที่รอยขาดมีลักษณะราบเรียบ และขาด

โดยทันทีทันใดไม่มีเสียงเตือนล่วงหน้า ขึ้นตัวอย่างทั้งสองส่วนจะแตกกระเด็นไปคนละทิศคนละทาง แสดงให้เห็นว่าขึ้นตัวอย่างที่ใช้ทดสอบมีความเปราะ อันเนื่องมาจากถูกทำโดยเห็ดรา หรือเป็นไม้ที่เปราะตามธรรมชาติ

(5) compression (รอยแตกเนื่องจากแรงกด) : ขึ้นตัวอย่างเสียรูปด้วยแรงอัด โดยจะเกิดการยุบตัวบริเวณส่วนบนของคาน เนื่องจากไม้ชนิดนั้นมีความต้านทานแรงอัดต่ำ หรือขึ้นตัวอย่างทดสอบมีความชื้นสูง

(6) horizontal shear (รอยแตกแบบฉีกตามแนวนอน) : ขึ้นตัวอย่างเสียรูปด้วยแรงเฉือนตามแนวนอน จะเกินในคานที่มีลักษณะสั้นและมีความลึกมาก



ภาพที่ 4.9 ลักษณะการเสียรูปของขึ้นตัวอย่างทดสอบกำลังต้านทานแรงดัดของไม้ต่ง

จากการทดสอบกำลังต้านทานแรงดัดของไม้ทั้ง 5 สายพันธุ์ พบว่ารูปแบบของการเสียรูปหรือการวิบัติของขึ้นตัวอย่างทดสอบจะเป็นไปในลักษณะของรูปแบบที่ (1) simple tension คือรอยแยกเนื่องจากแรงดึง และรูปแบบที่ (3) splintering คือรอยแตกแบบฟันปลา ซึ่งการเสียรูปในรูปแบบที่ (1) เป็นการเสียรูปเนื่องจากแรงดึงโดยตรง และจะเกิดขึ้นกับไม้ที่มีเส้นตรงและผ่านการผึ่งหรืออบแห้งมาแล้วเช่นเดียวกับขึ้นตัวอย่างทดสอบ ส่วนการเสียรูปในรูปแบบที่ (3) เป็นการเสียรูปเนื่องจากแรงดึงเส้นประสาน โดยขึ้นตัวอย่างจะขาดบริเวณส่วนล่าง แต่ไม่ได้ขาดออกจากกันเป็นสองส่วน แสดงให้เห็นว่าเนื้อไม้มีความเหนียวมาก ซึ่งการเสียรูปในรูปแบบดังกล่าวเกิดขึ้นในไม้ช่างหม่น เนื่องจากไม้ช่างหม่นมีการเรียงตัวของเส้นใยที่ค่อนข้างหนาแน่นกว่าไม้ชนิดอื่น ๆ

4.1.3 ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดขนานเสี้ยน

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและประสิทธิภาพกำลังต้านทานแรงอัดขนานเสี้ยนของไม้ ประกอบด้วย ค่าแรงกระทำสูงสุด และค่ากำลังต้านทานแรงอัดในแนวขนานเสี้ยน โดยทำการทดสอบจาก 3 ส่วนของลำต้นของไม้ทั้ง 5 สายพันธุ์ ส่วนละ 5 ชิ้น บันทึกผลดังภาคผนวก ค. เพื่อหาค่าเฉลี่ยของแต่ละช่วงของลำต้นไม้ทั้ง 5 สายพันธุ์ และดูแนวโน้มค่าเฉลี่ยของผลการทดสอบแต่ละช่วงของลำต้นไม้ และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของผลการทดสอบไม้ต่างสายพันธุ์ ได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3

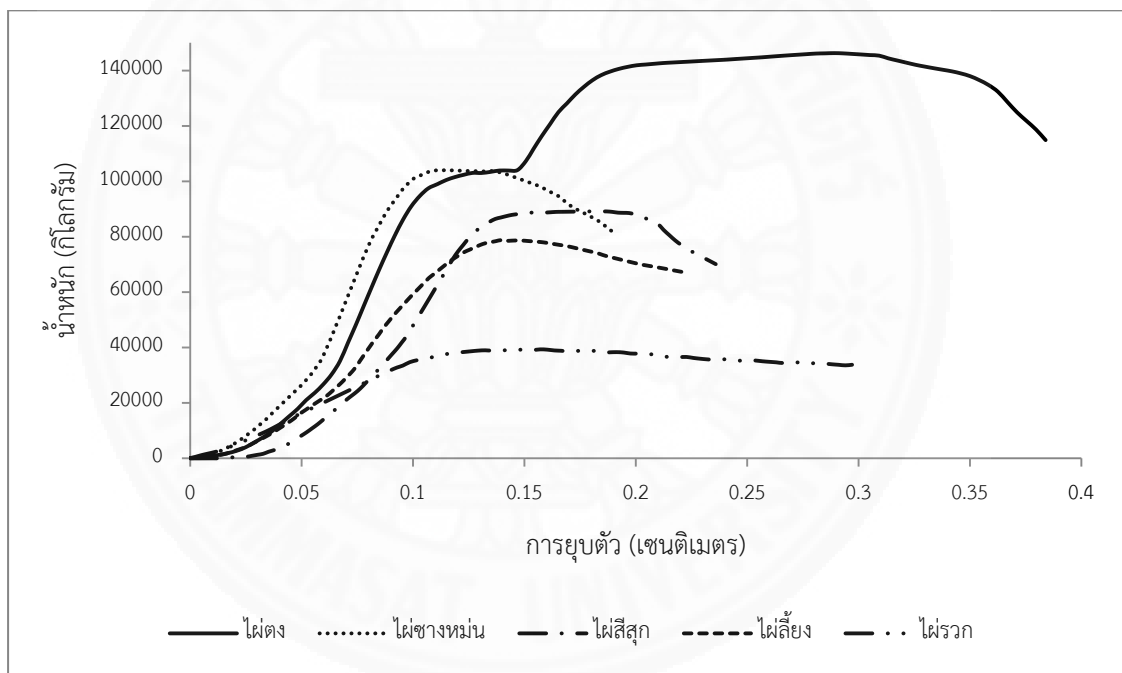
ค่าเฉลี่ยของกำลังต้านทานแรงอัดขนานเสี้ยนของไม้

ตัวอย่างทดสอบ		แรงกระทำสูงสุด (กิโลกรัม)	กำลังต้านทานแรงอัดขนานเสี้ยน (กก./ตร.ซม.)
ไม้ตง	ส่วนโคน	142,799.60	380.47
	ส่วนกลาง	58,765.03	569.63
	ส่วนปลาย	39,875.54	730.59
ค่าเฉลี่ย		80,480.06	560.23
ไม้ช่างหม่น	ส่วนโคน	102,621.03	616.29
	ส่วนกลาง	61,540.66	749.77
	ส่วนปลาย	47,086.66	893.73
ค่าเฉลี่ย		70,415.91	753.26
ไม้สีสุก	ส่วนโคน	91,798.66	467.75
	ส่วนกลาง	44,732.83	657.11
	ส่วนปลาย	18,530.11	689.15
ค่าเฉลี่ย		51,687.20	604.67
ไม้เลียง	ส่วนโคน	75,627.93	418.60
	ส่วนกลาง	35,706.73	743.57
	ส่วนปลาย	17,744.91	727.64
ค่าเฉลี่ย		43,026.52	629.94

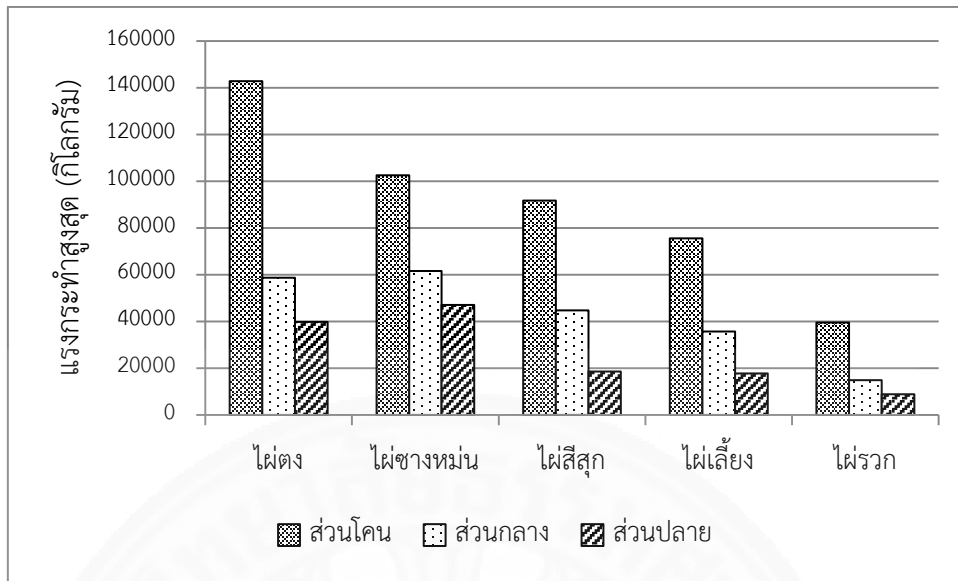
ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

ค่าเฉลี่ยของกำลังต้านทานแรงอัดขนานเสี้ยนของไม้

ตัวอย่างทดสอบ		แรงกระทำสูงสุด (กิโลกรัม)	ความต้านทานแรงอัดขนานเสี้ยน (กก./ตร.ซม.)
ไม้รวก	ส่วนโคน	39,488.21	448.14
	ส่วนกลาง	14,854.34	414.78
	ส่วนปลาย	8,901.29	389.40
ค่าเฉลี่ย		21,081.28	417.44

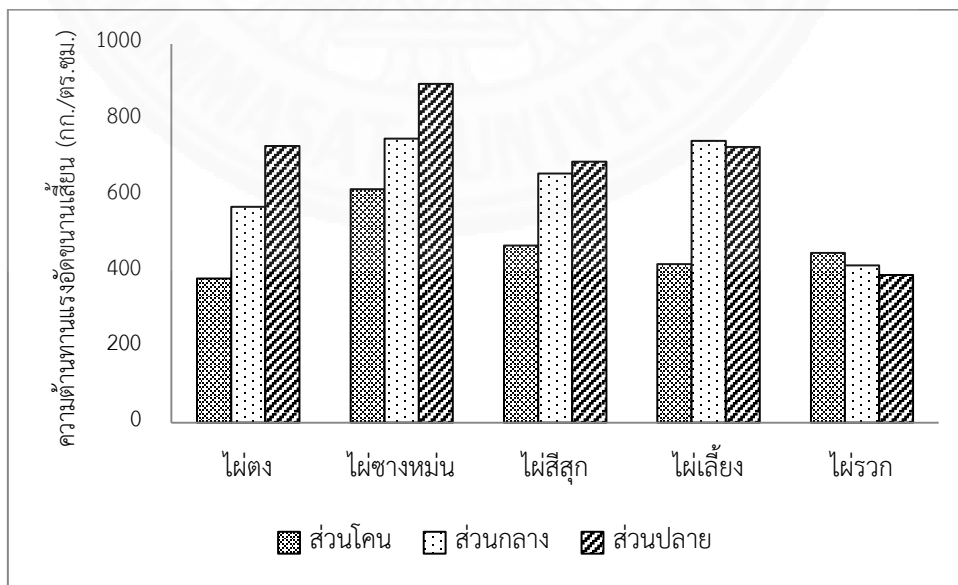


ภาพที่ 4.10 กราฟการทรุดตัวของฐานรองรับจากการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดขนานเสี้ยนของไม้ส่วนโคน



ภาพที่ 4.11 ค่าแรงกระทำสูงสุดเฉลี่ยจากการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดขนานเส้น

แรงกระทำสูงสุดที่บันทึกได้จากการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดขนานเส้นของไฟทั้ง 5 สายพันธุ์ มีแนวโน้มลดลงจากโคนสู่ปลาย เนื่องจากบริเวณโคนของลำต้นมีขนาดใหญ่ทำให้พื้นที่รับแรงเยอะ อีกทั้งมีความหนาแน่นของเส้นใยที่มากกว่า ซึ่งขนาดของเนื้อไม้และปริมาณเส้นใยจะลดลงจากโคนสู่ปลาย ส่งผลให้ค่าแรงกระทำสูงสุดในการทดสอบแรงอัดขนานเส้นมีค่าลดลงจากโคนสู่ปลายเช่นกัน

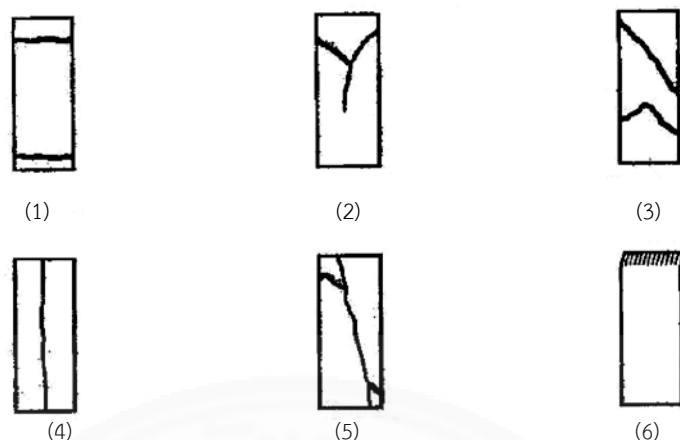


ภาพที่ 4.12 กำลังต้านทานแรงอัดขนานเส้นเฉลี่ยของไฟ

จากการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดขนานเสี้ยน ของไม้ทั้ง 5 สายพันธุ์ พบว่าไม้ตอง ไม้ชางหม่น และไม้สีสุกมีกำลังต้านทานแรงอัดขนานเสี้ยนเพิ่มขึ้นจากส่วนโคนไปยังส่วนปลายของลำ ต้น ทั้งนี้อาจจะมีสาเหตุมาจากลักษณะของหัวทดสอบที่ใช้ทดสอบความต้านทานแรงอัดซึ่งถูก ออกแบบให้สามารถปรับตัวเองได้แนบสนิทกับหน้าตัดของเนื้อไม้ โดยส่วนโคนของลำต้นของไม้ทั้ง 3 สายพันธุ์มีพื้นที่หน้าตัดขนาดใหญ่ ลักษณะของเนื้อไม้มีความหนาแน่นของเส้นใยบริเวณผิวภายนอก มากกว่าภายในของปล้องและแตกต่างกันอย่างชัดเจน เมื่อมีแรงกระทำในแนวขนานเสี้ยนเนื้อไม้ บริเวณภายในของปล้องซึ่งมีเส้นใยน้อยกว่าสามารถต้านแรงกระทำได้น้อยและเกิดการเสียรูปได้ มากกว่าบริเวณเนื้อไม้ภายนอก ทำให้สัดส่วนการเปลี่ยนแปลงของแรงกระทำและพื้นที่หน้าตัดไม้ สอดคล้องกัน เช่น ในไม้ตองส่วนโคนและส่วนปลายมีแรงกระทำสูงสุดลดลงครึ่งหนึ่ง แต่มีพื้นที่หน้าตัด ลดลงถึง 1 ใน 3 เป็นต้น เมื่อนำมาคำนวณประสิทธิภาพการรับแรงต่อพื้นที่หน้าตัดทำให้มีค่าน้อย กว่าในส่วนกลางและส่วนปลายของลำต้น ซึ่งมีการกระจายตัวของเส้นใยค่อนข้างสม่ำเสมอใน พื้นที่หน้าตัดที่ขนาดเล็กลง ทำให้การเสียรูปที่เกิดจากแรงกระทำในแนวขนานเสี้ยนเกิดขึ้นอย่าง สม่าเสมอบนพื้นที่หน้าตัดเดียวกัน

ไม้รวกที่มีค่าลดลงจากส่วนโคนสู่ส่วนปลายของลำต้นเป็นแนวโน้มเดียวกับกับ แรงกระทำสูงสุดที่บันทึกได้ และค่าประสิทธิภาพความต้านทานแรงอัดขนานเสี้ยนของไม้รวกในทั้ง 3 ส่วนของลำต้นเป็นค่าที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน คือมีค่าอยู่ในช่วง 389.40-448.14 กิโลกรัมต่อตาราง เซนติเมตร เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของแรงกระทำสูงสุดและขนาดของพื้นที่หน้าตัดมีสัดส่วนที่ ใกล้เคียงกัน

ไม้เลียงมีค่ากำลังต้านทานแรงอัดขนานเสี้ยนใกล้เคียงกันมากในส่วนกลางและ ส่วนปลายของลำต้น ซึ่งเป็นค่าที่สูงกว่าค่าที่ได้จากการทดสอบชิ้นตัวอย่างในส่วนโคนของลำต้นมาก แนวโน้มดังกล่าวเป็นไปในลักษณะเดียวกับไม้ตอง ไม้เลียง และไม้สีสุก แต่ต่างกันที่ส่วนกลางและส่วน ปลายของลำต้น ทั้งนี้อธิบายได้ว่าแรงกระทำสูงสุดที่วัดได้จากการทดสอบและพื้นที่หน้าตัดใน ส่วนกลางและส่วนปลายของลำต้นมีการเปลี่ยนแปลงที่ใกล้เคียงกัน ทำให้ประสิทธิภาพการรับแรงต่อ พื้นที่หน้าตัดใกล้เคียงกัน



ภาพที่ 4.13 ลักษณะการแตกหักของตัวอย่างไม้เนื่องจากแรงอัดขนานเสี้ยน จาก Standard test methods for small clear specimens of timber. ASTM D143-94 (น. 9), โดย American society for testing and material, 2000 อ้างถึงใน คู่มือการทดสอบเชิงกลของไม้ (น. 34), โดย มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์, สำนักวิชาวิศวกรรมวัสดุ, ม.ป.ป., ม.ป.ท.

เมื่อขึ้นตัวอย่างได้รับแรงกดในแนวขนานเสี้ยนจนเกิดการแตกหัก จะมีลักษณะการแตกหักเกิดขึ้นได้ 6 รูปแบบ ดังภาพที่ 4.13

(1) crushing (รอยแตกแบบบดขยี้) : ขึ้นตัวอย่างทดสอบเสียรูปด้วยแรงอัด โดยตัวอย่างทดสอบจะมีรอยแตกในแนวขนานเสี้ยน และเนื้อไม้มีการยุบตัวเป็นแนวขนานหรือเกือบจะขนานกับหน้าตัด

(2) wedge split (รอยแตกรูปลิ้ม) : ขึ้นตัวอย่างทดสอบเสียรูปด้วยแรงเฉือนและการแตกตามเสี้ยน โดยตัวอย่างทดสอบจะการยุบตัว และมีรอยแตกลักษณะคล้ายรูปลิ้ม

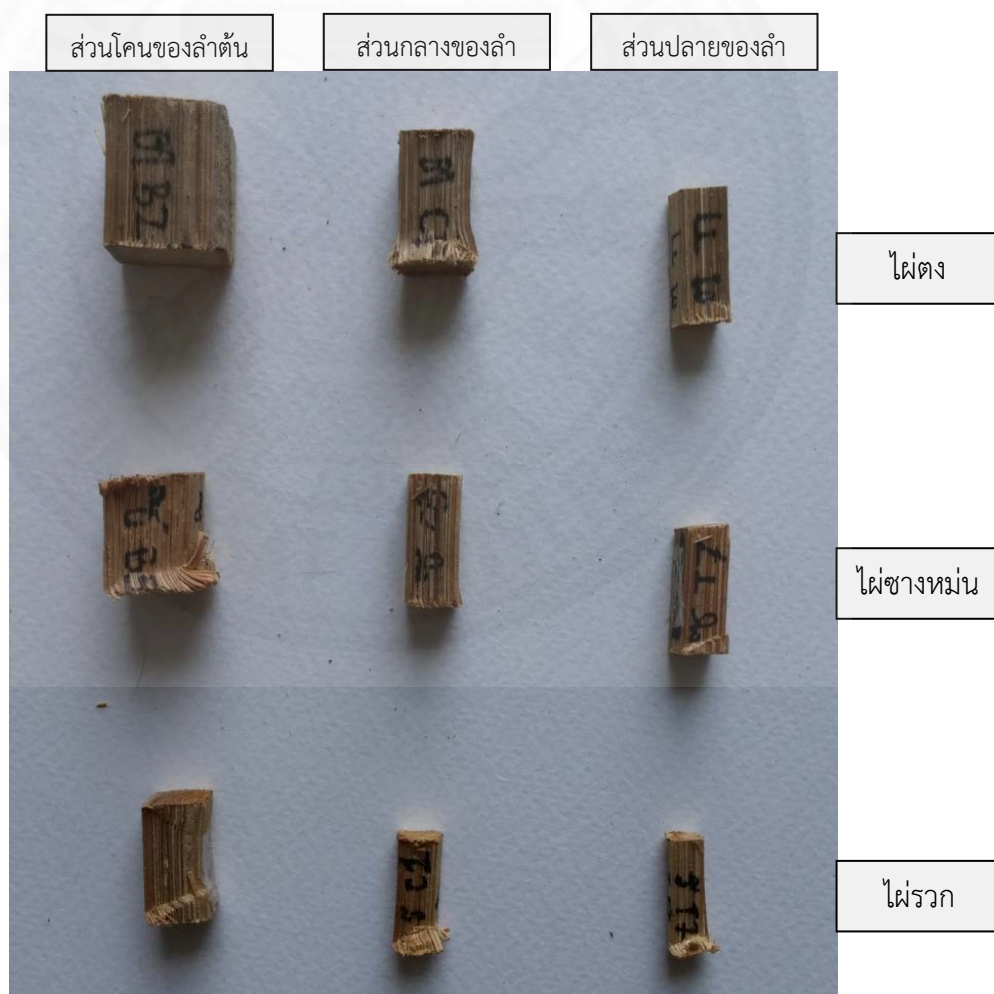
(3) shearing (รอยแตกแบบแรงเฉือน) : ขึ้นตัวอย่างทดสอบเสียรูปด้วยแรงอัด โดยเนื้อไม้มีการยุบตัวทำมุมกับหน้าตัดเกิน 45° เป็นการวิบัติเนื่องจากแรงอัดของไม้ที่มีความต้านทานแรงเฉือนในแนวขนานเสี้ยนต่ำ

(4) splitting (รอยแตกแบบฉีกปลาย) : ขึ้นตัวอย่างทดสอบเสียรูปเนื่องจากไม้ที่ทำการทดสอบมีตำหนิมาก่อน หรือไม้ดังกล่าวมีความชื้นน้อยเกินไป ทำให้ขึ้นตัวอย่างแตกตามแนวเสี้ยนตลอดตามแนวความยาวของขึ้นตัวอย่างทดสอบ

(5) compression and shearing parallel to grain (รอยแตกแบบแรงอัดและรอยแตกแบบแรงเฉือนขนานเสี้ยน) : ขึ้นตัวอย่างทดสอบเสียรูปด้วยแรงอัดและแรงเฉือนขนานเสี้ยน โดยร่องรอยการแตกจะปรากฏในแนวขวางเสี้ยน เนื่องจากขึ้นตัวอย่างที่ใช้ทดสอบมีเสี้ยนในแนวขวาง ทำให้ค่าที่ได้จากการทดสอบดังกล่าวมีความคลาดเคลื่อนหรือผิดพลาด

(6) brooming or end rolling (รอยแตกแบบแยกปลาย) : ชิ้นตัวอย่างทดสอบเสียรูปเนื่องจากส่วนปลายของเนื้อไม้มีความชื้นมากเกินไปหรือการตัดเตรียมชิ้นไม้อย่างไม่ดีพอ ส่งผลให้ค่าที่ทดสอบได้จากชิ้นตัวอย่างดังกล่าวมีค่าต่ำกว่าความเป็นจริง

จากการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดขนานเส้นของไม้ทั้ง 5 สายพันธุ์ พบว่ารูปแบบของการเสียรูปหรือการวิบัติของชิ้นตัวอย่างทดสอบจะเป็นไปในลักษณะของรูปแบบที่ (3) shearing คือรอยแตกแบบแรงเฉือน ซึ่งเนื้อไม้มีการยุบตัวทำมุมกับหน้าตัดเกิน 45° โดยมีการยุบตัวบริเวณเนื้อไม้ด้านในมากกว่าเนื้อไม้ด้านนอก และสามารถมองเห็นความแตกต่างของการยุบตัวได้อย่างชัดเจน ทั้งนี้เนื่องมาจากเนื้อไม้ด้านนอกมีการเรียงตัวของเส้นใยที่หนาแน่นกว่าเนื้อไม้ด้านในมาก ทำให้มีความแข็งแรงมากกว่าและเกิดการเสียรูปได้ยากกว่า การเสียรูปดังกล่าวเกิดขึ้นกับไม้ที่มีความต้านทานแรงเฉือนในแนวขนานเส้นต่ำเช่นเดียวกับไม้



ภาพที่ 4.14 ลักษณะการเสียรูปของชิ้นตัวอย่างทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดขนานเส้นของไม้

4.1.4 ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดตั้งฉากเสี้ยน

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและกำลังต้านทานแรงอัดตั้งฉากเสี้ยนของไม้ ประกอบด้วย ค่าแรงกระทำสูงสุด และค่ากำลังต้านทานแรงอัดในแนวตั้งฉากเสี้ยน โดยทำการทดสอบจาก 3 ส่วนของลำต้นของไม้ทั้ง 5 สายพันธุ์ ส่วนละ 5 ชิ้น บันทึกผลตั้งภาคผนวก ค. เพื่อหาค่าเฉลี่ยของแต่ละช่วงของลำต้นไม้ทั้ง 5 สายพันธุ์ และดูแนวโน้มค่าเฉลี่ยของผลการทดสอบแต่ละช่วงของลำต้นไม้ และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของผลการทดสอบไม้ต่างสายพันธุ์ ได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4

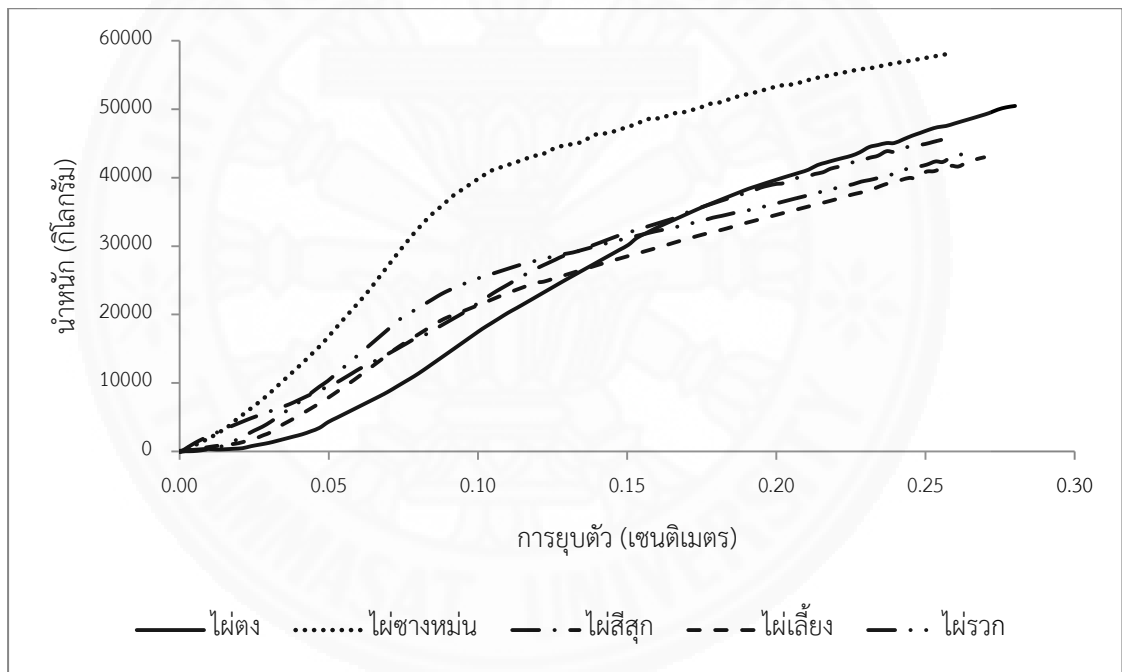
ค่าเฉลี่ยของกำลังต้านทานแรงอัดตั้งฉากเสี้ยนของไม้

ตัวอย่างทดสอบ		แรงกระทำสูงสุด (กิโลกรัม)	ความต้านทานแรงอัดตั้งฉากเสี้ยน (กก./ตร.ซม.)
ไม้ตง	ส่วนโคน	27,159.80	74.29
	ส่วนกลาง	17,080.80	83.61
	ส่วนปลาย	16,961.00	119.29
ค่าเฉลี่ย		20,400.53	92.40
ไม้ช่างหม่น	ส่วนโคน	18,058.00	72.93
	ส่วนกลาง	8,586.46	47.49
	ส่วนปลาย	4,673.96	33.16
ค่าเฉลี่ย		10,439.47	51.19
ไม้สีสุก	ส่วนโคน	15,737.40	54.87
	ส่วนกลาง	7,653.46	50.41
	ส่วนปลาย	3,962.62	38.76
ค่าเฉลี่ย		9,117.83	48.01
ไม้เลียง	ส่วนโคน	19,548.20	72.35
	ส่วนกลาง	7,867.48	60.61
	ส่วนปลาย	2,515.00	26.92
ค่าเฉลี่ย		9,976.89	53.29

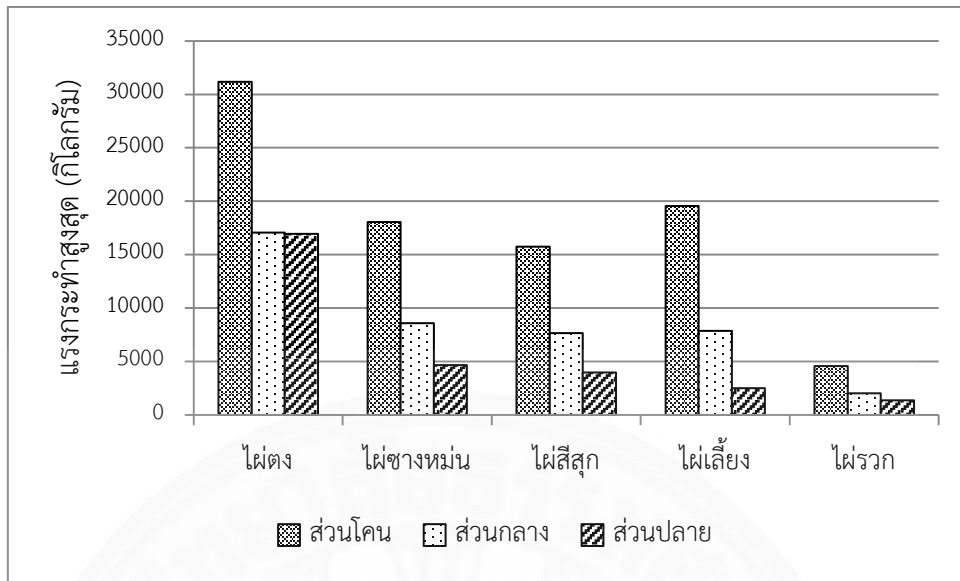
ตารางที่ 4.4 (ต่อ)

ค่าเฉลี่ยของกำลังต้านทานแรงอัดตั้งฉากเสี้ยนของไม้

ตัวอย่างทดสอบ		แรงกระทำสูงสุด (กิโลกรัม)	ความต้านทานแรงอัดตั้งฉากเสี้ยน (กก./ตร.ซม.)
ไม้รวก	ส่วนโคน	4,580.54	24.58
	ส่วนกลาง	2,018.58	17.06
	ส่วนปลาย	1,370.64	15.34
ค่าเฉลี่ย		2,656.59	18.99

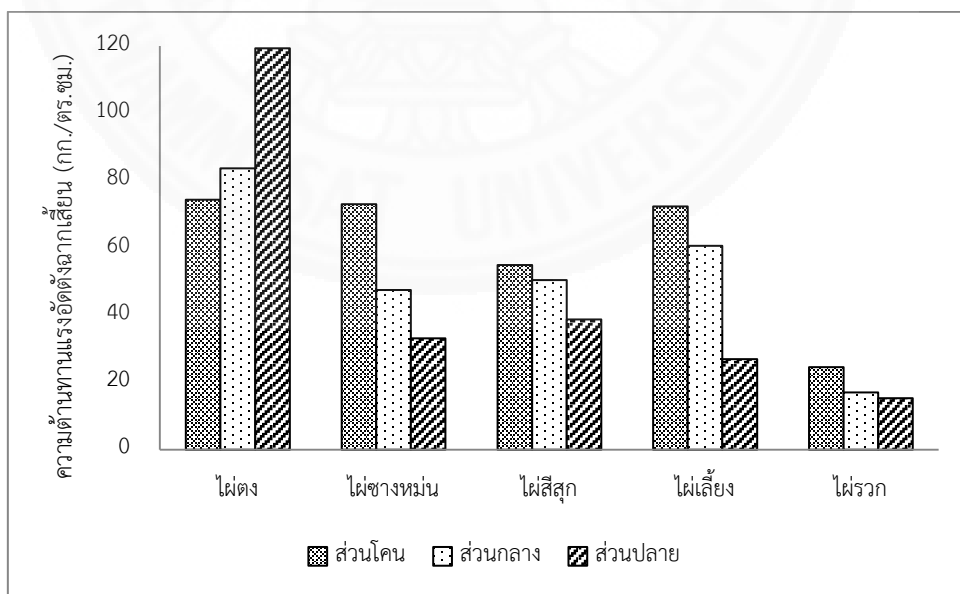


ภาพที่ 4.15 กราฟการทรุดตัวของฐานรองรับจากการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดตั้งฉากเสี้ยนของไม้ส่วนโคน



ภาพที่ 4.16 ค่าแรงกระทำสูงสุดเฉลี่ยจากการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดตั้งฉากเสี้ยน

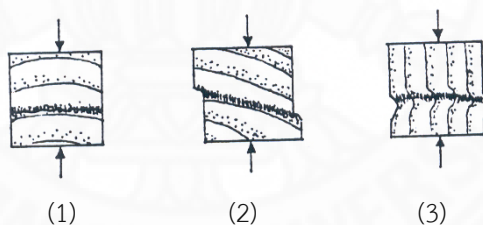
แรงกระทำสูงสุดที่บันทึกได้จากการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดตั้งฉากเสี้ยนของไฟทั้ง 5 สายพันธุ์ มีแนวโน้มลดลงจากโคนสู่ปลายเช่นเดียวกับการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดขนานเสี้ยน เนื่องารลดขนาดของพื้นที่รับแรงและความหนาแน่นของเส้นใยส่งผลต่อการลดลงของแรงกระทำสูงสุดที่สามารถต้านทานได้



ภาพที่ 4.17 กำลังต้านทานแรงอัดตั้งฉากเฉลี่ยของไฟ

กำลังต้านทานแรงอัดตั้งฉากเสี้ยนของไผ่ตงมีค่าแปรปรวนมาก มีค่าอยู่ในช่วง 4.57-28.30 เมกะพาสคัล ที่ความชื้นเฉลี่ย 8.25% และความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย 0.767 ผลการทดสอบ บ่งบอกว่าตำแหน่งของปล้องมีผลต่อประสิทธิภาพการรับแรง คือมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจาก โคนสู่ปลาย ไผ่ตงปล้องที่ 3 มีค่ากำลังต้านทานแรงอัดตั้งฉากเสี้ยนน้อยกว่าปล้องอื่น ๆ เนื่องจากมีค่า ความถ่วงจำเพาะที่ต่ำกว่า เมื่อความถ่วงจำเพาะเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพการรับแรงเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างภายใน (Pannipa Malanit, 2009, p.39)

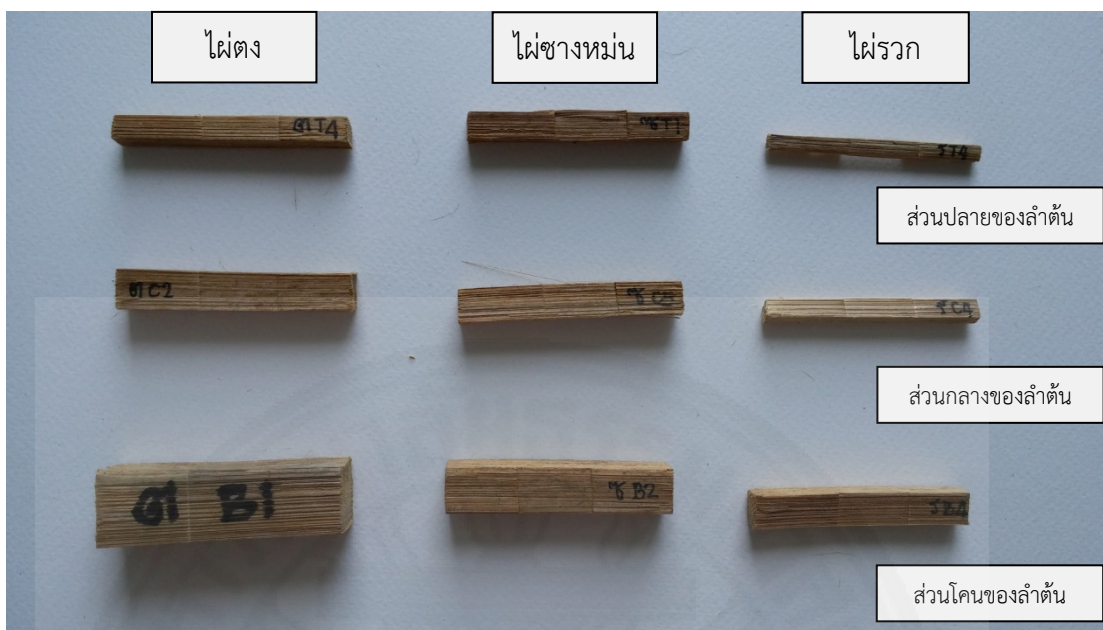
จากการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดตั้งฉากเสี้ยนของไผ่ทั้ง 5 สายพันธุ์ พบว่ามีเพียงไผ่ตงที่มีค่าเพิ่มขึ้นจากส่วนโคนสู่ส่วนปลายของลำต้นเช่นเดียวกับแรงกระทำสูงสุด และมีค่า ค่อนข้างสูงมากในส่วนโคนของลำต้น สอดคล้องกับแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าความถ่วงจำเพาะ ไผ่ชางหม่น ไผ่สีสุก ไผ่เลี้ยง และไผ่รวกมีค่าลดลงจากส่วนโคนไปยังส่วนปลายของลำต้นเป็นแนวโน้ม เดียวกันกับแรงกระทำสูงสุดที่บันทึกได้ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของแรงกระทำสูงสุดและขนาดของ พื้นที่หน้าตัดมีสัดส่วนที่ใกล้เคียงกัน กำลังต้านทานแรงอัดตั้งฉากเสี้ยนมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกันในไผ่ รวก ซึ่งค่ากำลังต้านทานแรงอัดตั้งฉากเสี้ยนของไผ่รวกทั้งสามส่วนเมื่อเปรียบเทียบกับไผ่ชนิดอื่นแล้ว จัดได้ว่าเป็นค่าที่ต่ำกว่ามาก แต่เป็นค่าที่ใกล้เคียงกับกำลังต้านทานแรงอัดตั้งฉากเสี้ยนในส่วนโคนของ ไผ่เลี้ยง ทั้งนี้อาจจะเนื่องมาจากไผ่รวกเป็นไผ่ที่มีขนาดเล็กและมีเส้นใยน้อยกว่าไผ่ชนิดอื่น ๆ



ภาพที่ 4.18 ลักษณะการแตกหักของตัวอย่างไม้เนื่องจากแรงอัดตั้งฉากเสี้ยน จาก คู่มือการทดสอบ เชิงกลของไม้ (น. 36), โดย มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์, สำนักวิชาวิศวกรรมวัสดุ, ม.ป.ป., ม.ป.ท.

เมื่อขึ้นตัวอย่างได้รับแรงกดในแนวตั้งฉากเสี้ยนจนเกิดการแตกหัก จะมีลักษณะ การแตกหักเกิดขึ้นได้ 3 รูปแบบ ดังภาพที่ 4.18

- (1) ขึ้นตัวอย่างทดสอบเสียรูปด้วยแรงอัดที่กระทำในแนวตั้งฉากกับวงปี
- (2) ขึ้นตัวอย่างทดสอบเสียรูปด้วยแรงอัดที่แรงกระทำในระนาบที่ทำมุมกับวงปี ขึ้นตัวอย่างจะเกิดการยุบตัวแบบเฉือน
- (3) ขึ้นตัวอย่างทดสอบเสียรูปด้วยแรงอัดที่กระทำในแนวเดียวกับวงปี ขึ้น ตัวอย่างจะยุบตัวเนื่องจากการโก่งของวงปี



ภาพที่ 4.19 ลักษณะการเสียรูปของซิ่นตัวอย่างทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดตั้งฉากเสี้ยนของไผ่

จากการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดตั้งฉากเสี้ยนของไผ่ทั้ง 5 สายพันธุ์ พบว่ารูปแบบของการเสียรูปหรือการวิบัติของซิ่นตัวอย่างทดสอบจะเป็นไปในลักษณะของรูปแบบที่ (3) คือ ซิ่นตัวอย่างทดสอบเสียรูปด้วยแรงอัดที่กระทำในแนวเดียวกับวงปี ซิ่นตัวอย่างจะยุบตัวเนื่องจากการโค้งของวงปี แต่ไผ่ไม่มีวงปี ดังนั้นการเสียรูปของตัวอย่างทดสอบเกิดการยุบตัวเนื่องจากการโค้งของเส้นใยภายในเนื้อไม้ ในการทดสอบจะกดหัวทดสอบลงในแนวเดียวกับแนวตั้งฉากกับเส้นใย ทำให้ซิ่นตัวอย่างมีบริเวณที่โดยแผ่นเหล็กกดทับมีการยุบตัวและโค้งตัวออกทางด้านข้างทั้ง 2 ข้าง เนื่องจากแรงอัด

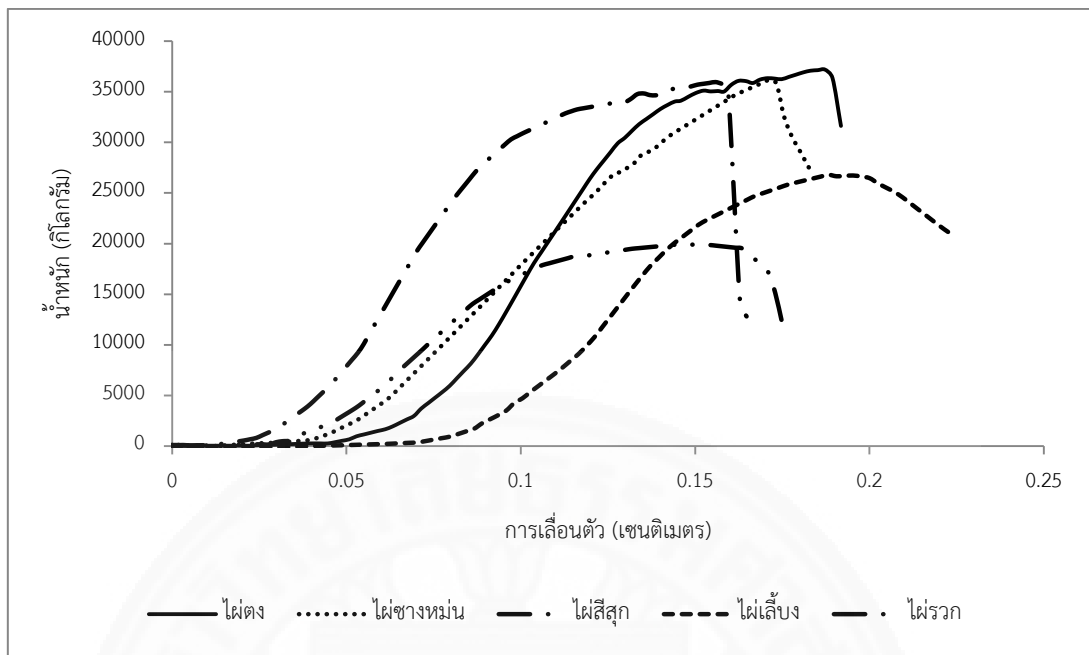
4.1.5 ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงเฉือนขนานเสี้ยน

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและกำลังต้านทานแรงเฉือนขนานเสี้ยนของไผ่ ประกอบด้วย ค่าแรงกระทำสูงสุด และค่ากำลังต้านทานแรงเฉือนในแนวขนานเสี้ยน โดยทำการทดสอบจาก 3 ส่วนของลำต้นของไผ่ทั้ง 5 สายพันธุ์ ส่วนละ 5 ซิ่น บันทึกผลดังภาคผนวก จ. เพื่อหาค่าเฉลี่ยของแต่ละช่วงของลำต้นไผ่ทั้ง 5 สายพันธุ์ และดูแนวโน้มค่าเฉลี่ยของผลการทดสอบแต่ละช่วงของลำต้นไผ่ และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของผลการทดสอบไผ่ต่างสายพันธุ์ ได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.5

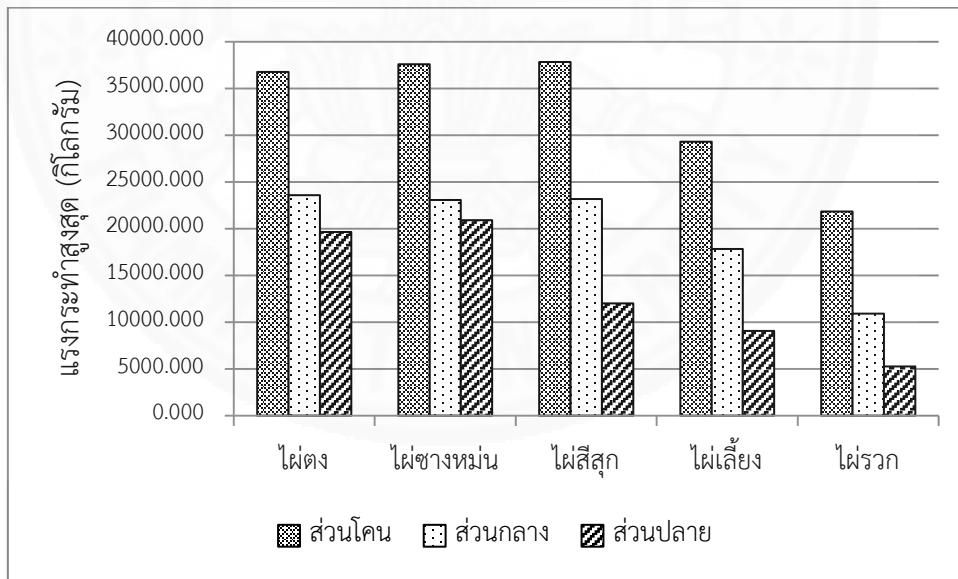
ตารางที่ 4.5

ค่าเฉลี่ยของกำลังต้านทานแรงเฉือนขนานเสี้ยนของไม้

ตัวอย่างทดสอบ		แรงกระทำสูงสุด (กิโลกรัม)	ความต้านทานแรงเฉือนขนานเสี้ยน (กก./ตร.ซม.)
ไม้ตง	ส่วนโคน	36,759.62	97.96
	ส่วนกลาง	23,584.04	114.17
	ส่วนปลาย	19,653.16	132.96
ค่าเฉลี่ย		26,665.61	115.03
ไม้ช่างหม่น	ส่วนโคน	37,606.25	140.03
	ส่วนกลาง	23,071.46	130.25
	ส่วนปลาย	20,915.87	146.34
ค่าเฉลี่ย		23,864.53	138.87
ไม้สีสุก	ส่วนโคน	37,830.78	130.93
	ส่วนกลาง	23,161.72	140.91
	ส่วนปลาย	12,016.21	111.79
ค่าเฉลี่ย		24,336.24	127.88
ไม้เลี้ยว	ส่วนโคน	29,297.07	114.55
	ส่วนกลาง	17,830.62	125.08
	ส่วนปลาย	9,080.03	99.17
ค่าเฉลี่ย		18,735.91	112.93
ไม้รวก	ส่วนโคน	21,823.15	113.31
	ส่วนกลาง	10,913.78	88.35
	ส่วนปลาย	5,272.35	53.14
ค่าเฉลี่ย		12,669.76	84.94



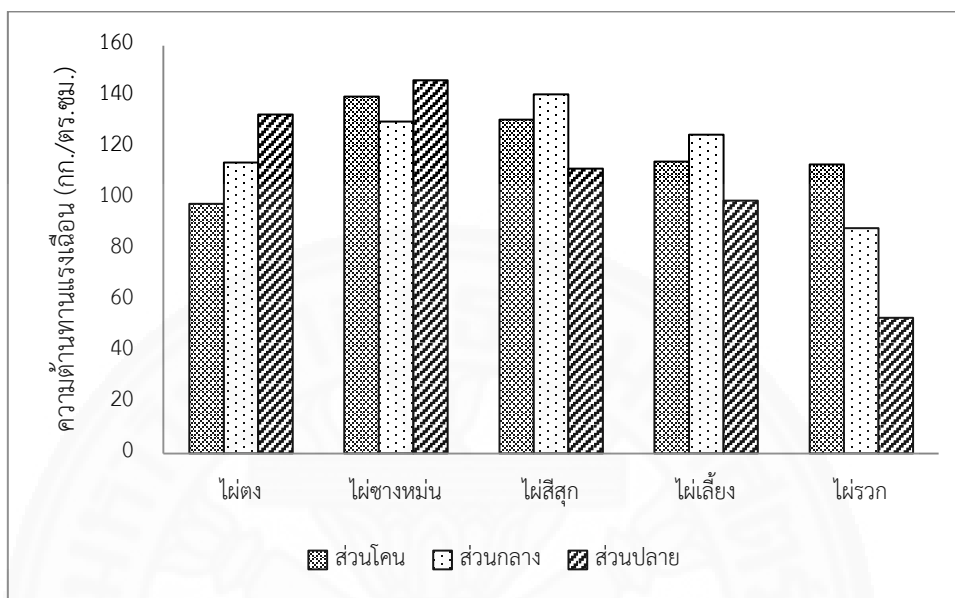
ภาพที่ 4.20 กราฟการดูดตัวของฐานรองรับจากการทดสอบกำลังต้านทานแรงเฉือนขนานเส้นใยของฝ้ายส่วนโคน



ภาพที่ 4.21 ค่าแรงกระทำสูงสุดเฉลี่ยจากการทดสอบกำลังต้านทานแรงเฉือนขนานเส้นใย

แรงกระทำสูงสุดที่บันทึกได้จากการทดสอบกำลังต้านทานแรงเฉือนขนานเส้นใยของฝ้ายทั้ง 5 สายพันธุ์ มีแนวโน้มลดลงจากโคนสู่ปลาย เนื่องจากในส่วนโคนมีเนื้อไม้หนาและมีเส้นใยที่หนาแน่น ทำให้สามารถต้านทานแรงเฉือนในแนวขนานเส้นใยได้ดีกว่าส่วนกลางและส่วนปลาย

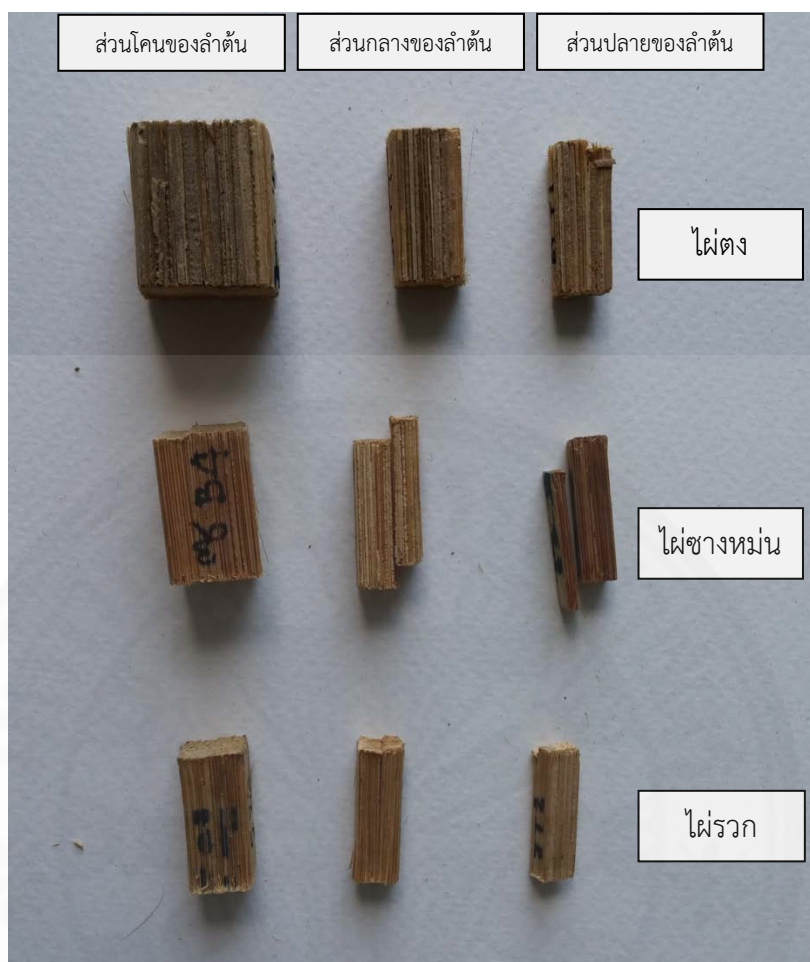
ค่อนข้างมาก เนื่องจากเส้นใยภายในเนื้อไม้ของไม้เป็นตัวประสานเนื้อไม้ภายในให้ติดกัน การที่เส้นใยมีความหนาแน่นมากทำให้ชิ้นตัวอย่างขาดออกจากกันได้ยากกว่า



ภาพที่ 4.22 กำลังต้านทานแรงเฉือนขนานเส้นใยของไม้

“กำลังต้านทานแรงเฉือนของไม้ตงมีค่าคงที่ตลอดทุกตำแหน่งของลำต้น ไม่ได้ขึ้นอยู่กับค่าความถ่วงจำเพาะ” (Pannipa Malanit, 2009, p.39) จากการทดสอบกำลังต้านทานแรงเฉือนขนานเส้นใยของไม้ทั้ง 5 สายพันธุ์ พบว่าไม้ตงมีค่าความต้านทานแรงเฉือนเพิ่มขึ้นจากส่วนโคนสู่ส่วนปลายของลำต้น เช่นเดียวกับกำลังต้านทานแรงอัดในแนวขนานและตั้งฉากเส้นใย ซึ่งต่างจากไม้รวกที่มีค่าลดลงจากส่วนโคนไปยังส่วนปลายของลำต้น แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงกำลังต้านทานแรงเฉือนขนานเส้นใยของไม้ตงและไม้รวกเป็นแนวโน้มเดียวกับค่าความถ่วงจำเพาะ

ในไม้ช่างหม่น ไม้สีสุก และไม้รวกมีค่ากำลังต้านทานแรงเฉือนขนานเส้นใยที่ไม่สามารถบอกแนวโน้มได้ แต่มีค่าไม่ต่างกันมากนัก เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของขนาดพื้นที่หน้าตัดที่รับแรงมีสัดส่วนที่ใกล้เคียงกันกับการเปลี่ยนแปลงของแรงกระทำสูงสุด



ภาพที่ 4.23 ลักษณะการเสียรูปของชิ้นตัวอย่างทดสอบกำลังต้านทานแรงเฉือนขนานเสี้ยนของไผ่

การวิบัติของชิ้นตัวอย่างในการทดสอบกำลังต้านทานแรงเฉือนสามารถแบ่งออกเป็น 3 ลักษณะ คือ เมื่อแรงกระทำในแนวระนาบซึ่งเป็นแนวขนานกับเส้นใย ชิ้นตัวอย่างจะเลื่อนไถลตามแนวของเส้นใยภายในเนื้อไม้ สำหรับกรณีที่แรงกระทำในแนวตั้งฉากกับเส้นใย ไม้จะเลื่อนไถลตามแนวระนาบทั้งสองแนว ซึ่งมีประสิทธิภาพในการรับแรงเฉือนได้สูง และสำหรับกรณีที่แรงกระทำในระนาบที่ทำมุมกับเส้นใย ชิ้นตัวอย่างจะเลื่อนไถลออกจากกันโดยมีพฤติกรรมในการวิบัติและความแข็งแรงอยู่ระหว่างทั้งสองกรณีที่กล่าวข้างต้น

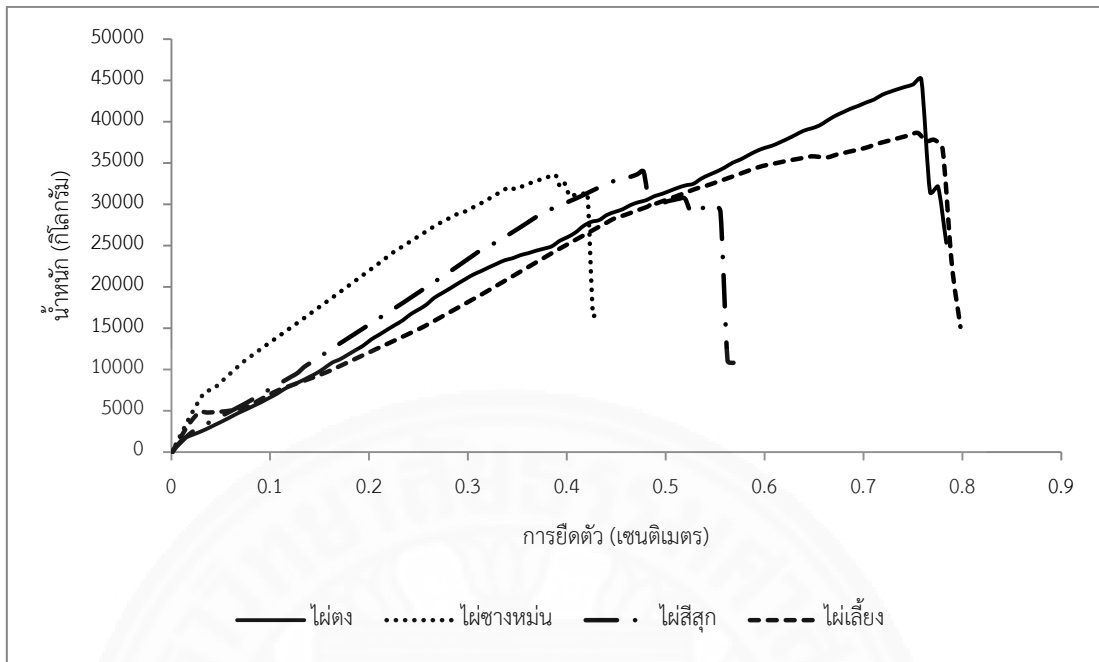
จากการทดสอบกำลังต้านทานแรงเฉือนขนานเสี้ยนของไผ่ทั้ง 5 สายพันธุ์ พบว่ารูปแบบของการเสียรูปหรือการวิบัติของชิ้นตัวอย่างทดสอบขึ้นอยู่กับแรงที่กระทำต่อเส้นใย เช่นเดียวกับการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดตั้งฉากเสี้ยน ซึ่งเป็นแรงกระทำในแนวขนานกับเส้นใยของไม้ตัวอย่างทดสอบ ทำให้ชิ้นตัวอย่างจะเลื่อนไถลตามแนวเนื้อไม้ ชิ้นตัวอย่างทดสอบบางชิ้นเกิดการเลื่อนไถลตามเนื้อไม้จนขาดออกจากกัน เนื่องจากแรงที่กระทำกระทำในแนวขนานกับเส้นใยของเนื้อไม้ ทำให้ชิ้นตัวอย่างทดสอบเกิดการเสียรูปได้ง่ายในเวลาที่ไม่ยาวนานนัก

4.1.6 ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงดึงขนานเสี้ยน

ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงดึงขนานเสี้ยนของไม้ประกอบด้วย ผลจากการหาค่าพื้นที่รับแรงดึงในแนวขนานเสี้ยน แรงกระทำสูงสุด และค่ากำลังต้านทานแรงดึงในแนวขนานเสี้ยน โดยทำการทดสอบจาก 2 ส่วนของลำต้นของไม้ คือ ส่วนโคนของลำต้น และส่วนกลางของลำต้น ของไม้ 2 สายพันธุ์ คือ ไม้ตง และไม้ซางหม่น ทำการทดสอบจากส่วนโคนของลำต้น ของไม้ 2 สายพันธุ์ คือ ไม้สีสุก และไม้เลี้ยง ส่วนละ 3 ชิ้น บันทึกผลดังภาคผนวก ฉ.

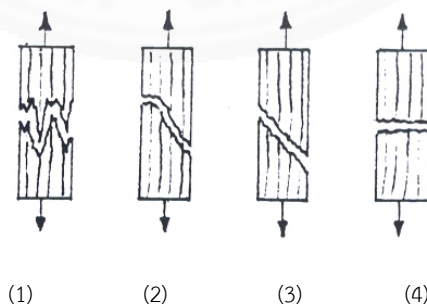
การทดสอบเป็นการทดสอบในส่วนของเนื้อไม้ คือ ชิ้นตัวอย่างจะถูกเอาผิวภายนอกและผิวภายในของออก ซึ่งขนาดและรูปร่างจะแปรผันตามความหนาของเนื้อไม้ ในกรณีที่เนื้อไม้บางมาก ชิ้นตัวอย่างก็ต้องปรับขนาดให้เท่ากับขนาดที่เล็กที่สุดที่สามารถทำการทดสอบได้ด้วยเครื่องทดสอบสากล ซึ่งการทดสอบกำลังต้านทานแรงดึงไม่สามารถทำการทดสอบกับไม้ขนาดเล็กที่มีความหนาของเนื้อไม้น้อย ๆ เช่น ชิ้นตัวอย่างจากส่วนกลางของไม้สีสุกและไม้เลี้ยง และไม้รวกได้ รวมถึงชิ้นตัวอย่างจากส่วนปลายของไม้ทั้ง 5 สายพันธุ์ เนื่องจากชิ้นตัวอย่างมีขนาดเล็กจนไม่สามารถทำการทดสอบได้ และไม่สามารถเตรียมตัวอย่างทดสอบให้มีขนาดใหญ่ขึ้นได้อีกเช่นกัน เพราะไม้เป็นวัสดุทางธรรมชาติจึงมีขีดจำกัดในตัวของวัสดุ

คุณสมบัติกำลังต้านทานแรงดึงขนานเสี้ยนเป็นคุณสมบัติทางกลที่สูงที่สุดของไม้ ซึ่งการทดสอบกำลังต้านทานแรงดึงโดยการดึงไม้ที่มีเสี้ยนตรงและปลอดภัยในทิศทางที่ขนานกับเสี้ยนเพื่อให้ไม้ขาดออกเป็นสองส่วนจึงทำได้ยาก เพราะชิ้นตัวอย่างทดสอบจะเกิดการฉีกขาดหรือรูดหลุดตรงบริเวณที่จับก่อนที่จะถึงจุดวิบัติ หากต้องการดึงชิ้นตัวอย่างทดสอบให้ขาดออกจากกัน จำเป็นต้องดัดแปลงตัวอย่างไม้ให้คอดตรงกลาง ซึ่งค่อนข้างมีความยากในการเตรียมชิ้นตัวอย่างสำหรับทำการทดสอบ ส่งผลให้ข้อมูลของคุณสมบัติความต้านทานแรงดึงขนานเสี้ยนของไม้มีเผยแพร่ น้อย แต่การเตรียมตัวอย่างไม้ให้คอดตรงกลางก็ไม่เหมาะสมกับพืชใบเลี้ยงเดี่ยวมากนัก เนื่องจากชิ้นตัวอย่างทดสอบจะหลุดออกตรงบริเวณที่จับขณะทำการทดสอบ ทำให้ชิ้นตัวอย่างทดสอบไม่ได้ขาดตรงส่วนคอด และเนื้อไม้ส่วนนอกยังคงติดอยู่กับหัวจับ แต่เนื้อไม้ส่วนในที่เป็นส่วนต่อเนื่องกับส่วนคอดจะรูดหลุดเหลือเป็นช่องโหว่อยู่ตรงกลางของเนื้อไม้บริเวณที่หัวจับ ที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าพืชใบเลี้ยงเดี่ยวมีความแข็งแรงในการต้านแรงดึงขนานเสี้ยนได้สูงมาก แต่มีความแข็งแรงในการรับแรงเฉือนขนานเสี้ยนได้ต่ำ ดังนั้นการทดสอบกำลังต้านทานแรงดึงขนานเสี้ยนของพืชใบเลี้ยงเดี่ยว เช่น ไม้ปาล์ม จึงต้องมีการดัดแปลงชิ้นตัวอย่างทดสอบใหม่ให้เหมาะสม



ภาพที่ 4.24 กราฟการดูดตัวของฐานรองรับจากการทดสอบกำลังต้านทานแรงดึงขนานเส้นใยของไม้ส่วนโคน

โดยทั่วไปไม้ที่ถูกดึงจะขาดใน 4 ลักษณะ ซึ่งถ้าเนื้อไม้ที่ประกอบด้วยเซลล์ผนังหนาจะขาดตรงบริเวณรอยต่อระหว่างเซลล์ (middle lamella) โดยขึ้นตัวอย่างทดสอบจะรับตีด้วยแรงดึงและแรงเฉือน ส่วนเนื้อไม้ที่มีผนังเซลล์บางจะขาดตัดกลางเซลล์ เช่นเดียวกับไม้เปราะหรือไม้ที่ถูกเห็ดราทำลาย เนื่องจากผนังเซลล์มีความหนาน้อยหรือโมเลกุลของเซลล์ถูกละลายทำให้ขาดเป็นส่วนบางส่วน ดังแสดงในภาพที่ 4.25



ภาพที่ 4.25 ลักษณะการแตกหักของตัวอย่างไม้เนื่องจากแรงดึงขนานเส้นใย จาก Standard test methods for small clear specimens of timber. ASTM D143-94 (น. 23), โดย American society for testing and material, 2000 อ้างถึงใน คู่มือการทดสอบเชิงกลของไม้ (น. 44-45), โดย มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์, สำนักวิชาวิศวกรรมวัสดุ, ม.ป.ป., ม.ป.ท.

จากการทดสอบกำลังต้านทานแรงดึงขนานเส้นของไม้ทั้ง 5 สายพันธุ์ พบว่ารูปแบบของการเสียรูปหรือการวิบัติของชิ้นตัวอย่างทดสอบเป็นไปในรูปแบบที่ (1) โดยชิ้นตัวอย่างทดสอบจะเสียรูปเนื่องจากแรงดึงและแรงเฉือนจนทำให้ชิ้นตัวอย่างขาดออกจากกันเป็นสองส่วน



ภาพที่ 4.26 ลักษณะการเสียรูปของชิ้นตัวอย่างทดสอบกำลังต้านทานแรงดึงขนานเส้นของไม้



ภาพที่ 4.27 ลักษณะของชิ้นตัวอย่างทดสอบกำลังต้านทานแรงดึงขนานเส้นของไม้ที่เกิดการฉีกขาดหรือรูดหลุดบริเวณที่จับก่อนจะถึงจุดวิบัติ

- (1) ชิ้นตัวอย่างทดสอบฉีกขาดในบริเวณใกล้ตำแหน่งของที่จับ
- (2) ชิ้นตัวอย่างทดสอบรูดหลุดออกจากที่จับก่อนถึงจุดวิบัติ และชิ้นตัวอย่างมีการบิดตัวเนื่องจากแรงดึงในการทดสอบร่วมกับการบีบของที่จับขณะทำการทดสอบ
- (3) ชิ้นตัวอย่างทดสอบรูดหลุดออกจากที่จับก่อนถึงจุดวิบัติ

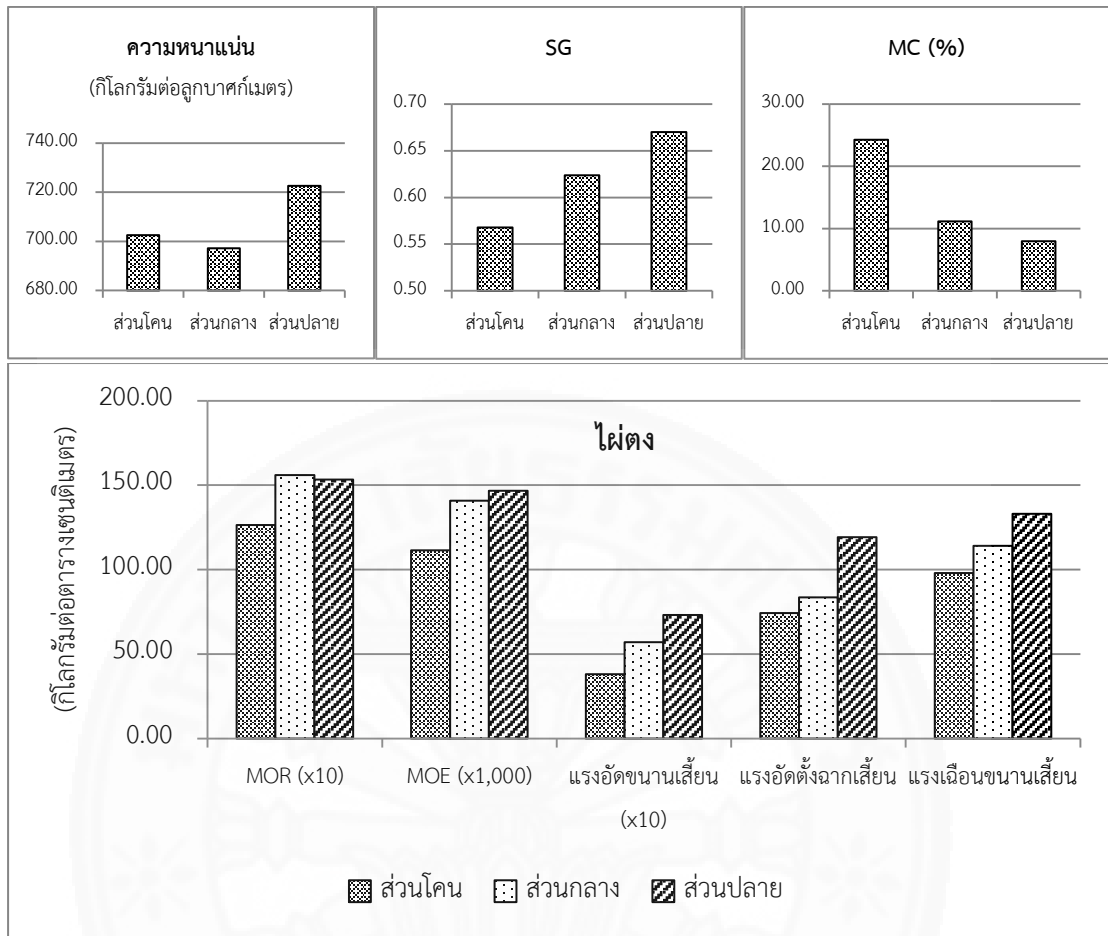
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไฟ

ความรู้ในการเก็บเกี่ยวไฟอย่างเหมาะสมยังคงขาดแคลนในมาเลเซีย ไฟถูกเก็บเกี่ยวด้วยวิธีปกติซึ่งไม่สามารถตอบสนองต่อการนำไปใช้งานได้และมีการสูญเสียในกระบวนการเก็บเกี่ยวสูง เนื่องจากไฟจะมีประสิทธิภาพน้อยลง แตก หัก และเสียหายได้ง่ายในกรณีที่มีค่าความชื้นสูง รวมถึงการไม่ทราบอายุของไฟ และสายพันธุ์ไฟที่ไม่เหมาะสม (Mohmod et al., n.d., p. 51)

ความแข็งแรงของไฟขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ อายุ ความชื้น ความถ่วงจำเพาะ และตำแหน่งของลำต้น ควรทำไฟให้แห้งและมีค่าความชื้นที่เหมาะสมกับการใช้งาน เพราะว่าเมื่อน้ำภายในระหว่างเซลล์หายไป ผนังเซลล์ก็จะแห้ง ทำให้ไฟมีความแข็งแรงมากขึ้น เมื่อไฟมีอายุมากขึ้นความแข็งแรงก็เพิ่มขึ้นเช่นกัน เนื่องจากไฟเจริญเติบโตเต็มที่ที่อายุ 3 ปี ซึ่งเป็นเวลาที่ไฟมีความแข็งแรงสูงสุด

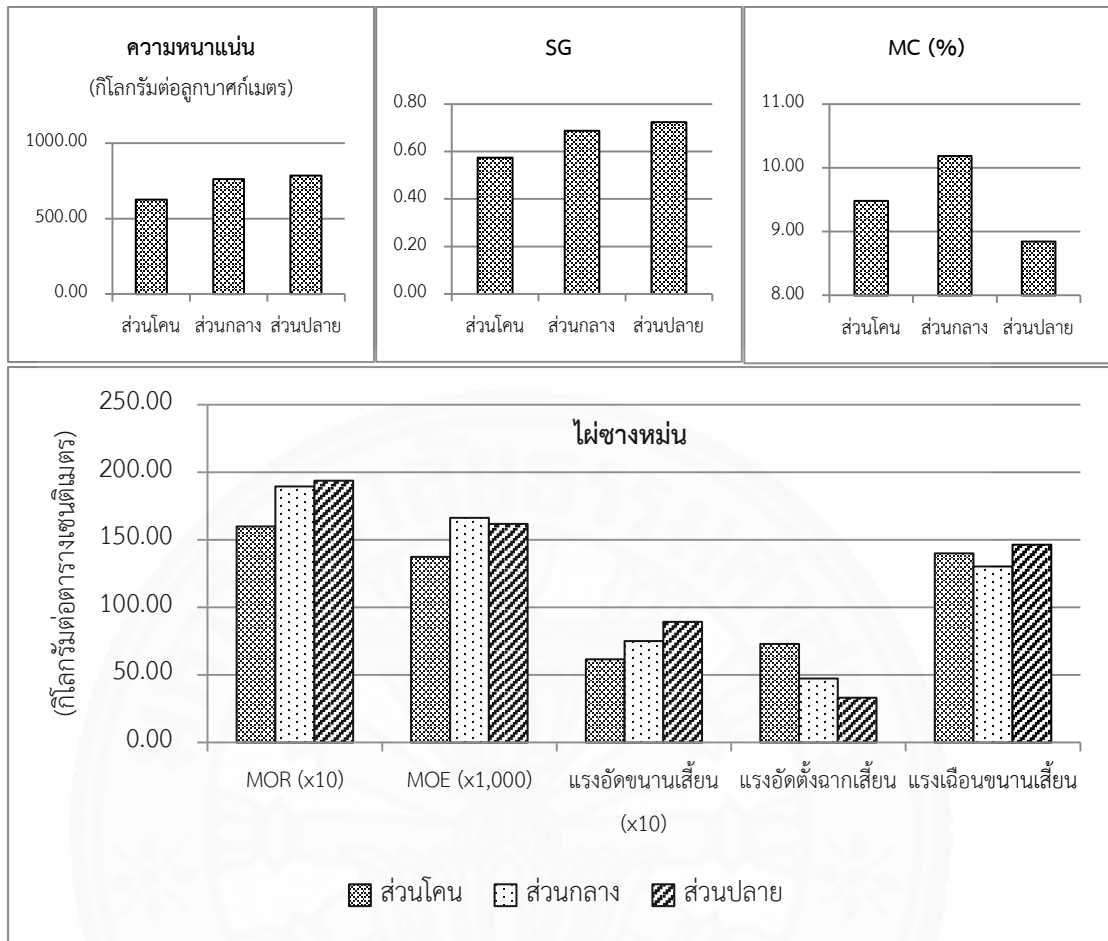
โมดูลัสการแตกร้าวขึ้นอยู่กับความหนาของเนื้อไม้ กำลังต้านทานแรงเฉือน กำลังต้านทานแรงอัดขนานเสี้ยน โมดูลัสความยืดหยุ่นมีค่าเพิ่มขึ้นตามความสูงของลำต้น ไฟส่วนปลายซึ่งมีเนื้อไม้บางมีกำลังต้านทานแรงดัดมากกว่าบริเวณส่วนโคนของลำต้นซึ่งมีเนื้อไม้หนา

ความถ่วงจำเพาะของไฟขึ้นอยู่กับท่อลำเลียง และเป็นตัวแปรสำคัญในการพัฒนาคุณสมบัติเชิงกลของไฟ การกระจายตัวของท่อลำเลียงแปรผันตรงกับคุณสมบัติเชิงกลของไฟ ยกเว้นโมดูลัสการแตกร้าว โดยการเพิ่มขึ้นของท่อลำเลียงประกอบกับความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้นทำให้ไฟมีคุณสมบัติเชิงกลที่สูงขึ้น การลดลงของขนาดท่อลำเลียง (Mohmod et al., n.d., p. 61-62)



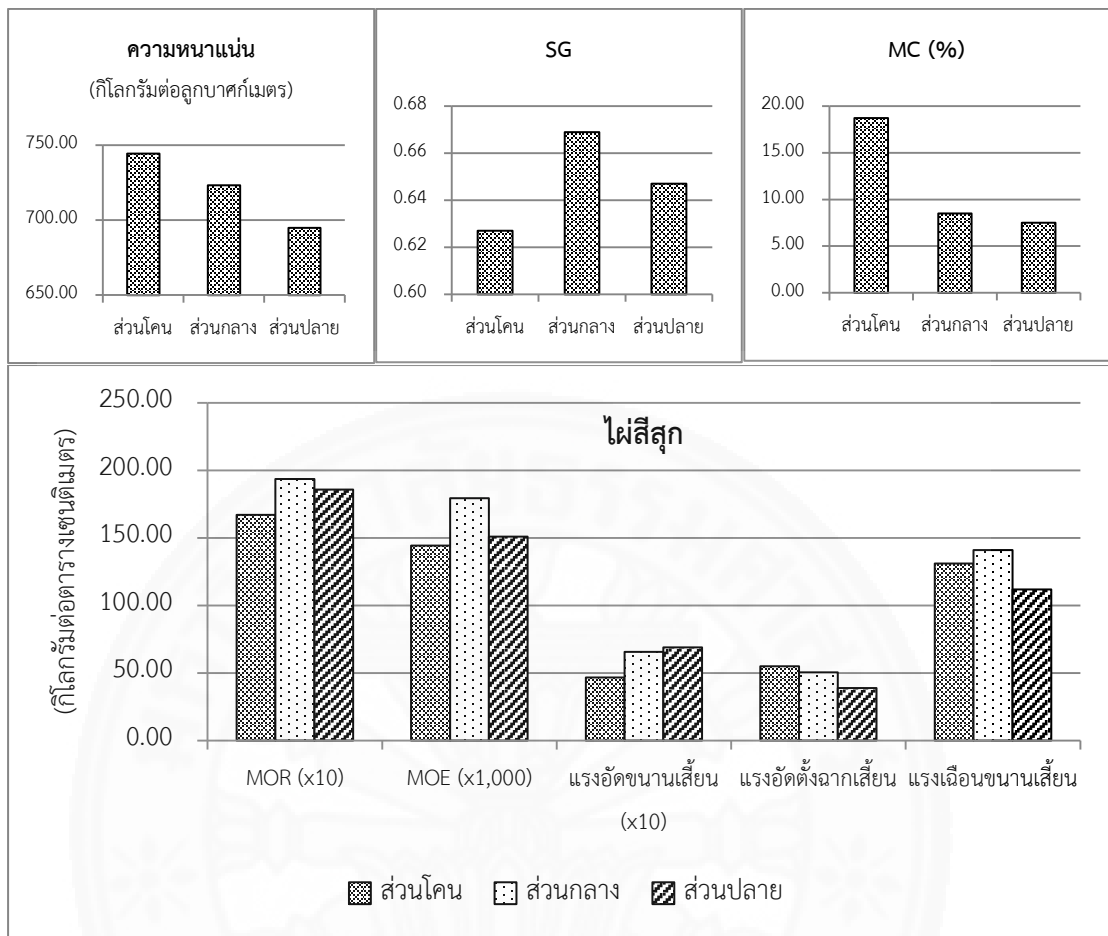
ภาพที่ 4.28 คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไผ่ตง

คุณสมบัติเชิงกลของไผ่ตงมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับความถ่วงจำเพาะ คือมีค่าเพิ่มขึ้นจากส่วนโคนไปสู่ส่วนปลายของลำต้น และเป็นแนวโน้มที่แปรผกผันกับค่าความชื้น กล่าวคือส่วนของไผ่ตงที่มีค่าความชื้นสูงจะประสิทธิภาพในการรับแรงน้อยกว่าส่วนของไผ่ตงที่มีความชื้นน้อย



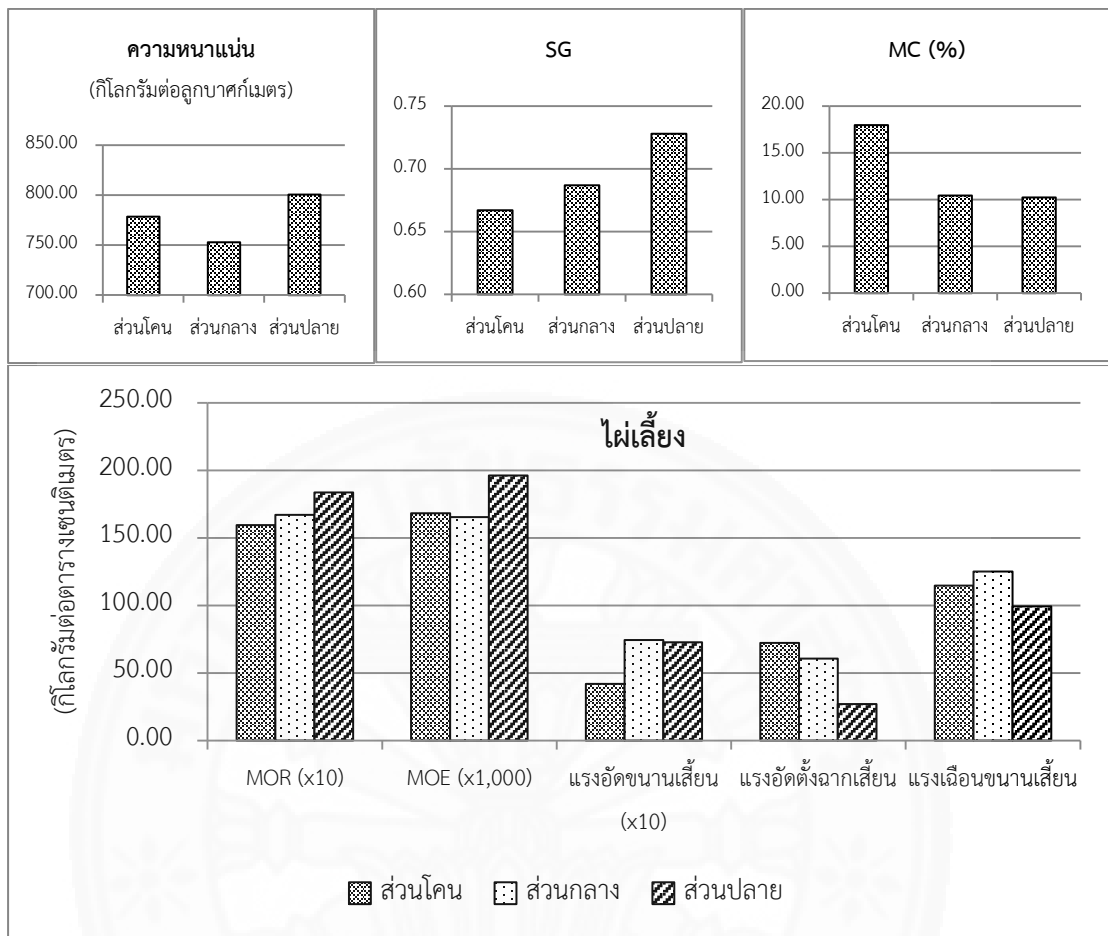
ภาพที่ 4.29 คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไผ่ซางหม่น

ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและความถ่วงจำเพาะของไผ่ซางหม่นสอดคล้องกับค่าความชื้น เนื่องจากไผ่ซางหม่นมีความชื้นที่ใกล้เคียงกันตลอดทั้งลำ ทำให้แนวโน้มของความหนาแน่นและความถ่วงจำเพาะเหมือนกัน ส่วนคุณสมบัติเชิงกลของไผ่ซางมีเพียงโมดูลัสความยืดหยุ่นและกำลังต้านทานแรงอัดขนานเส้นเท่านั้นที่สอดคล้องกับค่าความถ่วงจำเพาะ และมีแนวโน้มแตกต่างกันชัดเจนกับกำลังต้านทานแรงอัดตั้งฉากเส้น



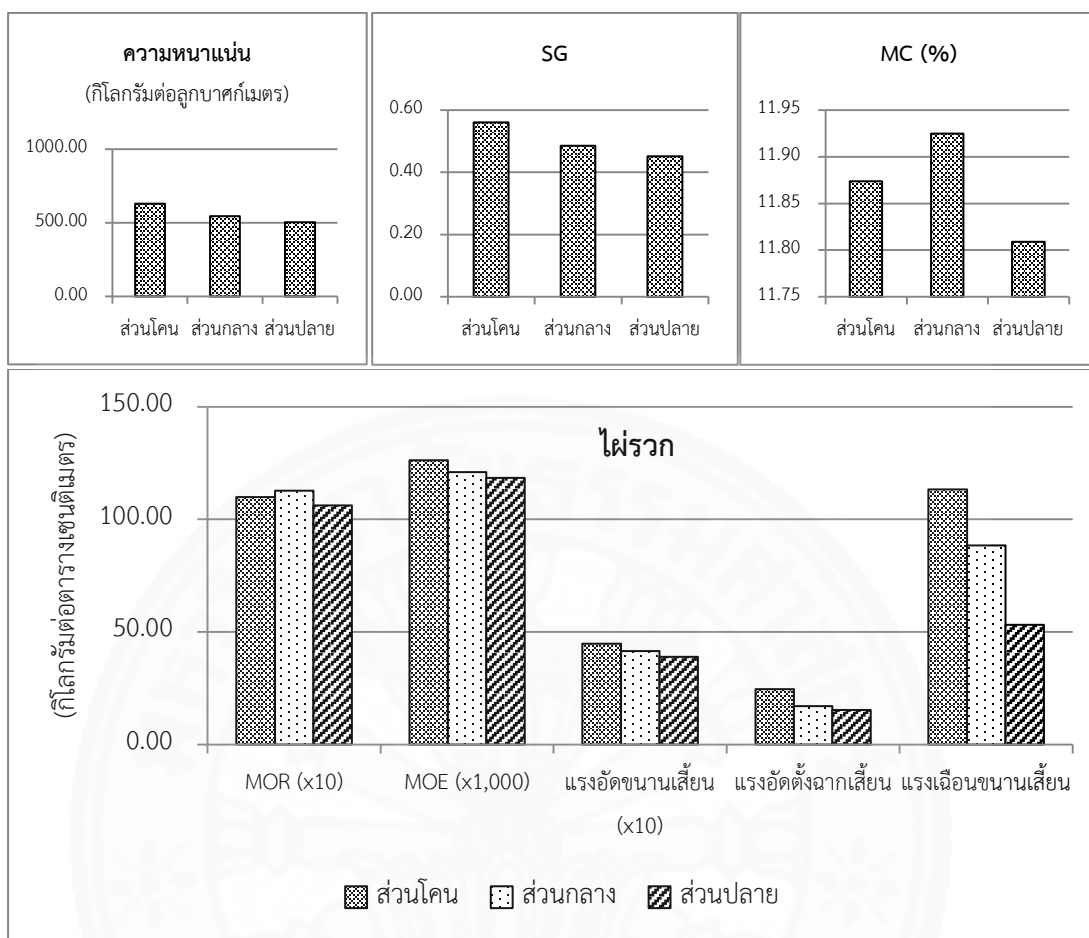
ภาพที่ 4.30 คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไฟสีสุก

ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและความถ่วงจำเพาะของไฟสีสุกมีแนวโน้มที่เหมือนกัน คือมีค่าที่ใกล้เคียงกันตลอดทั้งลำ โดยมีปริมาณความชื้นมากในส่วนโคนและลดลงจากโคนสู่ปลายต่างจากไฟช่างหม่น ในส่วนของคุณสมบัติเชิงกลไฟสีสุกมีกำลังต้านทานแรงอัดขนานเสี้ยนและกำลังต้านทานแรงอัดตั้งฉากเสี้ยน รวมถึงกำลังต้านทานแรงเฉือนที่ใกล้เคียงกันเช่นเดียวกับความหนาแน่น สำหรับโมดูลัสความยืดหยุ่นมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่เหมือนกันความถ่วงจำเพาะ แต่มีค่าต่างกันชัดเจนในทั้ง 3 ส่วนของลำต้น



ภาพที่ 4.31 คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไผ่เลี้ยง

ไผ่เลี้ยงมีค่าความหนาแน่นและความถ่วงจำเพาะใกล้เคียงกันทั้งใน 3 ส่วนของลำต้น แต่ความชื้นในส่วนโคนมีเยอะกว่าส่วนกลางและส่วนปลายของลำต้นค่อนข้างมาก เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์กับคุณสมบัติเชิงกลพบว่าไม่สามารถหาความสัมพันธ์ได้อย่างชัดเจน



ภาพที่ 4.32 คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไม้รวก

ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและความถ่วงจำเพาะของไม้รวกสอดคล้องกับความชื้น เนื่องจากไม้รวกมีความชื้นที่ใกล้เคียงกันตลอดทั้งลำ ทำให้แนวโน้มของความหนาแน่นและความถ่วงจำเพาะเหมือนกัน คุณสมบัติเชิงกลของไม้รวกมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกันกับความหนาแน่นและความถ่วงจำเพาะ คือมีค่าลดลงจากส่วนโคนไปสู่ส่วนปลายของลำต้น ยกเว้นค่าโมดูลัสการแตกร้าวซึ่งไม่ได้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางกายภาพ

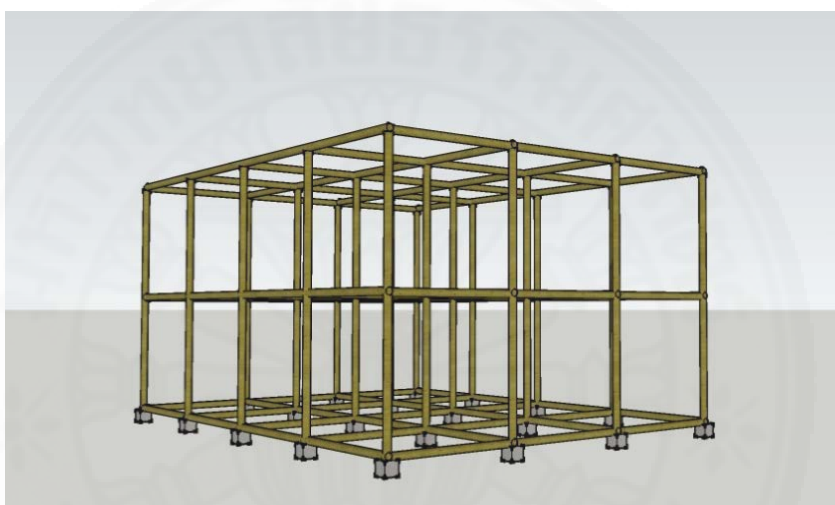
จากการสังเกตความสัมพันธ์ระหว่างความถ่วงจำเพาะ ความชื้น และคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุพบว่าไม้เพียงไม้ตงและไม้รวกที่มีความสัมพันธ์สอดคล้องในลักษณะเดียวกันกับงานวิจัยอ้างอิงข้างต้น ส่วนไม้ซางหม่น ไม้สีสุก และไม้เลียงไม่สามารถสรุปความสัมพันธ์ได้

4.3 ประสิทธิภาพการรับน้ำหนักของโครงสร้าง

4.3.1 รูปแบบของโครงสร้าง

จำลองโครงสร้างของอาคารสาธารณะขนาดเล็ก โดยกำหนดให้มีค่าต่าง ๆ ดังนี้

- (1) โครงสร้างไม้ไผ่ มีขนาดหน้ากว้าง 12 เมตร ลึก 16 เมตร
- (2) จำลองอาคารสูง 2 ชั้น แต่ละชั้นสูง 4 เมตร
- (3) กำหนดระยะช่วงพาดของอาคารเท่ากับ 4 เมตร



ภาพที่ 4.33 รูปแบบของโครงสร้างเสาและคาน

- (4) น้ำหนักบรรทุกทุกคงที่ที่กระทำต่อโครงสร้าง ดังนี้

โครงสร้างหลังคา

กระเบื้องหลังคา 8 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

แป้ไม้ 5 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

รวม 13 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

พื้น

พื้นไม้ไผ่หนา 2.5 เซนติเมตร 20 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

ตงไม้ 4 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

รวม 24 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

- (5) น้ำหนักบรรทุกทุกคงที่ที่กระทำต่อโครงสร้าง ดังนี้

หลังคา 30 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

อาคารสาธารณะ 300 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

(6) กำหนดค่าความปลอดภัย

$$\text{กำลังรับแรงอัดขนานเสี้ยน} = 5.75$$

$$\text{กำลังรับแรงดัดในคาน} = 6.50$$

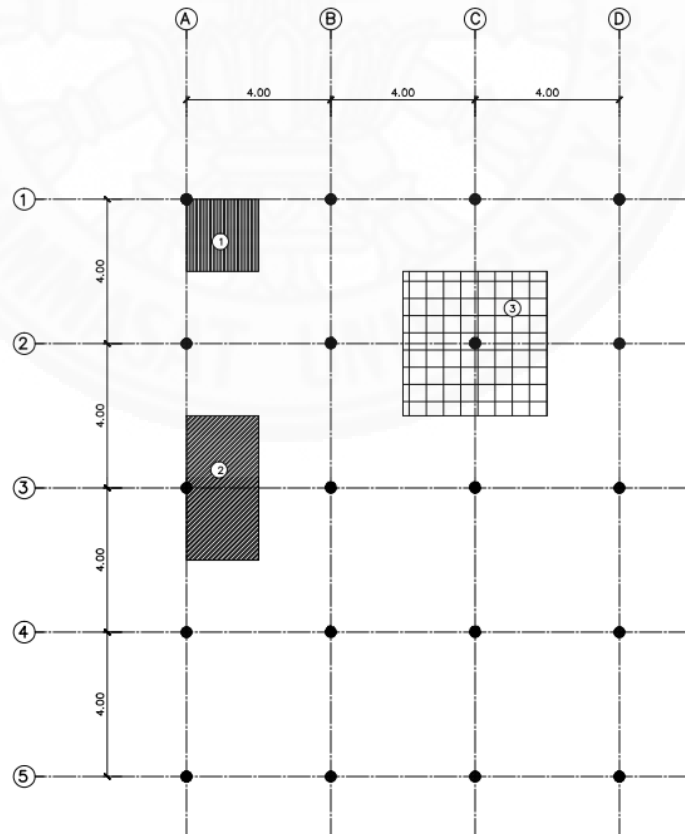
(7) รูปแบบหน้าตัดของการรวบไฟ 2 ลำ, 3 ลำ และ 4 ลำ



ภาพที่ 4.34 รูปแบบหน้าตัดของการรวบไฟ 2 ลำ, 3 ลำ และ 4 ลำ

4.3.2 คำนวณน้ำหนัก

4.3.2.1 เสา



ภาพที่ 4.35 พื้นที่รับน้ำหนักของเสา

(1) เสาชั้น 1

น้ำหนักบรรทุกคงที่

$$\text{น้ำหนักพื้นไม้} = 24 \text{ กิโลกรัมต่อตารางเมตร}$$

$$\text{น้ำหนักบรรทุกจร} = 300 \text{ กิโลกรัมต่อตารางเมตร}$$

$$\text{รวมน้ำหนักคงที่และน้ำหนักบรรทุกจร} = 324 \text{ กิโลกรัมต่อตารางเมตร}$$

$$\text{ค่าความปลอดภัยกำลังรับแรงอัดขนานเสี้ยน} = 5.75$$

$$\text{ดังนั้น น้ำหนักที่ใช้ในการออกแบบ} = 1,863 \text{ กิโลกรัมต่อตารางเมตร}$$

1. กำหนดให้เสาตรงตำแหน่งมุมทั้ง 4 ของโครงสร้างเป็น เสา C1

เสาตรงตำแหน่งมุมทั้ง 4 ของโครงสร้างมีพื้นที่รับน้ำหนักเป็นรูปสี่เหลี่ยมพื้นที่ที่ 1 ดังภาพที่ 4.35 โดยสามารถคำนวณน้ำหนักที่กระทำต่อเสาดังกล่าวได้ดังนี้

$$\text{น้ำหนักที่กระทำต่อเสาด้านมุม} = (2 \times 2) \times 1,863$$

$$= 7,254 \text{ กิโลกรัม}$$

2. กำหนดให้เสาโดยรอบของโครงสร้างยกเว้นตรงตำแหน่งมุมเป็น เสา C2

เสาโดยรอบของโครงสร้างยกเว้นเสาตรงตำแหน่งมุมทั้ง 4 ของโครงสร้างมีพื้นที่รับน้ำหนักเป็นรูปสี่เหลี่ยมพื้นที่ที่ 2 ดังภาพที่ 4.35 โดยสามารถคำนวณน้ำหนักที่กระทำต่อเสาดังกล่าวได้ดังนี้

$$\text{น้ำหนักที่กระทำต่อเสาภายนอก} = (4 \times 2) \times 1,863$$

$$= 14,904 \text{ กิโลกรัม}$$

3. กำหนดให้เสาภายในของโครงสร้างเป็น เสา C3

เสาภายในของโครงสร้างมีพื้นที่รับน้ำหนักเป็นรูปสี่เหลี่ยมพื้นที่ที่ 3 ดังภาพที่ 4.35 โดยสามารถคำนวณน้ำหนักที่กระทำต่อเสาดังกล่าวได้ดังนี้

$$\text{น้ำหนักที่กระทำต่อเสาภายใน} = (4 \times 4) \times 1,863$$

$$= 29,808 \text{ กิโลกรัม}$$

(2) เสาชั้น 2

น้ำหนักบรรทุกคงที่

$$\text{น้ำหนักหลังคา} = 13 \text{ กิโลกรัมต่อตารางเมตร}$$

$$\text{น้ำหนักบรรทุกจร} = 30 \text{ กิโลกรัมต่อตารางเมตร}$$

$$\text{รวมน้ำหนักคงที่และน้ำหนักบรรทุกจร} = 43 \text{ กิโลกรัมต่อตารางเมตร}$$

$$\text{ค่าความปลอดภัยกำลังรับแรงอัดขนานเสี้ยน} = 5.75$$

$$\text{ดังนั้น น้ำหนักที่ใช้ในการออกแบบ} = 247.25 \text{ กิโลกรัมต่อตารางเมตร}$$

1. กำหนดให้เสาตรงตำแหน่งมุมทั้ง 4 ของโครงสร้างเป็น เสา C4
เสาตรงตำแหน่งมุมทั้ง 4 ของโครงสร้างมีพื้นที่รับน้ำหนักเป็นรูป
สี่เหลี่ยมพื้นที่ที่ 1 ดังภาพที่ 4.35 โดยสามารถคำนวณน้ำหนักที่กระทำต่อเสาดังกล่าวได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{น้ำหนักที่กระทำต่อเสาดำแหน่งมุม} &= (2 \times 2) \times 247.25 \\ &= 989 \text{ กิโลกรัม} \end{aligned}$$

2. กำหนดให้เสาโดยรอบของโครงสร้างยกเว้นตรงตำแหน่งมุมเป็น เสา C5
เสาโดยรอบของโครงสร้างยกเว้นเสาตรงตำแหน่งมุมทั้ง 4 ของ
โครงสร้างมีพื้นที่รับน้ำหนักเป็นรูปสี่เหลี่ยมพื้นที่ที่ 2 ดังภาพที่ 4.35 โดยสามารถคำนวณน้ำหนักที่
กระทำต่อเสาดังกล่าวได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{น้ำหนักที่กระทำต่อเสาภายนอก} &= (4 \times 2) \times 247.25 \\ &= 1,978 \text{ กิโลกรัม} \end{aligned}$$

3. กำหนดให้เสาภายในของโครงสร้างเป็น เสา C6
เสาภายในของโครงสร้างมีพื้นที่รับน้ำหนักเป็นรูปสี่เหลี่ยมพื้นที่ที่ 3 ดัง
ภาพที่ 4.35 โดยสามารถคำนวณน้ำหนักที่กระทำต่อเสาดังกล่าวได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{น้ำหนักที่กระทำต่อเสาภายใน} &= (4 \times 4) \times 247.25 \\ &= 3,956 \text{ กิโลกรัม} \end{aligned}$$

4.3.2.1 คาน

(1) คานพื้นชั้น 1 และพื้นชั้น 2

น้ำหนักบรรทุกคงที่

$$\text{น้ำหนักพื้นไม้} = 24 \text{ กิโลกรัมต่อตารางเมตร}$$

$$\text{น้ำหนักบรรทุกจร} = 300 \text{ กิโลกรัมต่อตารางเมตร}$$

$$\text{รวมน้ำหนักคงที่และน้ำหนักบรรทุกจร} = 324 \text{ กิโลกรัมต่อตารางเมตร}$$

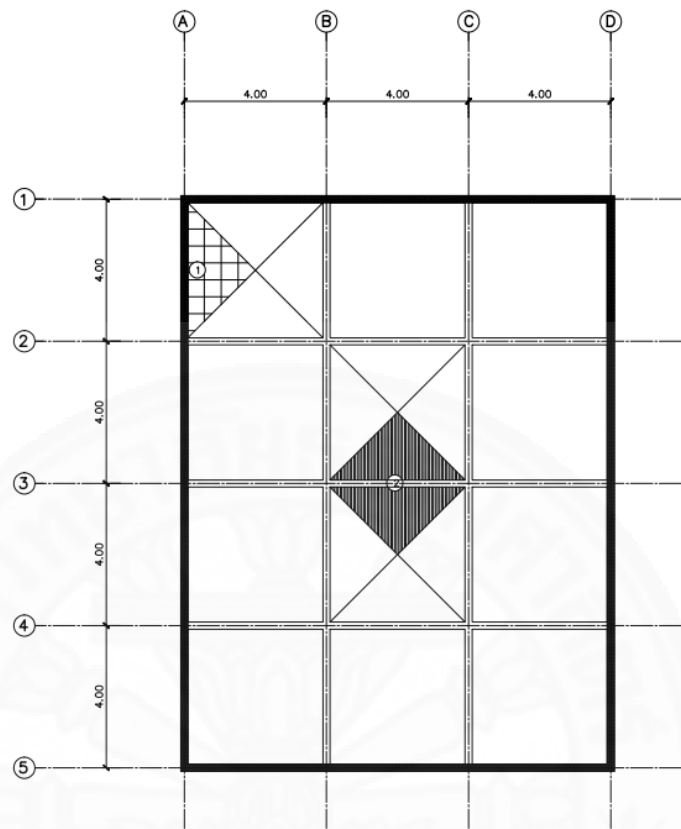
$$\text{ค่าความปลอดภัยกำลังรับแรงดัดในคาน} = 6.50$$

$$\text{ดังนั้น น้ำหนักที่ใช้ในการออกแบบ} = 2,106 \text{ กิโลกรัมต่อตารางเมตร}$$

1. กำหนดให้คานรอบนอกของโครงสร้างพื้นเป็น คาน B1

คานรอบนอกของโครงสร้างมีพื้นที่รับน้ำหนักเป็นรูปสามเหลี่ยมพื้นที่ที่ 1
ดังภาพที่ 4.36 โดยสามารถคำนวณน้ำหนักที่กระทำต่อคานดังกล่าวได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{น้ำหนักที่กระทำต่อคานภายนอก} &= (0.5 \times 4 \times 2) \times 2,106 \\ &= 8,424 \text{ กิโลกรัม} \end{aligned}$$



ภาพที่ 4.36 พื้นที่รับน้ำหนักของคาน

2. กำหนดให้คานภายในของโครงสร้างพื้นเป็น คาน B2
คานภายในโครงสร้างมีพื้นที่รับน้ำหนักเป็นรูปสี่เหลี่ยมพื้นที่ที่ 2 ดังภาพ
ที่ 4.36 โดยสามารถคำนวณน้ำหนักที่กระทำต่อคานดังกล่าวได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{น้ำหนักที่กระทำต่อคานภายนอก} &= 2 \times (0.5 \times 4 \times 2) \times 2,106 \\ &= 16,848 \text{ กิโลกรัม} \end{aligned}$$

(2) คานหลังคา

น้ำหนักบรรทุกคงที่

$$\text{น้ำหนักหลังคา} = 13 \text{ กิโลกรัมต่อตารางเมตร}$$

น้ำหนักบรรทุกจร

$$= 30 \text{ กิโลกรัมต่อตารางเมตร}$$

$$\text{รวมน้ำหนักคงที่และน้ำหนักบรรทุกจร} = 43 \text{ กิโลกรัมต่อตารางเมตร}$$

$$\text{ค่าความปลอดภัยกำลังรับแรงดัดในคาน} = 6.50$$

$$\text{ดังนั้น น้ำหนักที่ใช้ในการออกแบบ} = 279.50 \text{ กิโลกรัมต่อตารางเมตร}$$

1. กำหนดให้คานารอบนอกของโครงสร้างหลังคาเป็น คาน B3
คานารอบนอกของโครงสร้างมีพื้นที่รับน้ำหนักเป็นรูปสามเหลี่ยมพื้นที่ที่ 1
ดังภาพที่ 4.36 โดยสามารถคำนวณน้ำหนักที่กระทำต่อคานดังกล่าวได้ดังนี้

$$\begin{aligned}\text{น้ำหนักที่กระทำต่อคานภายนอก} &= (0.5 \times 4 \times 2) \times 279.50 \\ &= 1,118 \text{ กิโลกรัม}\end{aligned}$$

2. กำหนดให้คานภายในของโครงสร้างหลังคาเป็น คาน B4
คานภายในโครงสร้างมีพื้นที่รับน้ำหนักเป็นรูปสี่เหลี่ยมพื้นที่ที่ 2 ดังภาพ
ที่ 4.36 โดยสามารถคำนวณน้ำหนักที่กระทำต่อคานดังกล่าวได้ดังนี้

$$\begin{aligned}\text{น้ำหนักที่กระทำต่อคานภายนอก} &= 2 \times (0.5 \times 4 \times 2) \times 279.50 \\ &= 2,236 \text{ กิโลกรัม}\end{aligned}$$

4.3.3 การคำนวณประสิทธิภาพการรับแรงของโครงสร้าง

พื้นที่หน้าตัดไม้ 1 ลำ

$$\text{พื้นที่หน้าตัดไม้} = \frac{\pi}{4} (D^2 - (D - 2t)^2) \quad (4.1)$$

โมเมนต์อินเนอร์เซีย

$$\text{โมเมนต์อินเนอร์เซีย} = \frac{\pi}{64} (D^4 - (D - 2t)^4) \quad (4.2)$$

โมเมนต์อินเนอร์เซียของไม้ 2 ลำ และ 4 ลำ

$$\text{โมเมนต์อินเนอร์เซีย } (I_x) = x(I_1) + x(Ad^2) \quad (4.3)$$

โมเมนต์อินเนอร์เซียของไม้ 3 ลำ

$$\text{โมเมนต์อินเนอร์เซีย } (I_3) = 3(I_1) + Ad_{บน}^2 + Ad_{ล่าง}^2 \quad (4.4)$$

โมดูลัสที่จุดตัด (section modulus) ของทรงกระบอกกลวง

$$\text{โมดูลัสที่จุดตัด} = \frac{\pi(D^4 - (D - 2t)^4)}{32d} \quad (4.5)$$

โมดูลัสที่จุดตัด (section modulus) ของไม้ 2 ลำ, 3 ลำ และ 4 ลำ

$$\text{โมดูลัสที่จุดตัด } (S_x) = \frac{I_x}{y} \quad (4.6)$$

เมื่อ D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของไม้ 1 ลำ (เซนติเมตร)

t คือ ความหนาของเนื้อไม้ (เซนติเมตร)

I คือ โมเมนต์อินเนอร์เซีย (เซนติเมตร⁴)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของไม้ (ตารางเซนติเมตร)

d คือ ระยะจากแกนสะเทิน (neutral axis) ไปยังจุดกึ่งกลางของลำไม้ (เซนติเมตร)

S คือ โมดูลัสที่จุดตัด (section modulus) (เซนติเมตร³)

\bar{y} คือ ระยะจากแกนสะเทิน (neutral axis) ไปยังผิวบนของคาน (เซนติเมตร)

4.3.3.1 การพิจารณาความเป็นไปได้ในการรับน้ำหนักของเสาไม้ไผ่

การพิจารณาความเป็นไปได้ในการรับน้ำหนักของเสา ใช้หลักการในการพิจารณา คือ การคำนวณหาโมเมนต์อินเนอร์เซียของเสา C1, C2, C3, C4, C5 และ C6 เปรียบเทียบกับโมเมนต์อินเนอร์เซียของไม้ 1 ลำ, 2 ลำ, 3 ลำ และ 4 ลำ เพื่อหาจำนวนของไม้ที่ต้องใช้ในการออกแบบเสาของโครงสร้าง

ตารางที่ 4.6

โมเมนต์อินเนอร์เซียของเสา C1, C2, C3, C4, C5, C6 และโมเมนต์อินเนอร์เซียของไม้ 1 ลำ, 2 ลำ, 3 ลำ, 4 ลำ

เสา					
	ไม้ตง	ไม้ซางหม่น	ไม้สีสุก	ไม้เลียง	ไม้รวก
เส้นผ่านศูนย์กลาง (เซนติเมตร)	10.00	10.00	10.00	8.00	6.00
ความหนาเนื้อไม้ (เซนติเมตร)	1.19	0.95	0.86	0.80	0.62
พื้นที่หน้าตัด (ตารางเซนติเมตร)	32.90	26.87	24.58	18.05	10.49
โมดูลัสความยืดหยุ่น (กก./ตร.ซม.)	132,934.25	155,157.86	158,144.40	176,523.98	121,817.38
เสา C1					
โมเมนต์อินเนอร์เซีย (เซนติเมตร ⁴)	885.53	758.69	744.36	666.86	966.34
เสา C2					
โมเมนต์อินเนอร์เซีย (เซนติเมตร ⁴)	1,819.39	1,558.80	1,529.36	1,370.12	1,985.43

ตารางที่ 4.6 (ต่อ)

โมเมนต์อินเนอร์เซียของเสา C1, C2, C3, C4, C5, C6 และโมเมนต์อินเนอร์เซียของไฟ 1 ล้ำ, 2 ล้ำ, 3 ล้ำ, 4 ล้ำ

เสา					
	ไฟตง	ไฟข้างหม่น	ไฟสี่สูก	ไฟเลี้ยง	ไฟรวก
เสา C3					
โมเมนต์อินเนอร์เซีย (เซนติเมตร ⁴)	3,638.79	3,117.60	3,058.72	2,740.25	3,970.86
เสา C4					
โมเมนต์อินเนอร์เซีย (เซนติเมตร ⁴)	120.73	103.44	101.49	90.92	131.75
เสา C5					
โมเมนต์อินเนอร์เซีย (เซนติเมตร ⁴)	241.46	206.88	202.97	181.84	263.50
เสา C6					
โมเมนต์อินเนอร์เซีย (เซนติเมตร ⁴)	482.93	413.75	405.94	363.67	527.00
โมเมนต์อินเนอร์เซีย (เซนติเมตร ⁴)					
ไฟ 1 ล้ำ	325.04	278.38	259.13	118.44	38.44
ไฟ 2 ล้ำ	2,294.85	1,900.21	1,747.13	814.36	265.68
ไฟ 3 ล้ำ	3,426.05	2,837.06	2,608.58	1,322.03	497.09
ไฟ 4 ล้ำ	4,589.70	3,800.42	3,494.27	1,628.72	531.36

ตารางที่ ตารางที่ 4.7

ผลการทดสอบประสิทธิภาพการรับน้ำหนักของเสาไม้ไฟของไฟทั้ง 5 สายพันธุ์

		ไฟตง	ไฟข้างหม่น	ไฟสี่สูก	ไฟเลี้ยง	ไฟรวก
เสา C1	โมเมนต์อินเนอร์เซีย (เซนติเมตร ⁴)	885.53	758.69	744.36	666.86	966.34
	ไฟ 1 ล้ำ	X	X	X	X	X
	ไฟ 2 ล้ำ	/	/	/	/	X
	ไฟ 3 ล้ำ	/	/	/	/	X
	ไฟ 4 ล้ำ	/	/	/	/	X

ตารางที่ 4.7 (ต่อ)

ผลการทดสอบประสิทธิภาพการรับน้ำหนักของเสาไม้ไผ่ของไม้ทั้ง 5 สายพันธุ์

		ไผ่ตง	ไผ่ชางหม่น	ไผ่สีสุก	ไผ่เลี้ยง	ไผ่รวก
เสา C2	โมเมนต์อินเนอร์เซีย (เซนติเมตร ⁴)	1,819.39	1,558.80	1,529.36	1,370.12	1,985.43
	ไผ่ 1 ลำ	X	X	X	X	X
	ไผ่ 2 ลำ	/	/	/	X	X
	ไผ่ 3 ลำ	/	/	/	X	X
	ไผ่ 4 ลำ	/	/	/	/	X
เสา C3	โมเมนต์อินเนอร์เซีย (เซนติเมตร ⁴)	3,638.79	3,117.60	3,058.72	2,740.25	3,970.86
	ไผ่ 1 ลำ	X	X	X	X	X
	ไผ่ 2 ลำ	X	X	X	X	X
	ไผ่ 3 ลำ	X	X	X	X	X
	ไผ่ 4 ลำ	/	/	/	X	X
เสา C4	โมเมนต์อินเนอร์เซีย (เซนติเมตร ⁴)	120.73	103.44	101.49	90.92	131.75
	ไผ่ 1 ลำ	/	/	/	/	X
	ไผ่ 2 ลำ	/	/	/	/	/
	ไผ่ 3 ลำ	/	/	/	/	/
	ไผ่ 4 ลำ	/	/	/	/	/
เสา C5	โมเมนต์อินเนอร์เซีย (เซนติเมตร ⁴)	241.46	206.88	202.97	181.84	263.50
	ไผ่ 1 ลำ	/	/	/	X	X
	ไผ่ 2 ลำ	/	/	/	/	/
	ไผ่ 3 ลำ	/	/	/	/	/
	ไผ่ 4 ลำ	/	/	/	/	/

ตารางที่ 4.7 (ต่อ)

ผลการทดสอบประสิทธิภาพการรับน้ำหนักของเสาไม้ไผ่ของไม้ทั้ง 5 สายพันธุ์

		ไผ่ตง	ไผ่ชางหม่น	ไผ่สีสุก	ไผ่เลี้ยง	ไผ่รวก
เสา C6	โมเมนต์อินเนอร์เซีย (เซนติเมตร ⁴)	482.93	413.75	405.94	363.67	527.00
	ไผ่ 1 ลำ	X	X	X	X	X
	ไผ่ 2 ลำ	/	/	/	/	X
	ไผ่ 3 ลำ	/	/	/	/	X
	ไผ่ 4 ลำ	/	/	/	/	/

จากผลการคำนวณประสิทธิภาพการรับน้ำหนักของเสาในโครงสร้างไม้ไผ่พบว่าไผ่ตง ไผ่ชางหม่น และไผ่สีสุก สามารถรับน้ำหนักของโครงสร้างที่ออกแบบได้ โดยโครงสร้างไผ่ตง โครงสร้างไผ่ชางหม่น และโครงสร้างไผ่สีสุกต้องใช้ไผ่ 1-2 ลำ สำหรับเสาส่วนใหญ่ และต้องใช้ไผ่ถึง 4 ลำ สำหรับเสา C3 ซึ่งเป็นเสาภายในของโครงสร้างที่รับน้ำหนักของโครงสร้างเยอะที่สุด โครงสร้างไผ่เลี้ยงต้องใช้จำนวนไผ่เยอะขึ้นเพื่อเป็นเสาของโครงสร้าง โดยใช้ไผ่ 1-4 ลำสำหรับเสาของโครงสร้าง ยกเว้นเสาภายในของโครงสร้างที่ต้องใช้ไผ่เลี้ยงมากกว่า 4 ลำ ส่วนไผ่รวกนั้นไม่มีความเหมาะสมสำหรับการนำมาใช้เป็นโครงสร้างหลักของอาคาร เนื่องจากมีคุณสมบัติของวัสดุที่ค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับไผ่ชนิดอื่นที่ทำการทดสอบคุณสมบัติ และผลการคำนวณประสิทธิภาพการรับน้ำหนักของเสาสำหรับโครงสร้างไผ่รวกพบว่า แม้จะใช้ไผ่รวกถึง 4 ลำ ก็ไม่สามารถรับน้ำหนักที่กระทำกับเสาของโครงสร้างได้ ทั้งงานวิจัยได้ศึกษาการรวบลำไผ่สำหรับเป็นเสาของโครงสร้างโดยใช้ไผ่ 1-4 ลำเท่านั้น หากต้องการออกแบบโครงสร้างของไผ่เลี้ยงและไผ่รวกสามารถทำได้โดยการออกแบบให้หน้าตัดของเสามีค่าโมเมนต์อินเนอร์เซียร์เท่ากับโมเมนต์อินเนอร์เซียของเสาโครงสร้างที่ออกแบบ และจำเป็นต้องใช้ไผ่จำนวนมากกว่า 4 ลำ เพื่อเป็นเสาของโครงสร้าง

4.3.3.1 การพิจารณาความเป็นไปได้ในการรับน้ำหนักของคานไม้ไผ่

การพิจารณาความเป็นไปได้ในการรับน้ำหนักของคาน ใช้หลักการในการพิจารณา คือ การคำนวณหาโมดูลัสที่จุดตัดของคาน B1, B2, B3 และ B4 เปรียบเทียบกับโมดูลัสที่จุดตัดของไผ่ 1 ลำ, 2 ลำ, 3 ลำ และ 4 ลำ เพื่อหาจำนวนของไผ่ที่ต้องใช้ในการออกแบบคานของโครงสร้าง

ตารางที่ 4.8

โมดูลัสที่จุดตัดของคาน B1, B2, B3, B4 และโมดูลัสที่จุดตัดของใผ่ 1 ลำ, 2 ลำ, 3 ลำ, 4 ลำ

คาน					
	ใผ่ตง	ใผ่ขวางหม่น	ใผ่สีสุก	ใผ่เลี้ยง	ใผ่รวก
เส้นผ่านศูนย์กลาง (เซนติเมตร)	10.00	10.00	10.00	8.00	6.00
ความหนาเนื้อไม้ (เซนติเมตร)	1.19	0.95	0.86	0.80	0.62
พื้นที่หน้าตัด (ตารางเซนติเมตร)	32.90	26.87	24.58	18.05	10.49
กำลังต้านทานแรงดัด (กก./ตร.ซม.)	1,532.50	1,810.85	1,820.88	1,700.50	1,095.91
คาน B1					
โมดูลัสที่จุดตัด (เซนติเมตร ³)	274.85	232.60	231.32	247.69	384.34
คาน B2					
โมดูลัสที่จุดตัด (เซนติเมตร ³)	549.69	465.20	462.63	495.38	768.68
คาน B3					
โมดูลัสที่จุดตัด (เซนติเมตร ³)	36.48	30.87	30.70	32.87	51.01
คาน B4					
โมดูลัสที่จุดตัด (เซนติเมตร ³)	406.77	480.66	483.32	451.37	290.89
โมดูลัสที่จุดตัดของใผ่ (เซนติเมตร ³)					
ใผ่ 1 ลำ	38.99	32.16	29.52	17.24	7.50
ใผ่ 2 ลำ	229.49	190.02	174.71	101.79	44.28
ใผ่ 3 ลำ	293.83	243.32	223.72	136.76	64.84
ใผ่ 4 ลำ	485.97	380.04	349.43	203.59	88.56

ตารางที่ ตารางที่ 4.9

ผลการทดสอบประสิทธิภาพการรับน้ำหนักของคานไม้ไผ่ของไผ่ทั้ง 5 สายพันธุ์

		ไผ่ตง	ไผ่ชางหม่น	ไผ่สีสุก	ไผ่เลี้ยง	ไผ่รวก
คาน B1	โมดูลัสที่จุดตัด (เซนติเมตร ³)	274.85	232.60	231.32	247.69	384.34
	ไผ่ 1 ลำ	X	X	X	X	X
	ไผ่ 2 ลำ	X	X	X	X	X
	ไผ่ 3 ลำ	/	/	X	X	X
	ไผ่ 4 ลำ	/	/	/	X	X
คาน B2	โมดูลัสที่จุดตัด (เซนติเมตร ³)	549.69	465.20	462.63	495.38	768.68
	ไผ่ 1 ลำ	X	X	X	X	X
	ไผ่ 2 ลำ	X	X	X	X	X
	ไผ่ 3 ลำ	X	X	X	X	X
	ไผ่ 4 ลำ	X	X	X	X	X
คาน B3	โมดูลัสที่จุดตัด (เซนติเมตร ³)	36.48	30.87	30.70	32.87	51.01
	ไผ่ 1 ลำ	/	/	X	X	X
	ไผ่ 2 ลำ	/	/	/	/	X
	ไผ่ 3 ลำ	/	/	/	/	/
	ไผ่ 4 ลำ	/	/	/	/	/
คาน B4	โมดูลัสที่จุดตัด (เซนติเมตร ³)	406.77	480.66	483.32	451.37	290.89
	ไผ่ 1 ลำ	X	X	X	X	X
	ไผ่ 2 ลำ	X	X	X	X	X
	ไผ่ 3 ลำ	X	X	X	X	X
	ไผ่ 4 ลำ	/	/	X	X	X

จากผลการคำนวณประสิทธิภาพการรับน้ำหนักของคานในโครงสร้างไม้ไผ่พบว่าโครงสร้างไม้ไผ่จากไม้ทั้ง 5 สายพันธุ์ ต้องใช้ไผ่มากกว่า 4 ลำ สำหรับคาน B2 ซึ่งเป็นคานที่รับน้ำหนักของโครงสร้างเยอะที่สุด สำหรับโครงสร้างไผ่ตงและโครงสร้างไผ่ชางหม่นต้องใช้ไผ่ 1-4 ลำ สำหรับคานอื่น ๆ ของโครงสร้าง โครงสร้างของไผ่สีสุกต้องใช้ไผ่มากกว่า 4 ลำ สำหรับคาน B2 และ B4 ส่วนไผ่เลี้ยงและไผ่รวกนั้นไม่มีความเหมาะสมสำหรับการนำมาใช้เป็นคานของโครงสร้าง เนื่องจากไม่มีประสิทธิภาพในการรับน้ำหนักของคานถึง 77.42% ทั้งงานวิจัยได้ศึกษาการรวบลำไผ่สำหรับเป็นคานของโครงสร้างโดยใช้ไผ่ 1-4 ลำ เท่านั้น หากต้องการออกแบบโครงสร้างของไผ่ให้มีประสิทธิภาพในการรับน้ำหนักทั้งหมดสามารถทำได้โดยการออกแบบให้หน้าตัดของคานมีค่าโมเมนต์ที่จุดตัดเท่ากับโมเมนต์ที่จุดตัดของคานโครงสร้างที่ออกแบบ และจำเป็นต้องใช้ไผ่จำนวนมากกว่า 4 ลำ เพื่อเป็นคานของโครงสร้าง



บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 ข้อเสนอสรุปจากผลการวิจัย

5.1.1 คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไม้

ตารางที่ 5.1

ค่าเฉลี่ยของคุณสมบัติเชิงกลของไม้

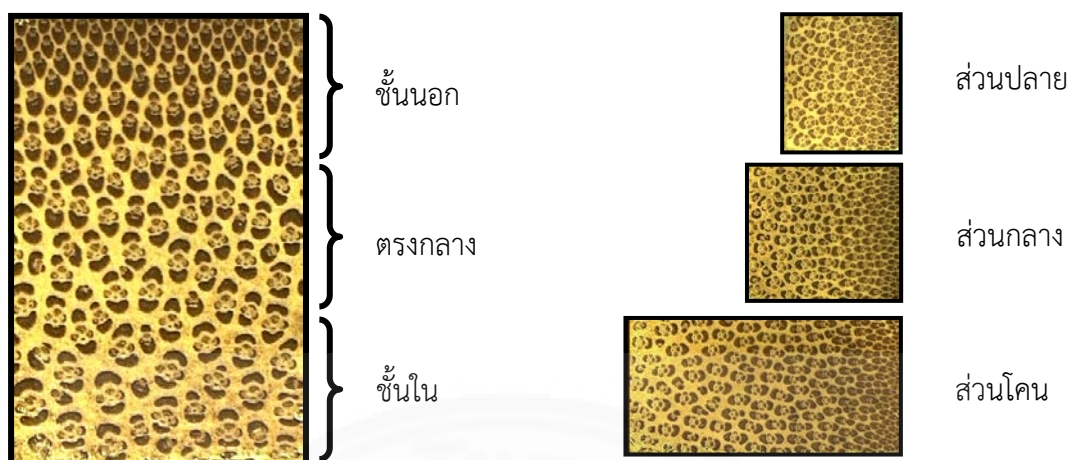
สายพันธุ์ & ตำแหน่ง	ผลการทดสอบ					
	ความถ่วง จำเพาะ	โมดูลัสการ แตกร้าว (กก./ตร.ซม.)	โมดูลัสความ ยืดหยุ่น (กก./ตร.ซม.)	กำลังต้านทาน แรงอัดขนานเสี้ยน (กก./ตร.ซม.)	กำลังต้านทาน แรงอัดตั้งฉากเสี้ยน (กก./ตร.ซม.)	กำลังต้านทาน แรงเฉือน (กก./ตร.ซม.)
ไม้ตง						
โคน	0.568	1,263.78	111,422.82	380.47	74.29	97.96
กลาง	0.624	1,559.69	140,755.88	569.63	83.61	114.17
ปลาย	0.670	1,774.02	146,624.06	730.69	119.29	132.96
เฉลี่ย	0.621	1,532.50	132,934.25	560.23	92.40	115.03
ไม้ซางหม่น						
โคน	0.574	1,599.31	13,7342.48	616.29	72.94	140.03
กลาง	0.688	1,895.28	16,6316.53	749.77	47.49	130.25
ปลาย	0.724	1,937.97	16,1814.56	893.73	33.16	146.34
เฉลี่ย	0.662	1,810.85	15,5157.86	753.26	51.19	138.87
ไม้รวก						
โคน	0.561	1,098.88	126,205.93	448.14	24.58	113.31
กลาง	0.486	1,126.78	120,916.28	414.78	17.06	88.35
ปลาย	0.452	1,062.07	118,329.92	369.40	15.34	53.14
เฉลี่ย	0.500	1,095.91	121,817.38	417.44	18.99	84.94

ตารางที่ 5.1 (ต่อ)

ค่าเฉลี่ยของคุณสมบัติเชิงกลของไม้

สายพันธุ์ & ตำแหน่ง	ผลการทดสอบ					
	ความถ่วง จำเพาะ	โมดูลัสการ แตกร้าว (กก./ตร.ซม.)	โมดูลัสความ ยืดหยุ่น (กก./ตร.ซม.)	กำลังต้านทาน แรงอัดขนานเสี้ยน (กก./ตร.ซม.)	กำลังต้านทาน แรงอัดตั้งฉากเสี้ยน (กก./ตร.ซม.)	กำลังต้านทาน แรงเฉือน (กก./ตร.ซม.)
ไม้สีสุก						
โคน	0.627	1,670.05	144,274.22	467.75	54.87	130.30
กลาง	0.669	1,934.44	179,235.06	657.11	50.41	140.91
ปลาย	0.647	1,858.16	150,923.92	689.15	38.76	111.79
เฉลี่ย	0.648	1,820.88	158,144.40	604.67	127.88	1895.55
ไม้เลี้ยง						
โคน	0.667	1,594.25	168,250.73	418.60	72.35	114.55
กลาง	0.687	1,670.66	165,268.32	743.57	60.61	125.08
ปลาย	0.728	1,836.59	196,052.88	727.64	26.92	99.17
เฉลี่ย	0.781	1,700.50	176,523.98	629.94	53.29	112.93

จากผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของไม้พบว่าส่วนปลายของไม้มีค่าความถ่วงจำเพาะและประสิทธิภาพในการรับแรงสูงกว่าส่วนโคน เนื่องจากเนื้อไม้บริเวณส่วนปลายมีการเรียงตัวของเส้นใยค่อนข้างหนาแน่นและสม่ำเสมอ ซึ่งต่างจากเนื้อไม้ส่วนโคนที่มีการเรียงตัวของเส้นใยหนาแน่นบริเวณส่วนที่ใกล้กับผิวภายนอกและเรียงตัวเบาบางบริเวณใกล้กับผนังภายใน ดังภาพที่ 5.1 เนื้อไม้ส่วนที่มีการเรียงตัวของเส้นใยหนาแน่นจะเกิดการเสียหายจากแรงที่มากกระทำไต่ยาก ไม้ที่ทำการทดสอบทั้ง 5 สายพันธุ์ มีค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ในช่วง 0.50–0.80 โมดูลัสการแตกร้าวอยู่ในช่วง 1,000–2,000 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โมดูลัสความยืดหยุ่นอยู่ในช่วง 118,500–193,000 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร กำลังต้านทานแรงอัดในแนวขนานเสี้ยนอยู่ในช่วง 400–900 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร กำลังต้านทานแรงอัดในแนวตั้งฉากเสี้ยนอยู่ในช่วง 15–150 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และมีกำลังต้านทานแรงเฉือนอยู่ในช่วง 55–150 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ส่วนกำลังต้านทานแรงดึงนั้นสามารถทำการทดสอบได้ในส่วนโคนและส่วนกลางของไม้บางชนิดที่มีขนาดใหญ่และความหนาเนื้อไม้ประมาณ 0.07–0.13 เมตร เนื่องจากข้อจำกัดในเรื่องของวัสดุและเครื่องมือในการทำการทดสอบ



ภาพที่ 5.1 โครงสร้างทางกายวิภาคของไผ่. *The suitability of Dendrocalamus asper backer for oriented strand lumber* (p. 11), Pannipa Malanit, 2009, Hamberg.

5.1.2 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของไผ่กับงานวิจัยอื่นๆ

ตารางที่ 5.2

ค่าเฉลี่ยคุณสมบัติเชิงกลของไผ่กับงานวิจัยอื่นๆ

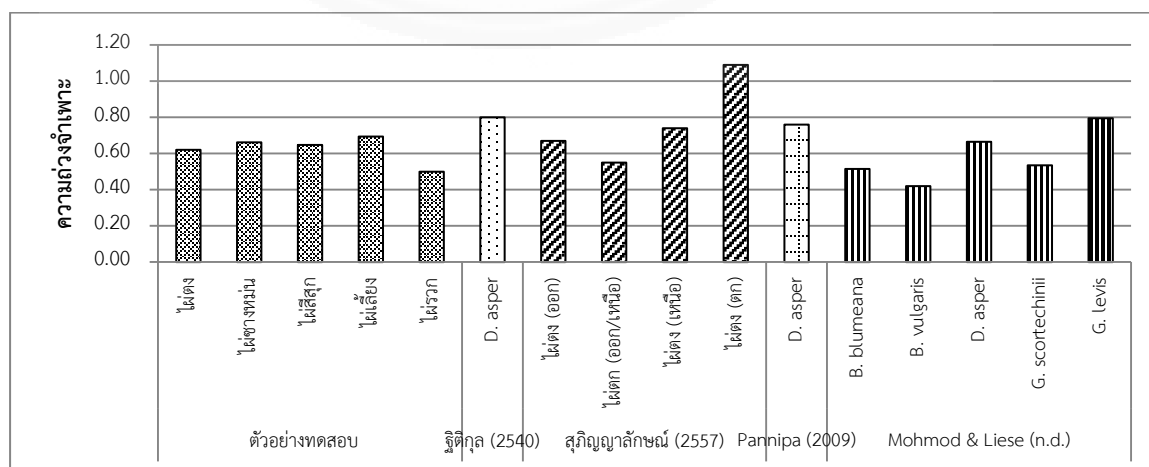
ที่มา	วัสดุ	ความถ่วงจำเพาะ	โมดูลัสการแตกร้าว (กก./ตร.ซม.)	โมดูลัสความยืดหยุ่น (กก./ตร.ซม.)	กำลังต้านทานแรงอัด//เสี้ยน (กก./ตร.ซม.)	กำลังต้านทานแรงอัดLเสี้ยน (กก./ตร.ซม.)	กำลังต้านทานแรงเฉือน (กก./ตร.ซม.)
ตัวอย่างทดสอบ	ไผ่ตง	0.62	1,532.50	132,934.25	560.26	92.40	115.03
	ไผ่ชางหม่น	0.66	1,810.85	155,157.86	753.26	51.20	138.87
	ไผ่สีสุก	0.65	1,820.88	158,144.40	604.67	48.01	127.67
	ไผ่เลี้ยง	0.69	1,700.50	176,523.98	629.88	53.29	112.93
	ไผ่รวก	0.50	1,095.90	121,817.38	410.77	18.99	84.93
งานวิจัยอื่นๆ	Thailand ^ก						
	<i>D. asper</i>	0.80	1,350.00	131,150.00	720.00	-	140.00
	Thailand ^ข						
	ไผ่ตง (ออก)	0.67	1,222.40	227,078.10	415.20	-	60.20
	ไผ่ตง (ออก/เหนือ)	0.55	1,267.20	248,237.90	512.40	-	72.60
	ไผ่ตง (เหนือ)	0.74	1,302.10	316,035.70	396.40	-	66.80
Thailand ^ค							
<i>D. asper</i>	0.76	1,275.20-2,534.50	84,652.50-252,550.00	-	45.70-283.00	80.50-153.60	

ตารางที่ 5.2 (ต่อ)

ค่าเฉลี่ยคุณสมบัติเชิงกลของไม้กับงานวิจัยอื่นๆ

ที่มา	วัสดุ	ความถ่วง จำเพาะ	โมดูลัสการ แตกร้าว (กก./ตร.ซม.)	โมดูลัสความ ยืดหยุ่น (กก./ตร.ซม.)	กำลังต้านทาน แรงอัด//เส้น (กก./ตร.ซม.)	กำลังต้านทาน แรงอัดLเส้น (กก./ตร.ซม.)	กำลังต้านทาน แรงเฉือน (กก./ตร.ซม.)
งานวิจัย อื่นๆ	Malaysia¹						
	<i>B. blumeana</i>	0.43- 0.60	431-1,564	26,000- 56,000	195-285	-	40-49
	<i>B. vulgaris</i>	0.27- 0.57	461-784	41,000- 81,000	205-300	-	33-48
	<i>D. asper</i>	0.55- 0.78	489-1,224	38,000- 88,000	283-346	-	44-63
	<i>G. scortechinii</i>	0.47- 0.60	359-689	37,000- 59,000	216-323	-	36-49
	<i>G. levis</i>	0.65- 0.94	376-1,194	37,000- 65,000	373-428	-	37-58

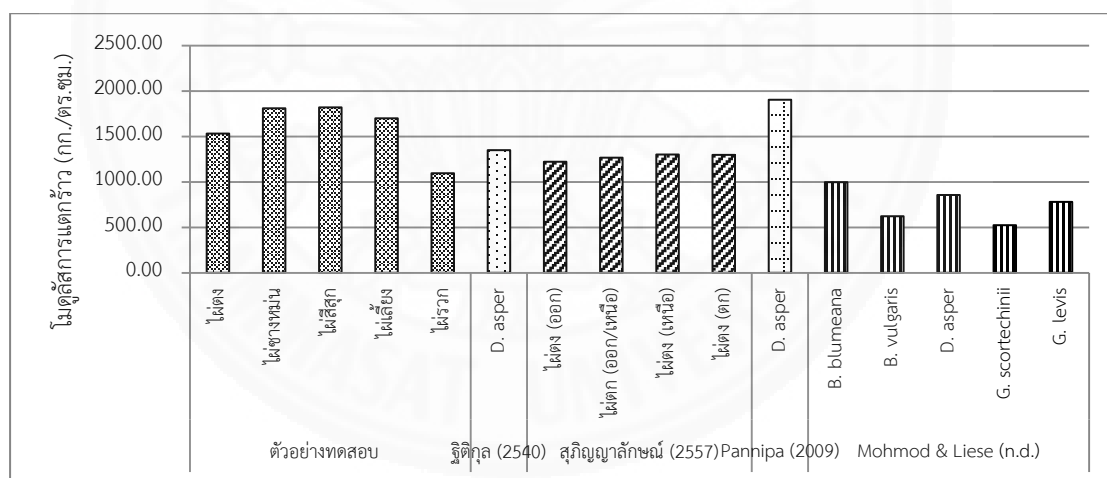
หมายเหตุ. ¹ จาก สมบัติทางกายภาพและเชิงกลของไม้ไม้ตง (น. 72-73), โดย ฐิติกุล ภาคศิริ, 2540, กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ² จาก “การศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของไม้ตงเพื่อสร้างค่ามาตรฐานกลางของวัสดุและการประยุกต์ใช้ในงานโครงสร้างสำหรับอาคารสาธารณะ,” โดย สุภิญญาลักษณ์ จันทรวงศ์ และ สุปรวีดี ฤทธิรงค์, 2557, *Built environment research associates conference*, 5, น. 129. ³ From *Utilization of bamboo* (p.58-63), by Mohmod and Liese, n.d., n.p. ⁴ From *The suitability of Dendrocalamus asper backer for oriented strand lumber* (p. 39-40), by Pannipa Malanit, 2009, Hamberg



ภาพที่ 5.2 ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยของไม้กับงานวิจัยอื่นๆ

ไผ่ตง ไผ่ชางหม่น ไผ่สุก และไผ่รวกมีค่าความถ่วงจำเพาะจัดอยู่ในช่วงใกล้เคียงกับไผ่ตง จากภูมิภาคต่างๆของประเทศไทยดังปรากฏในงานวิจัยอ้างอิงของสุภิญญาลักษณ์ (2557) ยกเว้นไผ่ตง จากภาคเหนือที่มีค่าความถ่วงจำเพาะสูงโดดเด่นกว่าไผ่ตงจากภูมิภาคอื่น และยังมีค่าใกล้เคียงกับไผ่ตง จากงานวิจัยอ้างอิงของ Pannipa (2009) และไผ่ตงจากงานวิจัยอ้างอิงของ Mohmod and Liese (n.d.) ทั้งนี้ตัวอย่างทดสอบทั้ง 5 สายพันธุ์ผู้วิจัยได้ทำการเก็บตัวอย่างจากจังหวัดปราจีนบุรี ซึ่งอยู่ในภาค ตะวันออกของประเทศไทย เมื่อพิจารณาผลการทดสอบความถ่วงจำเพาะประกอบกับงานวิจัยอ้างอิง สะท้อนให้เห็นว่าสภาพแวดล้อมมีผลต่อค่าความถ่วงจำเพาะอย่างชัดเจน

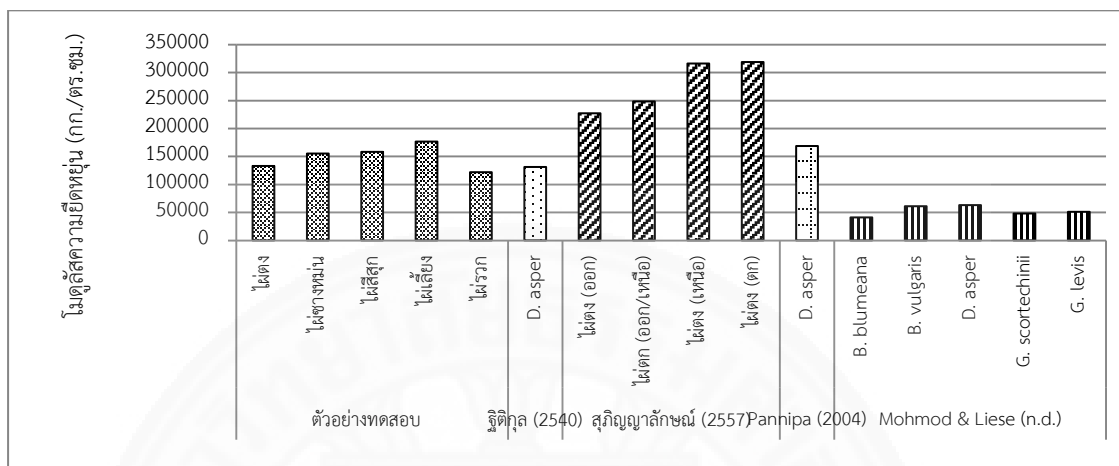
ไผ่รวกมีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าไผ่ชนิดอื่นๆ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับไผ่สีสุก ไผ่เหลียง และไผ่ผากเพลิง จากงานวิจัยอ้างอิงของ Modmod and Liese (n.d.) ซึ่งทำการทดสอบไผ่ที่มีพื้นที่ เพาะปลูกในประเทศมาเลเซีย แต่ไผ่สีสุกที่ทำการทดสอบไม่ได้มีค่าความถ่วงจำเพาะของไผ่สีสุกจาก งานวิจัยอ้างอิง ความถ่วงจำเพาะของไผ่สีสุกที่ทำการทดสอบมีค่าสูงกว่าความถ่วงจำเพาะของงานวิจัย อ้างอิง ผลดังกล่าวเป็นตัวยืนยันอีกครั้งว่าลักษณะทางภูมิประเทศและลักษณะของภูมิอากาศที่ทำการ ทดสอบส่งผลต่อคุณสมบัติของไผ่



ภาพที่ 5.3 โมดูลัสการแตกร้าวเฉลี่ยของไผ่กับงานวิจัยอื่นๆ

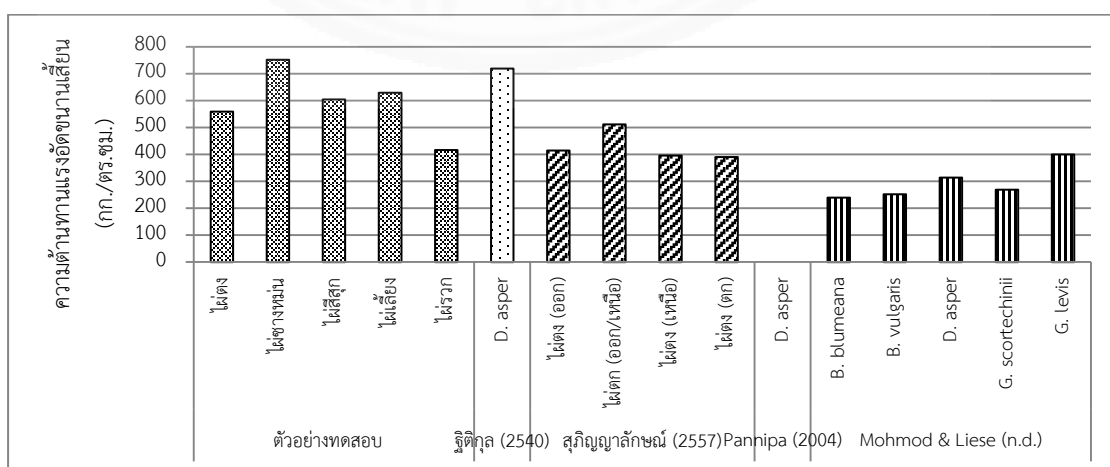
ค่าโมดูลัสการแตกร้าวเฉลี่ยของไผ่ตง ไผ่ชางหม่น ไผ่สีสุก และไผ่เหลียงที่ทำการทดสอบมี ค่าสูงกว่างานวิจัยอื่น ๆ อย่างชัดเจน แต่มีค่าใกล้เคียงกับไผ่ตงจากงานวิจัยอ้างอิงของ Pannipa (2009) ไผ่รวกมีค่าโมดูลัสการแตกร้าวต่ำกว่าไผ่ชนิดอื่นที่ทำการทดสอบ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับไผ่ตงจากงานวิจัย อ้างอิงของฐิติกุล (2540) ไผ่ตงจากทั้ง 4 ภูมิภาคจากงานวิจัยอ้างอิงของสุภิญญาลักษณ์ (2557) และ ไผ่สีสุกจากงานวิจัยอ้างอิงของ Mohmod and Liese (n.d.) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการมีสภาพแวดล้อม

ในการเพาะปลูก อายุ กระบวนการเก็บตัวอย่าง รวมถึงกรรมวิธีในการทดสอบที่แตกต่างกัน และยังส่งผลให้เกิดความแตกต่างของค่าโมดูลัสการแตกร้าวในไฟส่ายพันธุ์เดียวกัน



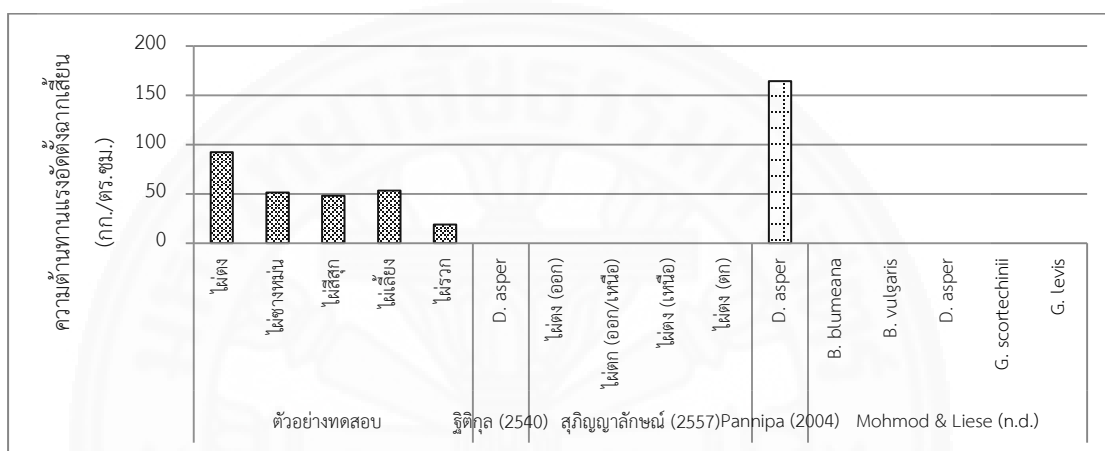
ภาพที่ 5.4 โมดูลัสความยืดหยุ่นเฉลี่ยของไม้กับงานวิจัยอื่นๆ

ไม้ทั้ง 5 สายพันธุ์ที่ทำการทดสอบมีค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นอยู่ในช่วงที่ไม่แตกต่างกันมากนัก และมีค่าใกล้เคียงกับโมดูลัสความยืดหยุ่นของไม้ตงจากงานวิจัยอ้างอิงของ Ruttiquol และไม้ตงจากงานวิจัยอ้างอิงของ Pannipa (2009) แต่มีค่าต่ำกว่าไม้ตงจากทั้ง 4 ภูมิภาคในงานวิจัยของ Sukhanyalakshani (2557) ค่อนข้างมาก เนื่องจากลักษณะของตัวอย่างทดสอบและกระบวนการทดสอบที่แตกต่างกัน โดยผู้วิจัยทำการทดสอบในส่วนของเนื้อไม้แต่งงานวิจัยอ้างอิงของ Sukhanyalakshani (2557) ทำการทดสอบโดยใช้ไม้ทั้งลำ ผลที่ได้จึงมีค่าแตกต่างกันค่อนข้างสูง ทั้งนี้โมดูลัสความยืดหยุ่นที่ได้จากการทดสอบยังมีค่าสูงกว่าไม้ตงจากงานวิจัยอ้างอิงของ Mohmod and Liese (n.d.) ประมาณ 2-3 เท่า



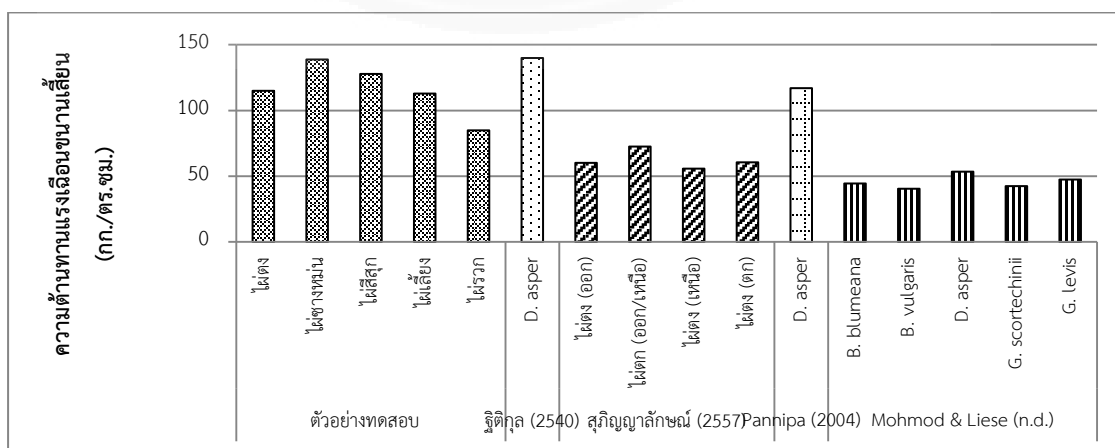
ภาพที่ 5.5 กำลังต้านทานแรงอัดขนานเฉลี่ยของไม้กับงานวิจัยอื่นๆ

ไม้ขางหม่นมีกำลังต้านทานแรงอัดขนานเสี้ยนเฉลี่ยที่สูงโดดเด่นที่สุดจากไม้ทั้ง 5 สายพันธุ์ และมีค่าใกล้เคียงกับไม้เตงจากงานวิจัยอ้างอิงของฐิติกุล (2540) ไม้เตง ไม้สีสุก และไม้เลียงมีกำลังต้านทานแรงอัดขนานเสี้ยนเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกัน แต่ไม่ได้ใกล้เคียงกับงานวิจัยอ้างอิงใดใด ส่วนไม้รวกมีกำลังต้านทานแรงอัดขนานเสี้ยนเฉลี่ยต่ำที่สุดจากไม้ที่ทำการทดสอบทั้งหมดและมีค่าใกล้เคียงกับไม้เตงจากภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคตะวันตกในงานวิจัยอ้างอิงของสุภิญญาลักษณ์ (2557) และไม้สายพันธุ์ *G. levis* จากงานวิจัยอ้างอิงของ Modmod and Liese (n.d.)



ภาพที่ 5.6 กำลังต้านทานแรงอัดตั้งฉากเสี้ยนเฉลี่ยของไม้กับงานวิจัยอื่นๆ

มีเพียงงานวิจัยอ้างอิงของ Pannipa (2009) ที่นำเสนอกำลังต้านทานแรงอัดตั้งฉากเสี้ยนของไม้เตง ซึ่งมีค่าสูงกว่าไม้ทั้ง 5 สายพันธุ์ที่ทำการทดสอบ 2-3 เท่า ทั้งนี้อาจจะเนื่องมาจากสภาพแวดล้อมที่เพาะปลูก อายุ ค่าความชื้น รวมถึงกระบวนการเตรียมชิ้นตัวอย่างและกระบวนการทดสอบที่แตกต่างกัน



ภาพที่ 5.7 กำลังต้านทานแรงเฉือนขนานเสี้ยนเฉลี่ยของไม้กับงานวิจัยอื่นๆ

ไฟตง ไฟสี่สูก และไฟเลี้ยงที่ทำการทดสอบมีกำลังต้านทานแรงเฉือนเฉลี่ยใกล้เคียงกับงานวิจัยอ้างอิงของ Pannipa (2009) ไฟซางหม่นมีกำลังต้านทานแรงเฉือนสูงสุดในไฟทั้ง 5 สายพันธุ์ที่ทำการทดสอบและมีค่าใกล้เคียงกับไฟตงในงานวิจัยอ้างอิงของฐิติกุล ส่วนไฟรวกมีกำลังต้านทานแรงเฉือนต่ำที่สุด มีค่าสูงกว่าและใกล้เคียงกับไฟในภาคตะวันออกเฉียงเหนือจากงานวิจัยของสุภิญญาลักษณ์ (2557) ทั้งนี้ความแตกต่างของกำลังต้านทานแรงเฉือนของไฟตงที่ผู้วิจัยทำการทดสอบและงานวิจัยของสุภิญญาลักษณ์ (2557) มีค่าแตกต่างกันมากนั้น เนื่องมาจากกรรมวิธีในการทดสอบ ผู้วิจัยทำการทดสอบโดยทดสอบเฉพาะส่วนของเนื้อไม้ แต่งานวิจัยอ้างอิงทำการทดสอบโดยใช้ไฟทั้งลำ

ความแตกต่างของประสิทธิภาพวัสดุระหว่างไฟที่ทำการทดสอบและไฟจากกรณีศึกษาอาจเกิดจากปัจจัยในเรื่องของสายพันธุ์ อายุ สภาพแวดล้อมที่เพาะปลูก ซึ่งแต่ละประเทศจะมีลักษณะของสภาพภูมิประเทศและสภาพภูมิอากาศที่แตกต่างกัน ทำให้มีลักษณะทางกายภาพแตกต่างกันและส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติเชิงกลของไฟ ทั้งนี้กรรมวิธีในการเก็บและเตรียมตัวอย่าง รวมถึงวิธีการทดสอบคุณสมบัติก็มีผลต่อคุณสมบัติเชิงกลของไฟเช่นกัน

5.1.3 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของไฟกับไม้ชนิดอื่นๆ

ตารางที่ 5.3

ค่าเฉลี่ยคุณสมบัติเชิงกลของไฟกับไม้ชนิดอื่นๆ

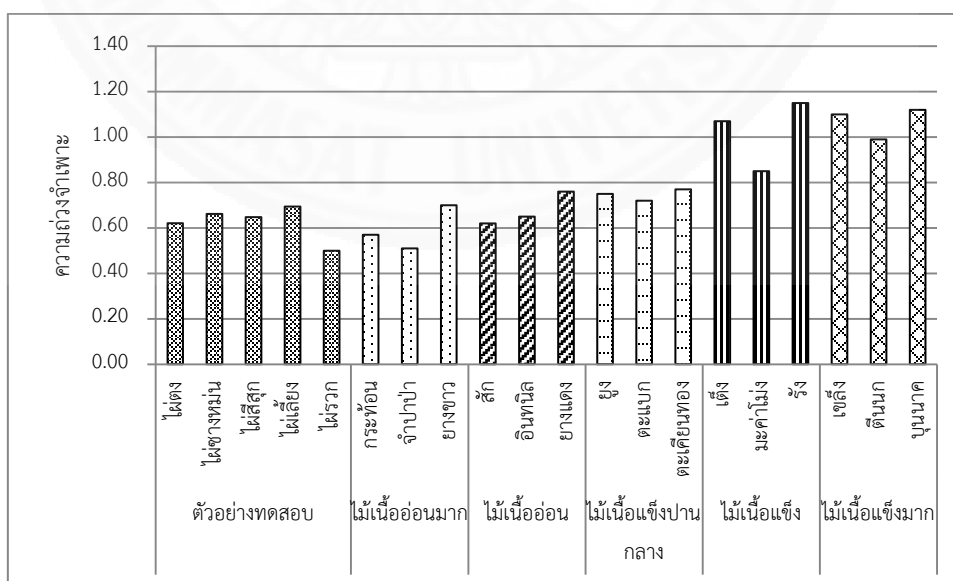
ที่มา	วัสดุ	ความถ่วงจำเพาะ	โมดูลัสการแตกร้าว (กก./ตร.ซม.)	โมดูลัสความยืดหยุ่น (กก./ตร.ซม.)	กำลังต้านทานแรงอัด//เสี้ยน (กก./ตร.ซม.)	กำลังต้านทานแรงอัดLเสี้ยน (กก./ตร.ซม.)	กำลังต้านทานแรงเฉือน (กก./ตร.ซม.)
ตัวอย่างทดสอบ	ไฟตง	0.62	1,532.50	132,934.25	560.26	92.40	115.03
	ไฟซางหม่น	0.66	1,810.85	155,157.86	753.26	51.20	138.87
	ไฟสี่สูก	0.65	1,820.88	158,144.40	604.67	48.01	127.67
	ไฟเลี้ยง	0.69	1,700.50	176,523.98	629.88	53.29	112.93
	ไฟรวก	0.50	1,095.90	121,817.38	410.77	18.99	84.93
งานวิจัยอื่นๆ	ไม้เนื้ออ่อนมาก						
	กระท้อน	0.57	485.00	74,927.00	194.00	71.00	66.00
	จำปาป่า	0.51	553.00	76,102.00	279.00	71.00	157.00
	ยางขาว	0.70	612.00	89,929.00	312.00	65.00	161.00
	ไม้เนื้ออ่อน						
	สัก	0.62	641.00	81,537.00	327.00	80.00	134.00
อินทนิล	0.65	697.00	92,720.00	340.00	77.00	157.00	
ยางแดง	0.76	739.00	113,651.00	367.00	65.00	166.00	

ตารางที่ 5.3 (ต่อ)

ค่าเฉลี่ยคุณสมบัติเชิงกลของไม้กับไม้ชนิดอื่นๆ

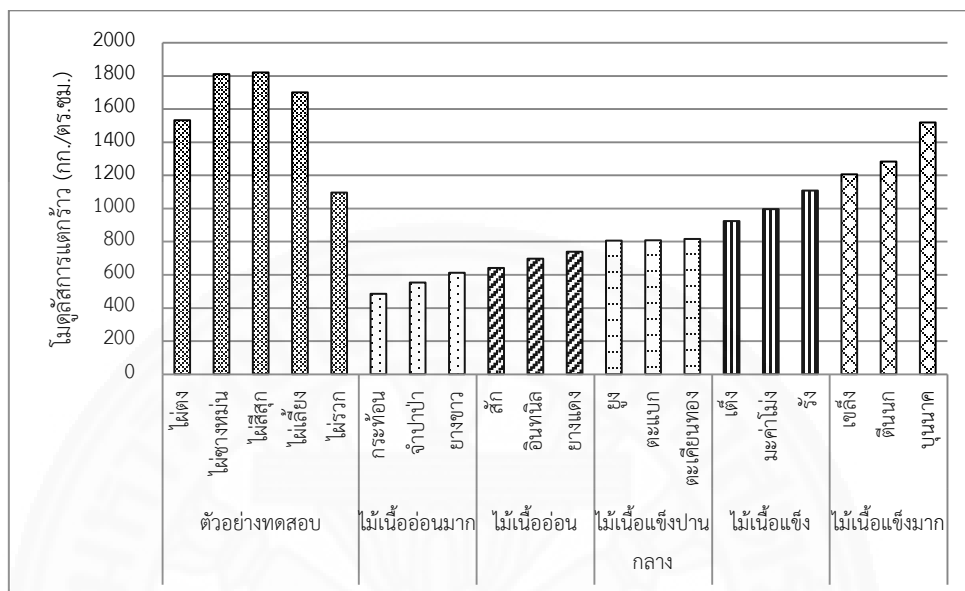
ที่มา	วัสดุ	ความถ่วง จำเพาะ	โมดูลัสการ แตกร้าว (กก./ตร.ซม.)	โมดูลัสความ ยืดหยุ่น (กก./ตร.ซม.)	กำลังต้านทาน แรงอัด//เสี้ยน (กก./ตร.ซม.)	กำลังต้านทาน แรงอัดLเสี้ยน (กก./ตร.ซม.)	กำลังต้านทาน แรงเฉือน (กก./ตร.ซม.)
งานวิจัย อื่นๆ	ไม้เนื้อแข็งปาน กลาง						
	ยูง	0.75	806.00	120,586.00	364.00	68.00	174.00
	ตะแบก	0.72	808.00	112,556.00	374.00	105.00	175.00
	ตะเคียนทอง	0.77	816.00	104,940.00	354.00	116.00	123.00
	ไม้เนื้อแข็ง						
	เต็ง	1.07	924.00	115,464.00	443.00	184.00	146.00
	มะค่าโมง	0.85	996.00	101,721.00	463.00	121.00	167.00
	รัง	1.15	1,108.00	153,607.00	296.00	182.00	176.00
	ไม้เนื้อแข็งมาก						
	เขลียง	1.10	1,206.00	197.89	725.00	267.00	235.00
	ตีนนก	0.99	1,283.00	181.02	482.00	225.00	208.00
	บุนนาค	1.12	1,519.00	230.69	519.00	211.00	129.00

หมายเหตุ. การทดสอบวัสดุ, สิทธิชัย แสงอาทิตย์, ม.ป.ป. , มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, สาขา
วิศวกรรมโยธา



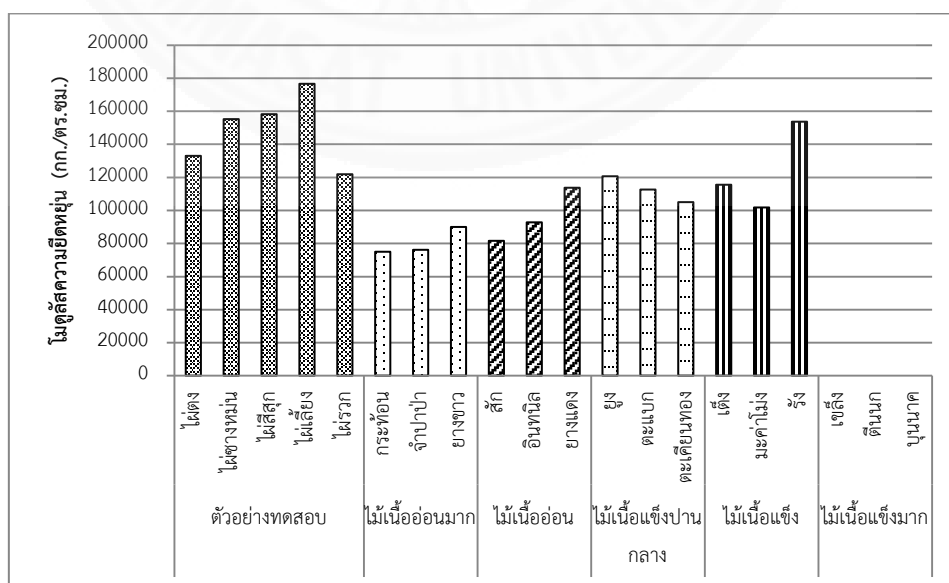
ภาพที่ 5.8 ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยของไม้กับไม้ชนิดอื่นๆ

ไผ่ตง ไผ่ชางหม่น ไผ่สีสุก และไผ่เลี้ยงมีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยอยู่ในช่วงของไม้เนื้ออ่อน แต่ไผ่รวกมีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยอยู่ในช่วงของไม้เนื้ออ่อนมาก



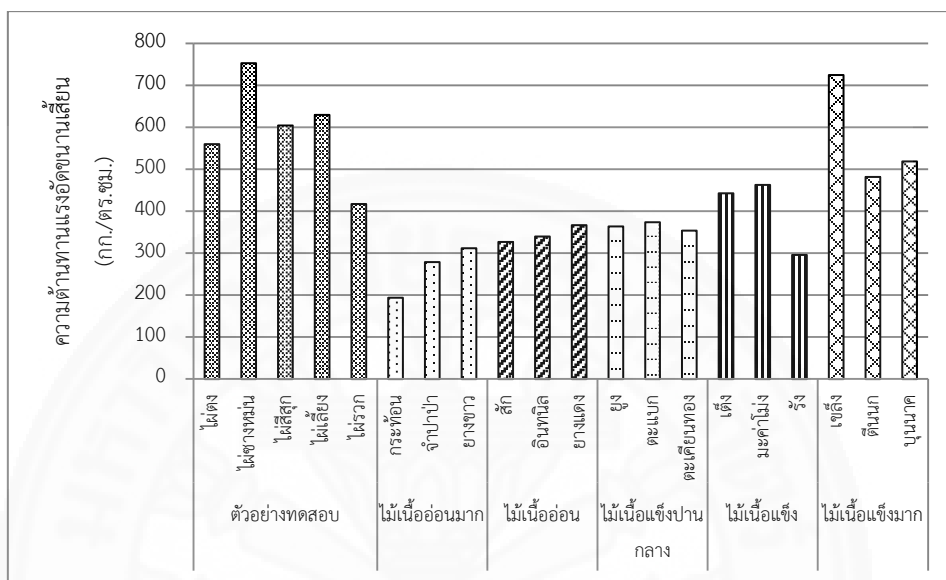
ภาพที่ 5.9 โมดูลัสการแตกร้าวเฉลี่ยของไผ่กับไม้ชนิดอื่นๆ

ไผ่ตงมีค่าโมดูลัสการแตกร้าวเฉลี่ยจัดอยู่ในช่วงเดียวกับไม้เนื้อแข็งมาก ไผ่รวกที่มีค่าโมดูลัสการแตกร้าวเฉลี่ยอยู่ในช่วงเดียวกับไม้เนื้อแข็ง ส่วนไผ่ชางหม่น ไผ่เลี้ยง และไผ่สีสุกมีค่าโมดูลัสการแตกร้าวเฉลี่ยที่สูงกว่าไม้เนื้อแข็งมาก



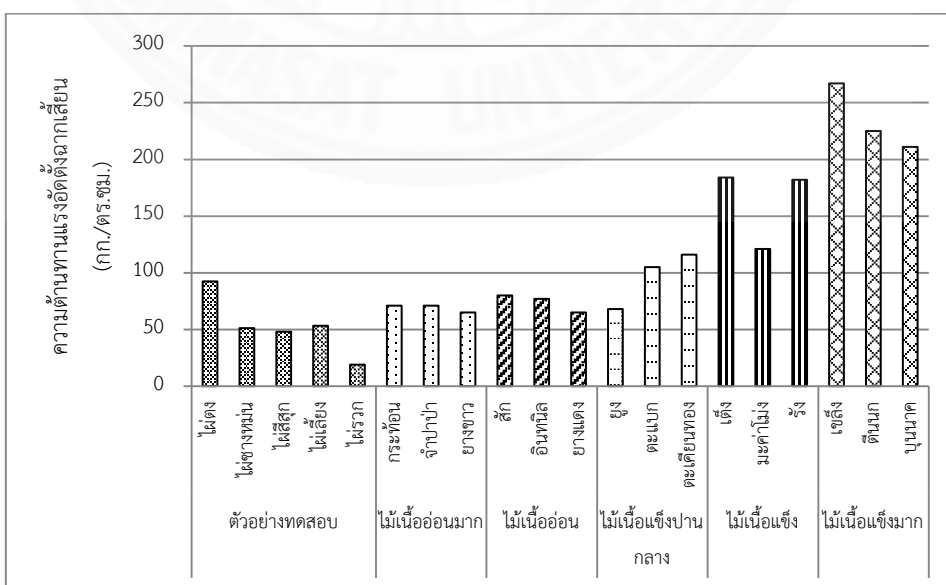
ภาพที่ 5.10 โมดูลัสความยืดหยุ่นเฉลี่ยของไผ่กับไม้ชนิดอื่นๆ

ไผ่ตง ไผ่ชางหม่น และไผ่สีสุก มีค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นเฉลี่ยอยู่ในช่วงของไม้เนื้อแข็ง ไผ่รวกมีค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นเฉลี่ยอยู่ในช่วงของไม้เนื้อแข็งปานกลาง ส่วนไผ่เลี้ยงมีค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นเฉลี่ยที่สูงโดดเด่นซึ่งมีค่าสูงกว่าไผ่สายพันธุ์อื่นที่ทำการทดสอบและมีค่าสูงกว่าไม้เนื้อแข็ง



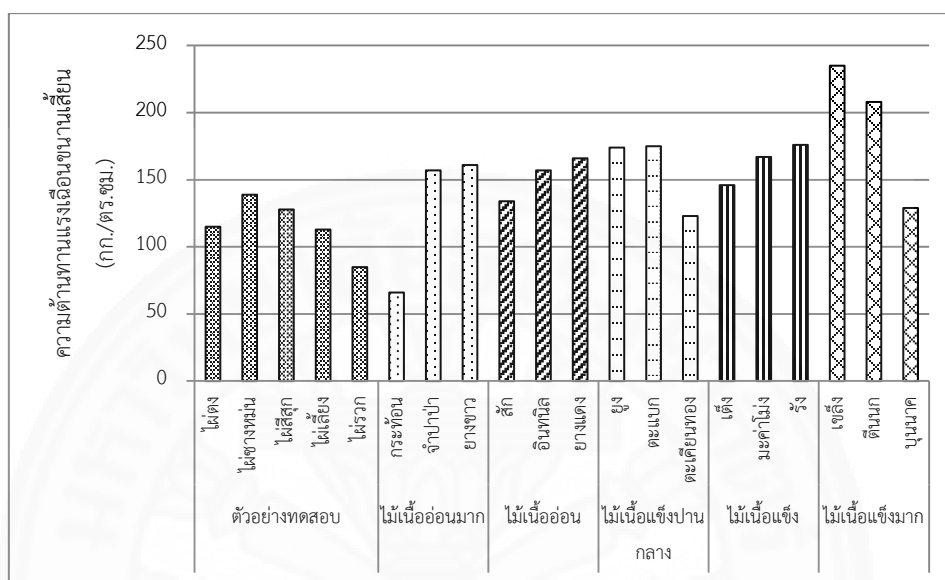
ภาพที่ 5.11 กำลังต้านทานแรงอัดขนานเฉลี่ยของไผ่กับไม้ชนิดอื่นๆ

ไผ่ตง ไผ่ชางหม่น ไผ่สีสุก และไผ่เลี้ยงมีกำลังต้านทานแรงอัดขนานเฉลี่ยอยู่ในช่วงของไม้เนื้อแข็งมาก ส่วนไผ่รวกมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วงของไม้เนื้อแข็ง



ภาพที่ 5.12 กำลังต้านทานแรงอัดตั้งฉากเฉลี่ยของไผ่กับไม้ชนิดอื่นๆ

ไผ่ตงมีกำลังต้านทานแรงอัดตั้งฉากเสี้ยนเฉลี่ยอยู่ในช่วงของไม้เนื้อแข็งปานกลาง ไผ่ชางหม่น ไผ่สีสุก และไผ่เลี้ยงมีประสิทธิภาพความต้านทานแรงอัดตั้งฉากเสี้ยนเฉลี่ยต่ำกว่าไม้เนื้ออ่อนมากไม่มากนัก ส่วนไผ่รวกมีค่าประมาณ 1 ใน 3 ของไม้เนื้ออ่อนมาก



ภาพที่ 5.13 กำลังต้านทานแรงเฉือนเฉลี่ยของไผ่กับไม้ชนิดอื่นๆ

กำลังต้านทานแรงเฉือนเฉลี่ยของของไม้มีค่าไม่หลากหลายหลายมากนักและไม่ได้แตกต่างกันอย่างชัดเจนในไม้แต่ละประเภทเหมือนคุณสมบัติอื่นๆ ทำให้การนำมาเปรียบเทียบกับคุณสมบัติของไผ่ไม่สามารถระบุชัดเจนได้ ในกรณีของไผ่ตง ไผ่สีสุก และไผ่เลี้ยงมีกำลังต้านทานแรงเฉือนเฉลี่ยใกล้เคียงกับตะเคียนทองซึ่งเป็นไม้เนื้อแข็งปานกลางและบุนนาคซึ่งเป็นไม้เนื้อแข็งมาก ไผ่ชางหม่นมีกำลังต้านทานแรงเฉือนเฉลี่ยใกล้เคียงกับสักซึ่งเป็นไม้เนื้ออ่อนและเต็งซึ่งเป็นไม้เนื้อแข็ง ส่วนไผ่รวกซึ่งมีกำลังต้านทานแรงเฉือนเฉลี่ยต่ำสุดมีค่าใกล้เคียงกับกระท่อนซึ่งเป็นไม้เนื้ออ่อนมาก

ทั้งนี้ความแตกต่างของประสิทธิภาพวัสดุระหว่างไผ่ที่ทำการทดสอบและไม้จากกรณีศึกษา เกิดจากปัจจัยในเรื่องประเภทของพันธุ์ไม้และโครงสร้างของเนื้อไม้

5.1.4 ประสิทธิภาพการรับน้ำหนักของโครงสร้าง

การคำนวณประสิทธิภาพการรับน้ำหนักของโครงสร้างเป็นการคำนวณหาน้ำหนักที่กระทำต่อโครงสร้างหลักของอาคารคือ เสา และคานของโครงสร้าง จากนั้นจึงนำเอาแรงดังกล่าวไปคำนวณเพื่อหาจำนวนของไผ่ที่ต้องใช้สำหรับเป็นโครงสร้างเสาและคานของอาคารที่ออกแบบ โดยการคำนวณดังกล่าวได้คิดค่าเผื่อในการออกแบบร่วมด้วย

ตารางที่ 5.4

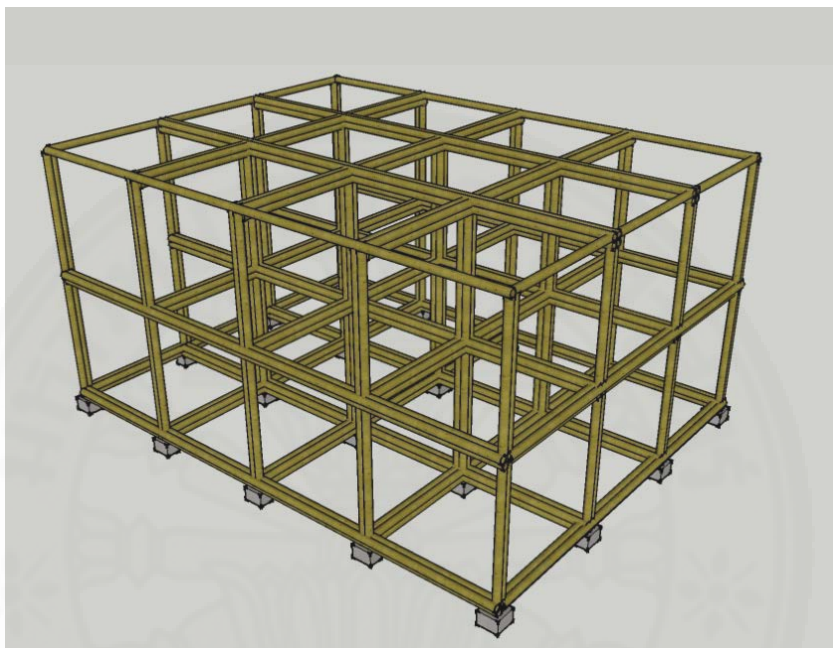
จำนวนไม้ที่ต้องใช้สำหรับเสาและคานของโครงสร้างไม้

	ไม้ตง	ไม้ช่างหม่น	ไม้สีสุก	ไม้เลียง	ไม้รวก
เสา					
เสา C1	2 ลำ	2 ลำ	2 ลำ	2 ลำ	> 4 ลำ
เสา C2	2 ลำ	2 ลำ	2 ลำ	4 ลำ	> 4 ลำ
เสา C3	4 ลำ	4 ลำ	4 ลำ	> 4 ลำ	> 4 ลำ
เสา C4	1 ลำ	1 ลำ	1 ลำ	1 ลำ	2 ลำ
เสา C5	1 ลำ	1 ลำ	1 ลำ	2 ลำ	2 ลำ
เสา C6	2 ลำ	2 ลำ	2 ลำ	2 ลำ	4 ลำ
คาน					
คาน B1	3 ลำ	3 ลำ	4 ลำ	> 4 ลำ	> 4 ลำ
คาน B2	> 4 ลำ	> 4 ลำ	> 4 ลำ	> 4 ลำ	> 4 ลำ
คาน B3	1 ลำ	1 ลำ	2 ลำ	2 ลำ	3 ลำ
คาน B4	4 ลำ	4 ลำ	> 4 ลำ	> 4 ลำ	> 4 ลำ

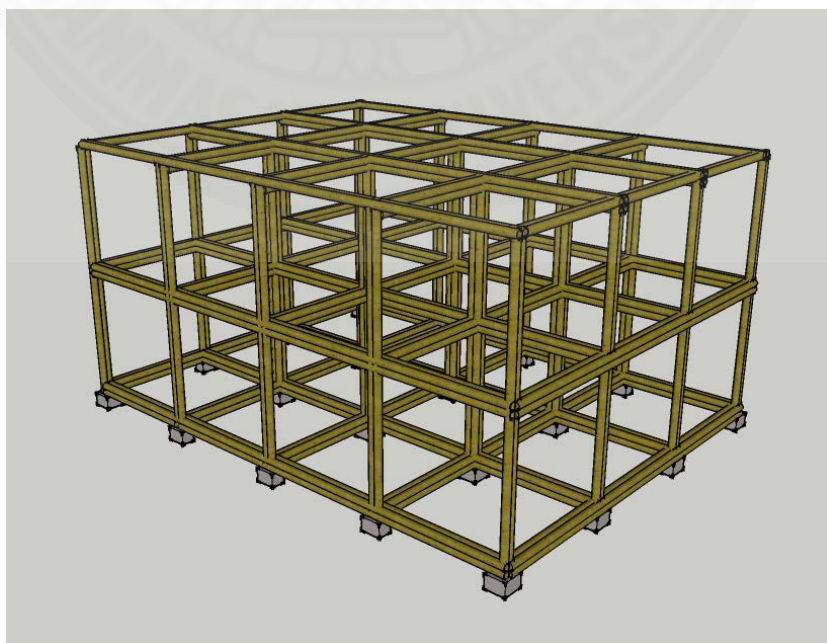
ไม้ทั้ง 5 สายพันธุ์มีประสิทธิภาพในการรับน้ำหนักของโครงสร้างที่แตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติเชิงกลของไม้ที่ทำการทดสอบก่อนหน้า ทั้งนี้จำนวนไม้ที่ต้องใช้ในการก่อสร้างโครงสร้างไม้ไผ่ก็แตกต่างกันตามคุณสมบัติของไม้แต่ละสายพันธุ์เช่นกัน เนื่องจากไม้ตง และไม้ช่างหม่นเป็นไม้ขนาดใหญ่ จึงมีประสิทธิภาพการรับน้ำหนักดีกว่าไม้อื่นๆ โดยต้องใช้ไม้ 1-4 ลำ สำหรับเสา, คาน และต้องใช้มากกว่า 4 ลำ สำหรับคาน 1 แบบของโครงสร้าง ไม้สีสุกมีประสิทธิภาพในการรับน้ำหนักของโครงสร้างรองลงมา โดยต้องใช้ไม้ 1-4 ลำ สำหรับเสา, 2-4 ลำ และมากกว่า 4 ลำ สำหรับคานของโครงสร้าง ไม้เลียงเป็นไม้ขนาดกลางต้องใช้ไม้ 1-4 ลำ และมากกว่า 4 ลำ สำหรับเสาของโครงสร้าง, 3 ลำ และมากกว่า 4 ลำ สำหรับคานของโครงสร้าง ส่วนไม้รวกนั้นไม่สามารถรับน้ำหนักของโครงสร้างได้ด้วยการใช้ไม้แค่ 4 ลำ แต่สามารถออกแบบโครงสร้างของไม้รวกได้โดยใช้ไม้มากกว่า 5 ลำ โดยวิเคราะห์จากผลการคำนวณการรับน้ำหนักของโครงสร้างไม้รวก

ทั้งงานวิจัยได้ศึกษาการรวบลำไม้สำหรับเป็นเสาและคานของโครงสร้างโดยใช้ไม้ 1-4 ลำเท่านั้น หากต้องการออกแบบโครงสร้างของไม้ทั้ง 5 สายพันธุ์ ให้มีประสิทธิภาพในการรับน้ำหนักของโครงสร้างได้ในทุกส่วนของโครงสร้างสามารถทำได้โดยการออกแบบให้หน้าตัดของเสามี

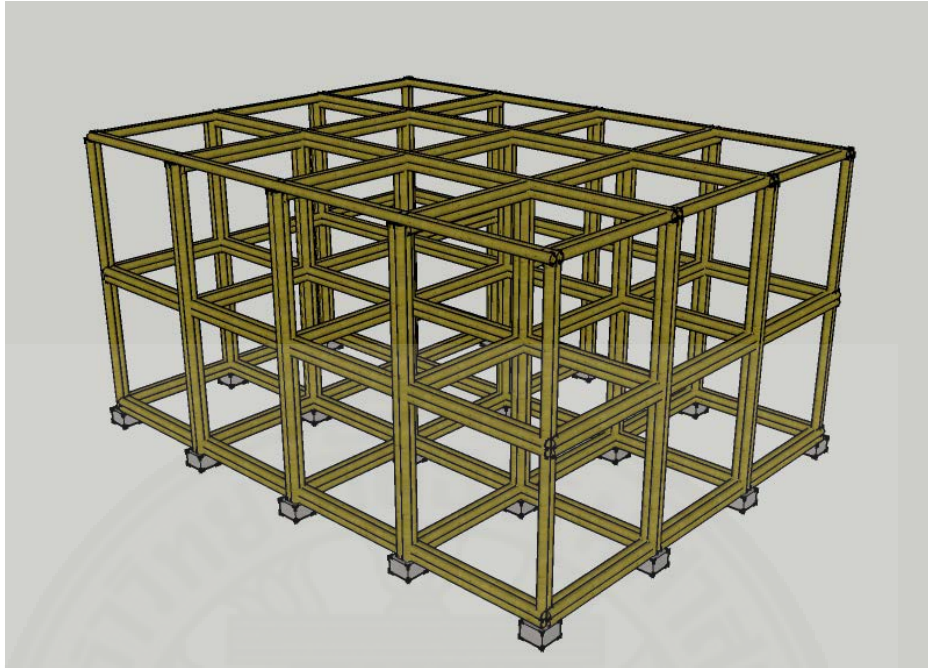
ค่าโมเมนต์อินเนอร์เซียร์มากกว่าหรือเท่ากับโมเมนต์อินเนอร์เซียของเสาในโครงสร้างที่ออกแบบ และ ออกแบบหน้าตัดของคานให้มีค่าโมดูลัสที่จุดตัดมากกว่าหรือเท่ากับโมดูลัสที่จุดตัดของคานใน โครงสร้างที่ออกแบบ และจำเป็นต้องใช้ไฟ้จำนวนมากกว่า 4 ลำ เพื่อประสิทธิภาพในการรับน้ำหนัก ของโครงสร้างที่เหมาะสมมากขึ้น



ภาพที่ 5.14 โครงสร้างไฟ้ตงและโครงสร้างไฟ้ขวางหม่น



ภาพที่ 5.15 โครงสร้างไฟ้สี่สุก



ภาพที่ 5.16 โครงสร้างไม้เลียง



ภาพที่ 5.17 รูปแบบอาคารสาธารณะขนาดเล็ก



ภาพที่ 5.17 (ต่อ) รูปแบบอาคารสาธารณะขนาดเล็ก

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 หน่วยแรงที่ยอมให้ของไม้

ตารางที่ 5.5

หน่วยแรงใช้งานที่ยอมให้ของไม้

	แรงดัดในคาน แรงดึงขนาน เสี้ยน (กก./ตร.ซม.)	แรงเฉือนขนานเสี้ยน (กก./ตร.ซม.)	แรงอัดขนานเสี้ยน (กก./ตร.ซม.)	แรงอัดตั้งฉากเสี้ยน (กก./ตร.ซม.)
ส่วนความปลอดภัย สำหรับไม้ก่อสร้างชั้น 2	6.50	9.00	5.57	2.50
ไม้ตง	1532.50	115.03	560.23	92.40
หน่วยแรงใช้งานที่ยอมให้	235.77	12.78	97.43	36.96

ตารางที่ 5.5 (ต่อ)

หน่วยแรงใช้งานที่ยอมให้ของไม้

	แรงดัดในคาน แรงดึงขนาน เสี้ยน (กก./ตร.ชม.)	แรงเฉือนขนานเสี้ยน (กก./ตร.ชม.)	แรงอัดขนานเสี้ยน (กก./ตร.ชม.)	แรงอัดตั้งฉากเสี้ยน (กก./ตร.ชม.)
ส่วนความปลอดภัย สำหรับไม้ก่อสร้างชั้น 2	6.50	9.00	5.57	2.50
ไม้ซางหม่น	1810.85	138.87	753.26	51.19
หน่วยแรงใช้งานที่ยอมให้	278.59	15.43	131.00	20.48
ไม้สีสุก	1820.88	127.88	604.67	48.01
หน่วยแรงใช้งานที่ยอมให้	280.14	14.21	105.16	19.20
ไม้เลี้ยว	1700.50	112.93	629.94	53.29
หน่วยแรงใช้งานที่ยอมให้	261.62	12.55	109.55	21.32
ไม้รวก	1095.91	84.94	417.44	18.99
หน่วยแรงใช้งานที่ยอมให้	168.60	9.44	72.60	7.60

ตารางที่ 5.6

หน่วยแรงใช้งานที่ยอมให้ของไม้และไม้ชนิดต่างๆ

ประเภท	หน่วยแรงใช้งานที่ยอมให้			
	แรงดัดในคาน แรงดึงขนานเสี้ยน (กก./ตร.ชม.)	แรงเฉือนขนาน เสี้ยน (กก./ตร.ชม.)	แรงอัดขนานเสี้ยน (กก./ตร.ชม.)	แรงอัดตั้งฉาก เสี้ยน (กก./ตร.ชม.)
ไม้ตง	235.77	12.78	97.43	36.96
ไม้ซางหม่น	278.59	15.43	131.00	20.48
ไม้สีสุก	280.14	14.21	105.16	19.20
ไม้เลี้ยว	261.62	12.55	109.55	21.32
ไม้รวก	168.60	9.44	72.60	7.60
ไม้เนื้ออ่อนมาก	60.00	6.00	45.00	12.00
ไม้เนื้ออ่อน	80.00	8.00	60.00	16.00
ไม้เนื้อแข็งปาน กลาง	100.00	10.00	75.00	22.00

ตารางที่ 5.6 (ต่อ)

หน่วยแรงใช้งานที่ยอมให้ของไฟและไม้ชนิดต่างๆ

ประเภท	หน่วยแรงใช้งานที่ยอมให้			
	แรงดัดในคาน แรงดึงขนานเสี้ยน (กก./ตร.ซม.)	แรงเฉือนขนานเสี้ยน (กก./ตร.ซม.)	แรงอัดขนานเสี้ยน (กก./ตร.ซม.)	แรงอัดตั้งฉากเสี้ยน (กก./ตร.ซม.)
ไม้เนื้อแข็ง	120.00	12.00	90.00	30.00
ไม้เนื้อแข็งมาก	150.00	15.00	110.00	40.00

หมายเหตุ. การออกแบบโครงสร้างไม้ (น. 43), วิณิต ช่อวิเชียร, 2542, กรุงเทพฯ

5.2.2 แนวทางการเลือกใช้ไม้สำหรับงานทางด้านโครงสร้างให้มีความเหมาะสม

5.2.2.1 จุดเด่นและจุดด้อยของไม้

จากการทดสอบพบว่าไม้สามารถรับแรงดัดและแรงดึงได้ค่อนข้างสูง แต่มีจุดอ่อนในการรับแรงเฉือน และมีข้อเสียในเรื่องลักษณะการแตกของเนื้อไม้ คือหากเกิดการเสียหายเพียงเล็กน้อยบริเวณผิวภายนอกซึ่งมีความแข็งแรงมากกว่าเนื้อไม้ภายในก็จะส่งผลให้เกิดการเสียหายต่อเนื้อไม้ภายในหรืออาจจะส่งผลให้ไม้เกิดการเสียหายทั้งลำได้ เนื่องจากเส้นใยภายในของไม้เรียงตัวขนานกัน หากมีแรงมากจะทำให้เกิดการแตกหักในทิศทางเดียวกับเส้นใยไม้ในส่วนนั้นก็จะเกิดการเสียหายได้ในทันที เพราะไม้มีประสิทธิภาพในการรับแรงเฉือนในแนวขนานเสี้ยนที่ค่อนข้างต่ำ และไม้มีเส้นใยที่เรียงตัวตั้งฉากกับแรงเพื่อลดแรงที่มากกระทำหรือชะลอการแตกหักเพียงเล็กน้อยเท่านั้นซึ่งเส้นใยส่วนนั้นจะอยู่บริเวณข้อของไม้

5.2.2.2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณสมบัติของไม้

ไม้แต่ละตระกูลย่อมมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันค่อนข้างชัดเจน และต่างกันเล็กน้อยสำหรับต่างสายพันธุ์ ทั้งนี้ปัจจัยในเรื่องของสภาพแวดล้อมในการปลูก เช่น สภาพภูมิประเทศ สภาพภูมิอากาศก็มีผลต่อคุณสมบัติดังกล่าว เพราะสภาพแวดล้อมส่งผลต่อความชื้นและลักษณะการเรียงตัวของเนื้อไม้ หากเนื้อไม้มีการเรียงตัวกันหนาแน่นก็จะมีประสิทธิภาพในการรับแรงที่สูง เช่น ไม้ส่วนปลายมีลักษณะการเรียงตัวของเนื้อไม้ค่อนข้างหนาแน่นกว่าไม้ส่วนโคน ทำให้ประสิทธิภาพในการรับแรงมีค่าสูงกว่า แต่ข้อจำกัดของไม้ส่วนปลายคือมีขนาดเล็ก ทำให้ไม่สามารถนำไปใช้งานกับโครงสร้างขนาดใหญ่ได้โดยตรง ควรใช้ร่วมกับไม้ส่วนอื่นหรือใช้ไม้หลายลำในการรับน้ำหนักของโครงสร้างขึ้นอยู่กับความเหมาะสม เพื่อประสิทธิภาพและความปลอดภัยในการใช้งาน

5.2.2.3 การเลือกใช้ไฟในงานสถาปัตยกรรม

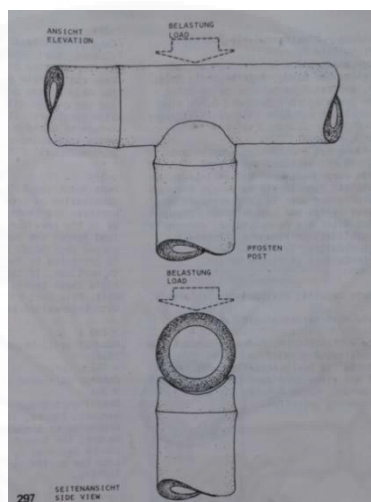
ในงานสถาปัตยกรรมคุณสมบัติของวัสดุเป็นปัจจัยสำคัญในการตัดสินใจเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสมกับลักษณะของงาน จากการศึกษาคุณสมบัติของไฟไทย 5 สายพันธุ์ เพื่อเสนอเป็นแนวทางในการเลือกใช้วัสดุทางเลือก ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติโดยรวมของไฟทั้ง 5 สายพันธุ์ พบว่าไฟตั้งเป็นไฟขนาดใหญ่และมีกำลังต้านทานแรงอัดตั้งฉากเสี้ยนเด่นกว่าคุณสมบัติอื่นๆ เหมาะแก่การนำมาใช้กับโครงสร้างขนาดใหญ่หรือนำมาใช้เป็นเสาสำหรับโครงสร้างหลักที่รับอัดมากกว่าแรงดึงและแรงเฉือน ไฟช่างหม่นมีคุณสมบัติโดยภาพรวมดีที่สุดในบรรดาไฟทั้ง 5 สายพันธุ์ เหมาะแก่การนำไปใช้งานได้หลายรูปแบบ รวมทั้งงานโครงสร้างขนาดใหญ่ที่มีประสิทธิภาพในการแรงดึง แรงอัด และแรงดัด หรือใช้เป็นโครงสร้างเสาและคานสำหรับโครงสร้างหลักได้อีกด้วย ไฟสี่เหลี่ยมมีกำลังต้านทานแรงดัดและกำลังต้านทานแรงเฉือนค่อนข้างสูงและดีกว่ากำลังต้านทานแรงอัด เหมาะสมกับงานที่มีรูปทรงค่อนข้างอิสระเพราะสามารถดัดโค้งได้ง่ายกว่าไฟขนาดใหญ่ แต่ไม่เหมาะสมสำหรับการนำมาเป็นโครงสร้างที่มีการรับแรงสูง ไฟเหลี่ยมมีค่ากำลังต้านทานแรงดัด กำลังต้านทานแรงอัดในแนวตั้งฉากเสี้ยนและโมดูลัสการแทรกัวร์สูงรองจากไฟช่างหม่น เหมาะแก่นำมาใช้เป็นคานสำหรับโครงสร้างหลัก ส่วนไฟเหลี่ยมลำเล็กก็สามารถนำมาดัดสำหรับโครงสร้างที่มีรูปทรงอิสระได้ ไฟรวมมีประสิทธิภาพต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับไฟอีก 4 สายพันธุ์ และมีขนาดเล็ก เหมาะกับงานโครงสร้างขนาดเล็กและมีการรับน้ำหนักน้อย เมื่อทราบถึงคุณสมบัติของวัสดุทำให้การเลือกใช้วัสดุที่มีเหมาะสมกับรูปแบบการใช้งานและความปลอดภัยมากขึ้น จึงไม่ใช่เรื่องยากอีกต่อไปที่จะหันมาสนใจเลือกใช้ไฟในงานสถาปัตยกรรม

5.2.3 วิธีการเชื่อมต่อลำไฟสำหรับงานโครงสร้างทางด้านสถาปัตยกรรมไม้ไฟ

ไฟเป็นวัสดุทางธรรมชาติ มีลักษณะเป็นทรงกระบอกภายในกลวงเกือบตลอดทั้งลำ สำหรับการนำไฟมาใช้งานทางด้านสถาปัตยกรรมนั้นนอกจากจะต้องออกแบบโครงสร้างและคำนึงถึงประสิทธิภาพในการรับแรงแล้วนั้นยังต้องคำนึงถึงจุดเชื่อมต่อของไฟด้วยเช่นกัน เนื่องจากการเชื่อมต่ออาจส่งผลให้เกิดการเสียหายกับเนื้อไม้ได้ เพราะไฟมีรูปทรงและหน้าตัดแตกต่างจากไม้ทั่วไป ที่ผ่านการแปรรูปให้มีหน้าตัดสี่เหลี่ยมเพื่อประสิทธิภาพในการรับแรงและความสะดวกในการเชื่อมต่อ การเชื่อมต่อของจุดต่างๆมีผลต่อความแข็งแรงของโครงสร้างเนื่องจากหากมีแรงมากระทำบริเวณจุดเชื่อมต่อจะเกิดความเสียหายจากการแยกหรือแตกออกจากกันของไม้ง่ายกว่ามีแรงมากระทำบริเวณเนื้อไม้โดยตรง ดังนั้นในการนำไฟมาใช้ในการสถาปัตยกรรมจึงต้องคำนึงถึงวิธีการเชื่อมต่อไฟเข้าด้วยกัน โดยต้องคำนึงถึงความสวยงามและประสิทธิภาพในการรับน้ำหนักร่วมด้วย

5.2.3.1 การบากไฟเพื่อการเชื่อมต่อ

เนื่องจากไฟมีรูปทรงเป็นทรงกระบอก ดังนั้นการจะเชื่อมต่อไฟให้เนื้อไม้แนบสนิทเข้าด้วยกันนั้นจำเป็นต้องมีการบากไฟบริเวณปลายบางส่วนให้โค้งรับกับลักษณะของลำไฟ ส่วนที่จะนำไปเชื่อมต่อ เพื่อให้เนื้อไม้บริเวณที่เชื่อมต่อแนบสนิทกันพอดี มีความสวยงาม ลดการเกิดช่องว่างในการเชื่อมต่อ และลดการเสียหายที่เกิดจากมอด แมลง รวมทั้งสภาพแวดล้อมที่จะส่งผลให้อายุการใช้งานของไฟสั้นลง



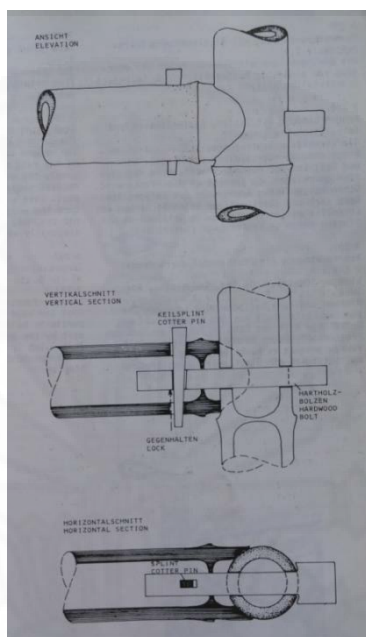
ภาพที่ 5.18 การบากไฟเพื่อการเชื่อมต่อ. IL31 Bambus-Bamboo (p. 151), Institute for Lightweight Structure, 1985, Stuttgart, Germany.



ภาพที่ 5.19 การบากไฟเพื่อการเชื่อมต่อสำหรับโครงสร้างไม้ไฟ

5.2.3.2 การเชื่อมต่อไฟโดยใช้ลิ้มไม้

การเชื่อมต่อไฟโดยใช้ลิ้มไม้เป็นกรรมวิธีในการเชื่อมต่อที่ปฏิบัติกันมาช้านาน โดยอาศัยวิธีการเชื่อมต่อโดยใช้สลักไม้แบบเดียวกับบ้านเรือนไทย แต่การเชื่อมต่อดังวิธีนี้จำเป็นต้องมีการเจาะไม้อาจส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อโครงสร้างได้ จึงจำเป็นต้องใช้ผู้ที่มีความเชี่ยวชาญทางด้านงานไม้ในการทำเพื่อลดความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับเนื้อไม้



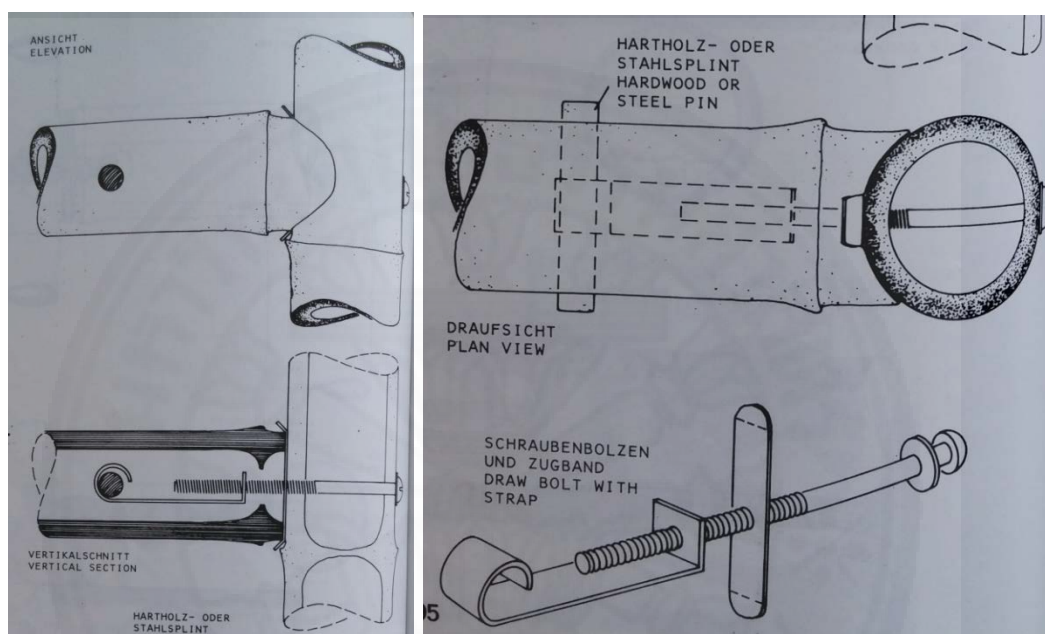
ภาพที่ 5.20 การเชื่อมต่อไฟโดยใช้ลิ้มไม้. *IL31 Bambus-Bamboo* (p. 149), Institute for Lightweight Structure, 1985, Stuttgart, Germany.



ภาพที่ 5.21 การเชื่อมต่อไฟโดยใช้ลิ้มไม้ โรงเรียนปัญญาเด่น จังหวัดเชียงใหม่

5.2.3.3 การเชื่อมต่อไฟโดยใช้เนื้อ

การเชื่อมต่อโดยใช้เนื้อเป็นการเชื่อมต่อในลักษณะเดียวกับการใช้ลิ่มไม้ และมีโอกาสเกิดความเสียหายจากการเจาะไฟเช่นเดียวกับการเชื่อมต่อด้วยลิ่มไม้ เพียงแต่เปลี่ยนวัสดุในการยึดไฟเข้าด้วยกันจากลิ่มไม้เป็นเนื้อ บางครั้งอาจจะใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเพื่อช่วยเพิ่มการยึดเกาะและเพิ่มความแข็งแรงของส่วนที่ทำการเชื่อมต่อ



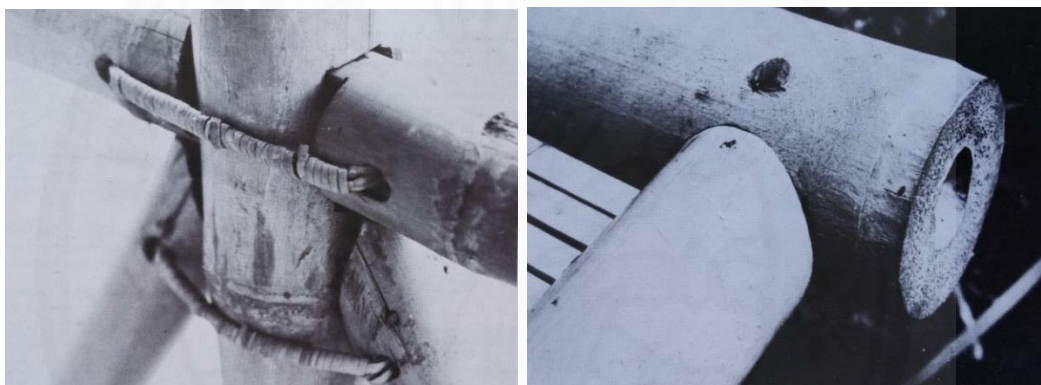
ภาพที่ 5.22 การเชื่อมต่อไฟโดยใช้เนื้อ. *IL31 Bambus-Bamboo* (p. 150), Institute for Lightweight Structure, 1985, Stuttgart, Germany.



ภาพที่ 5.23 การเชื่อมต่อไฟโดยใช้เนื้อสำหรับโครงสร้างไม้ไฟ

5.2.3.4 การลดความเสียหายของไม้ที่เกิดการแตกหักจากการเชื่อมต่อ

การเชื่อมต่อไม้เข้าด้วยกันนั้นจำเป็นต้องบากและเจาะไม้จึงทำให้เกิดความเสียหายบริเวณผิวภายนอกหรือเนื้อไม้ภายในได้ โดยทั่วไปตามธรรมชาติของไม้เมื่อเกิดความเสียหายบริเวณผิวภายนอกก็จะทำให้เกิดความเสียหายกระทบถึงเนื้อไม้ภายในหรืออาจจะเสียหายตลอดทั้งลำของไม้ ดังนั้นการเชื่อมต่อไม้เข้าด้วยกันนิยมทำในจุดที่ใกล้บริเวณข้อของไม้ดังรูปที่ 5.28 เพราะบริเวณใกล้ข้อของไม้มีความแข็งแรงมากกว่าและมีเนื้อไม้เยอะกว่าบริเวณปล้อง ทำให้เกิดความเสียหายได้ยากกว่าและมีประสิทธิภาพในการรับน้ำหนักได้มากกว่า ทั้งนี้ยังมีวิธีการช่วยป้องกันการแตกของไม้ที่อาจเกิดเพิ่มขึ้นในบริเวณที่ทำการเชื่อมต่อและยังสามารถใช้เป็นการตกแต่งไปในตัวได้เช่นกัน คือการใช้เชือก หรือวัสดุอื่นๆพันทับบริเวณที่ทำการเจาะเพื่อเชื่อมต่อไม้ ดังปรากฏในรูป 5.29 และ 5.30



ภาพที่ 5.24 การเชื่อมต่อไม้นิยมเชื่อมต่อบริเวณใกล้ข้อไม้. *IL31 Bambus-Bamboo* (p. 115), Institute for Lightweight Structure, 1985, Stuttgart, Germany.



ภาพที่ 5.25 การใช้เชือกหรือวัสดุอื่นๆพันทับบริเวณที่ทำการเจาะเพื่อลดความเสียหายจากการแตกของไม้. *IL31 Bambus-Bamboo* (p. 117), Institute for Lightweight Structure, 1985, Stuttgart, Germany.



ภาพที่ 5.26 การใช้เชือกพันทับบริเวณที่ทำการเจาะเพื่อลดความเสียหายจากการแตกของไม้
โรงเรียนปัญญาเด่น จังหวัดเชียงใหม่

5.2.3.5 การลดความเสียหายของไม้บริเวณฐานราก

การนำไม้สัมผัสกับดินโดยตรงทำให้เกิดความเสียหายจากปลวก ความชื้น และเชื้อราได้ง่าย ดังนั้นเพื่อยืดอายุการใช้งานของโครงสร้างไม้ไม้ควรหลีกเลี่ยงการนำไม้สัมผัสกับดินโดยตรง อาจจะใช้คอนกรีต หินเป็นฐานรากที่สัมผัสกับดิน จากนั้นจึงใช้เหล็กเชื่อมต่อเข้ากับไม้ส่วนที่เป็นเสาของโครงสร้าง



ภาพที่ 5.27 ฐานรากคอนกรีตของโครงสร้างไม้ไม้ที่โรงเรียนปัญญาประทีป จังหวัดนครราชสีมา



ภาพที่ 5.28 ฐานรากหินของโครงสร้างไม้ไผ่ โรงเรียนปัญญาเด่น จังหวัดเชียงใหม่

5.2.4 ข้อเสนอแนะในการวิจัย

5.2.4.1 การเก็บตัวอย่างสำหรับการทดสอบ

การขั้นตอนเก็บตัวอย่างผู้วิจัยไม่สามารถทราบอายุของไผ่ที่ทำการเก็บตัวอย่างได้แน่ชัด เนื่องจากไผ่ไม่มีวงปีบอกอายุชัดเจนเช่นเดียวกับไม้ การที่จะทราบถึงอายุของไผ่นั้นเป็นการบอกเล่าจากเจ้าของสวนเท่านั้น ดังนั้นอายุของไผ่ที่ทำการเก็บตัวอย่างจึงเป็นช่วงอายุโดยประมาณ

ไผ่ที่นำไปใช้ทดสอบผู้วิจัยได้เก็บและเตรียมตัวอย่างจากจังหวัดปราจีนบุรี โดยเก็บตัวอย่างในรูปแบบของไผ่สดที่ตัดและนำมาผึ่งแดดเพื่อรอให้ไผ่แห้งตามภูมิปัญญาชาวบ้านไม่ได้ผ่านการทรีตเมนต์ด้วยกระบวนการทางเคมีแต่อย่างใด จากนั้นจึงนำเอาตัวอย่างที่เก็บไปทำการทดสอบต่อที่จังหวัดนครศรีธรรมราช ในระหว่างกระบวนการขนส่งนั้นเกิดความชื้นเพิ่มขึ้นเนื่องจากสภาพภูมิอากาศที่แตกต่างกันตามแต่ละภูมิภาคของประเทศไทย ทำให้ก่อนทำการทดสอบต้องทำการอบขึ้นตัวอย่างทั้งหมดเป็นเวลา 12 ชั่วโมง เพื่อกำจัดราดำที่เกิดจากความชื้นและอาจสร้างความเสียหายให้กับตัวอย่างทดสอบต่อไปได้ ดังนั้นเพื่อขจัดปัญหานี้ควรทำการทรีตเมนต์ไผ่ก่อนนำมาทดสอบหรือส่งขึ้นตัวอย่างไปเก็บในห้องควบคุมอุณหภูมิก่อนทำการทดสอบเป็นเวลา 1 เดือน เพื่อให้ได้มาซึ่งผลที่แม่นยำมากขึ้น และช่วยลดการเสียหายที่อาจเกิดจากรา

5.2.4.2 การทดสอบ

การทดสอบคุณสมบัติของไฟเป็นการทดสอบในส่วนของเนื้อไม้ คือชิ้นตัวอย่างจะถูกเอาผิวภายนอกและผิวภายในของออก ทำให้ขนาดและรูปร่างจะแปรผันตามความหนาของเนื้อไม้ ในกรณีที่เนื้อไม้บางมาก ชิ้นตัวอย่างก็ต้องปรับขนาดให้เท่ากับขนาดที่เล็กที่สุดที่สามารถทำการทดสอบได้ด้วยเครื่องทดสอบสากล ส่งผลให้ผลการทดสอบที่ได้ไม่ตรงกับประสิทธิภาพของวัสดุตามลักษณะการใช้งานจริง เนื่องจากบริเวณผิวภายนอกของไฟมีการเรียงตัวของเส้นใยที่หนาแน่น ทำให้มีประสิทธิภาพในการรับแรงสูง เพื่อให้ได้มาซึ่งคุณสมบัติที่ตรงตามการใช้งานจริงควรทำการทดสอบด้วยมาตรฐานสำหรับใช้ทดสอบไฟทั้งลำ

5.2.4.3 การทดสอบกำลังต้านทานแรงดึง

การทดสอบกำลังต้านทานแรงดึงไม่สามารถทำการทดสอบกับไฟขนาดเล็กที่มีความหนาของเนื้อไม้น้อยๆได้ เนื่องจากไฟมีกำลังต้านทานแรงดึงที่สูงมาก การจะดึงชิ้นตัวอย่างทดสอบให้ขาดออกจากกันนั้นทำได้ยากโดยเฉพาะชิ้นตัวอย่างทดสอบที่มีขนาดเล็ก และไม่สามารถแก้ปัญหาด้วยการเตรียมชิ้นตัวอย่างทดสอบให้มีขนาดใหญ่ขึ้นได้อีกเช่นกัน เพราะไฟเป็นวัสดุทางธรรมชาติที่มีขีดจำกัดค่อนข้างสูง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการดัดแปลงชิ้นตัวอย่างสำหรับทดสอบจากที่กำหนดในมาตรฐานเพื่อให้สามารถทำการทดสอบได้โดยอาศัยผู้เชี่ยวชาญคอยให้คำปรึกษาในการเตรียมตัวอย่างและทำการทดสอบเพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นจากการทดสอบได้โดยตรง

5.2.4.4 การออกแบบ

เนื่องจากไฟเป็นวัสดุที่มีค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นสูง ทำให้โครงสร้างสามารถเปลี่ยนรูปจากแรงที่มากระทำได้ง่าย สำหรับการออกแบบควรจะออกแบบให้มีระยะห่างระหว่างจุดรับแรงที่สั้น หรือเพิ่มค้ำยันภายในโครงสร้างเพื่อลดการเปลี่ยนรูปของโครงสร้างและยังออกแบบให้มีระยะห่างระหว่างจุดรับแรงมากขึ้นได้ หรือใช้โครงสร้างแบบถักเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการรับแรงของโครงสร้างและลดการเสียรูปของโครงสร้างไม้ไฟเนื่องจากแรงกระทำภายนอก

เนื่องจากลำไฟมีรูปร่างกระบอกที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางค่อนข้างลดลงจากโคนสู่ปลาย ดังนั้นการนำไฟไปใช้สำหรับทำเสาของโครงสร้างจึงจำเป็นต้องมีการรวบลำไฟเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการรับแรงของโครงสร้าง ทั้งนี้จำนวนไฟที่ใช้สำหรับเป็นเสาของโครงสร้างนั้นขึ้นอยู่กับแรงที่กระทำกับโครงสร้าง

5.2.4.5 การนำผลการทดลองไปใช้ต่อ

เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของเนื้อไม้ แต่ตามลักษณะการนำไฟไปใช้งานจริงในด้านสถาปัตยกรรมนั้นเป็นการใช้ไฟทั้งลำ ไม่ใช่ใช้แค่เพียงเนื้อไม้ ดังนั้นค่าที่ได้จากการทดสอบไม่สามารถที่จะนำไปใช้ได้โดยตรง



รายการอ้างอิง

รายการอ้างอิง

หนังสือและบทความในหนังสือ

- บุญนำ เกี่ยวข้อง และ พรรณนิภา เขาวนนะ. (ม.ป.ป.). *คู่มือทดสอบเชิงกลของไม้*. นครศรีธรรมราช: มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์.
- วินิต ช่อวิเชียร. (2542). *การออกแบบโครงสร้างไม้*. กรุงเทพฯ: ห้างหุ้นส่วนจำกัด ป. สัมพันธ์พาณิชย์.
- วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย. (2517). *มาตรฐานสำหรับอาคารไม้*. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร กรมโยธาธิการและผังเมือง. (2551). *มาตรฐานการทดสอบไม้*. กรุงเทพฯ.

บทความวารสาร

- ภัทฐิตา พงศ์ธนา และ สุปรีย์ ฤทธิรงค์. (2557). การศึกษาความสามารถการรับน้ำหนักของโครงสร้างไม้โดยวิธีการรวบลำไม้เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบสถาปัตยกรรม. ใน มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง, *เทคโนโลยีอาคาร: การประชุมวิชาการ Built environment research associates conference 5* (น. 72-80). กรุงเทพฯ: คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง.
- สุภิญญาลักษณ์ จันทรวงศ์ และ สุปรีย์ ฤทธิรงค์. (2557). การศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของไม้ตงเพื่อสร้างค่ามาตรฐานกลางของวัสดุ. ใน มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง, *เทคโนโลยีอาคาร: การประชุมวิชาการ Built environment research associates conference 5* (น. 125-130). กรุงเทพฯ: คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง.
- สิทธิชัย แสงอาทิตย์. (ม.ป.ป.). การทดสอบวัสดุ. สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

วิทยานิพนธ์

- ชนิษฐ์ มาคุ้ม. (2549). *การศึกษาสมรรถนะการรับโมเมนต์ดัดของคานคอนกรีตเสริมไม้ไผ่ที่มีการปรับปรุงแรงยึดเหนี่ยวของไม้ไผ่*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี, สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา.
- ฐิติกุล ภาคคีรี. (2540). *สมบัติทางกายภาพและเชิงกลของไม้ไผ่ตง*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, คณะวนศาสตร์, สาขาวิชานวนผลิตภัณฑ์.
- ภัทริฐิตา พงศ์ธนา. (2556). *การศึกษาความสามารถการรับน้ำหนักของโครงสร้างไม้โดยวิธีการรวบลำไม้เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบสถาปัตยกรรม*. วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง, สาขาสถาปัตยกรรม.
- รุ่งคุณ ราชินวล. (2550). *การพัฒนาระบบหลังคาและผนังจากไม้ไผ่เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในงานก่อสร้าง*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง, สาขาสถาปัตยกรรม.
- วิชาญ ดนัยสวัสดิ์. (2550). *อิทธิพลของปริมาณไม้ไผ่และกำลังอัดคอนกรีตที่มีต่อกำลังและพฤติกรรมกรรมการดัดของคานคอนกรีตเสริมไม้ไผ่*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี, สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา.
- อิทธิพงษ์ อินพล. (2540). *คุณสมบัติการดัดของไม้ไผ่ประเภทกาว*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา.

สื่ออิเล็กทรอนิกส์

- สรณรัชฎ์ กาญจนะวณิชย์. (12 กรกฎาคม 2553). ไม้ วัสดุดีบศตวรรษ 21. สืบค้นจาก <http://www.web.greenworld.or.th/columnist/ecological/700>.

Books and Book Articles

- American Society for Testing and Material. (1994). *Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber*. Annual Book of ASTM Standard Des. D143-94(2007).
- D.K. Ching, F. and Adams, C. . (2009). *Building Construction Illustrated*. Bangkok: se-ed ucation.

- De Vries, Shila K. . (2002). *Bamboo construction technology for housing in Bangladesh*. (Technological Development Studies). Eindhoven University of Technology, Faculty of Technology Management.
- Institute for Lightweight Structure. (1985). *IL31 Bambus-Bamboo*. Germany: Stuttgart.
- Li, X . (2004). *Physical, chemical, and mechanical properties of bamboo and its utilization potential for fiberboard manufacturing*. (Master of Science). Louisiana State University, Agriculture and Mechanical College.
- McClure, F.A. . (1964). *Bamboo as a building material*. Washington, D.C. : United States Department of Agriculture.
- Mohmod, Abd. L. and Liese, W. . (n.d.). *Utilization of Bamboos*. (n.d.).
- Pannipa Malanit. (2009) *The suitability of Dendrocalamus asper Backer for Oriented Strand Lumber*. (the Degree of Doctor of natural Science). University of Hamburg, Faculty of Mathematics, Informatics and Natural Sciences, Department of Biology.
- Rungnapa Pattanavibool. (2000). *Bamboo research and development in Thailand*. Bangkok: Royal Forest Department.
- Silver, P., McLean, W. and Evans,P. . (2013). *Structural Engineering for Architects: A Handbook*. London: Laurence King Publishing Ltd.
- Supreedee Rittironk. (2011). *Thai Bamboo: Material Explored*. Bangkok.

Articles

- Chand, N. , Dwivedi, U. K., and Acharya, S.K. . (2006). Anisotropic abrasive wear behaviour of bamboo (*Dendrocalamus strictus*). *Wear*, 2007(262), p. 1031-1037. DOI no.: 10.1016/j.wear2006.10.006.
- Ghavami, K. . (2004). Bamboo as reinforcement in structural concrete elements. *Cement & Concrete Composites*, 2005(27), p. 637-649. DOI no.: 10.1016/j.cemconcomp.2004.06.002.
- Liese,W. . (1987). Anatomy and Properties of Bamboo. *Recent Research on Bamboos*, p. 196-208.

- Li, X. , Ouyang, J. , Xu, Y. , Chen, M. , Song, X. Yong, Q. and Yu, S. . (2009). Optimization of culture conditions for production of yeast biomass using bamboo wastewater by response surface methodology. *Bioresource Technology*, 2009(100), p. 3613-3617. DOI no.: 10.1016/j.biortech.2009.03.001.
- Nurundorn Matan, Buhnnum Kyokong and Wanchart Preechatiwong. (2007). Softening behavior of black Sweet-Bamboo (*Dendrocalamus asper* Backer) at various initial moisture contents. *Walai lak J Sci & Tech*, 4(2), p. 225-236.
- Wanchart Preechatiwong, Pannipa Malanit, Buhnnum Kyokong, and Niyom Kamlangdee. (2006). Effects of Polymer Impregnation on Properties of Bamboo. *Walai lak J Sci & Tech*, 3(1), p. 79-91.
- Suwat Satnaun, Siripong risuwan, Pancharin Jindasai, Banyat Chedchim, Nirundorn Matan and Buhnnum Kyokong. (2005). Macroscopic and Microscopic Gradient Structure of Bamboo clam. *Walai lak J Sci & Tech*, 2(1), p. 81-97.
- Sulastiningsih, I. and Nurwati. (2009). Physical and Mechanical Propoties of Laminated Bamboo Board. *Journal of Tropical Forest Sciences*, 21(3), p. 246 - 251.
- Yu, W. K. , Chung, K. F. and Chan, S. L. . (2004). Axial buckling of bamboo columns in bamboo scaffold. *Engineering Structures*, 27(2005), p. 61 - 73. DOI no.: 10.1016/j.engstruct.2004.08.011.

Electronic Media

- India Plywood Industry Research and Training Institute. (n.d.). *Bamboo Mat Flat Board*. Retrieved from <http://www.bwk.tue.nl/bko/research/Bamboo/Fitri.htm>.
- Mardjono, F. . Bamboo Knowledge Based Building Design Decision Support System. (n.d.) Retrieved from <http://www.bwk.tue.nl/bko/research/Bamboo/Fitri.htm>.
- Rottke, I. (n.d.) . Mechanical properties of bamboo. Retrieved from <http://bambus.rwth-aachen.de/eng/>.
- Rottke, I. (n.d.) . Mevhanical Bamboo connections. Retrieved from <http://bambus.rwth-aachen.de/eng/>.



ภาคผนวก ก

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ

ภาคผนวก ก
ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ

ตารางที่ ก.1

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของไม้ตง 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนโคนของลำต้น ส่วนกลางของลำต้น และส่วนปลายของลำต้น จำนวนส่วนละ 20 ชิ้น โดยใช้ชิ้นตัวอย่างจากการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล

ลำดับที่	ส่วนโคนของลำต้น			ส่วนกลางของลำต้น			ส่วนปลายของลำต้น		
	ความหนาแน่น เนื้อไม้สภาวะสด (กก./ลบ.ม.)	ความ ถ่วงจำเพาะ	ความชื้น (%)	ความหนาแน่น เนื้อไม้สภาวะสด (กก./ลบ.ม.)	ความ ถ่วงจำเพาะ	ความชื้น (%)	ความหนาแน่น เนื้อไม้สภาวะสด (กก./ลบ.ม.)	ความ ถ่วงจำเพาะ	ความชื้น (%)
1	705.56	0.64	10.08	746.36	0.70	7.13	704.16	0.67	4.85
2	738.56	0.65	13.37	750.32	0.69	9.37	734.82	0.70	4.93
3	703.06	0.64	9.99	686.10	0.64	7.27	722.59	0.69	5.10
4	759.65	0.67	13.47	776.10	0.72	7.34	748.01	0.71	4.83
5	774.48	0.69	12.52	698.84	0.66	5.53	733.98	0.70	4.76
6	625.19	0.53	19.10	685.26	0.61	11.94	738.67	0.74	10.13
7	646.51	0.53	24.43	675.82	0.60	12.31	757.50	0.76	8.86

ตารางที่ ก.1 (ต่อ)

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของไม้ตง 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนโคนของลำต้น ส่วนกลางของลำต้น และส่วนปลายของลำต้น จำนวนส่วนละ 20 ชิ้น โดยใช้ชิ้นตัวอย่างจากการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล

ลำดับที่	ส่วนโคนของลำต้น			ส่วนกลางของลำต้น			ส่วนปลายของลำต้น		
	ความหนาแน่น เนื้อไม้สภาวะสด (กก./ลบ.ม.)	ความ ถ่วงจำเพาะ	ความชื้น (%)	ความหนาแน่น เนื้อไม้สภาวะสด (กก./ลบ.ม.)	ความ ถ่วงจำเพาะ	ความชื้น (%)	ความหนาแน่น เนื้อไม้สภาวะสด (กก./ลบ.ม.)	ความ ถ่วงจำเพาะ	ความชื้น (%)
8	655.33	0.53	24.46	679.96	0.59	14.40	682.90	0.68	5.63
9	660.30	0.53	24.75	665.17	0.60	11.72	737.64	0.74	8.10
10	741.50	0.55	33.78	725.32	0.63	14.50	740.48	0.74	9.21
11	678.43	0.54	26.78	658.83	0.58	13.08	768.42	0.77	10.92
12	752.01	0.56	34.46	705.53	0.63	12.04	728.83	0.73	9.62
13	724.71	0.55	32.50	655.40	0.59	11.68	703.99	0.64	9.77
14	686.48	0.53	30.58	676.75	0.60	12.08	710.11	0.64	10.48
15	659.91	0.52	27.55	742.75	0.65	14.26	691.92	0.64	8.57
16	734.03	0.56	32.14	650.73	0.58	12.90	667.58	0.62	7.14
17	719.43	0.55	31.14	665.57	0.59	12.50	690.02	0.63	10.00

ตารางที่ ก.1 (ต่อ)

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของไม้ตง 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนโคนของลำต้น ส่วนกลางของลำต้น และส่วนปลายของลำต้น จำนวนส่วนละ 20 ชิ้น โดยใช้ชิ้นตัวอย่างจากการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล

ลำต้นที่	ส่วนโคนของลำต้น			ส่วนกลางของลำต้น			ส่วนปลายของลำต้น		
	ความหนาแน่น เนื้อไม้สภาวะสด (กก./ลบ.ม.)	ความ ถ่วงจำเพาะ	ความชื้น (%)	ความหนาแน่น เนื้อไม้สภาวะสด (กก./ลบ.ม.)	ความ ถ่วงจำเพาะ	ความชื้น (%)	ความหนาแน่น เนื้อไม้สภาวะสด (กก./ลบ.ม.)	ความ ถ่วงจำเพาะ	ความชื้น (%)
18	696.37	0.55	27.51	680.67	0.61	11.36	749.51	0.69	8.64
19	699.47	0.54	29.02	653.02	0.59	10.24	732.32	0.67	8.64
20	690.43	0.54	28.35	684.40	0.61	11.57	724.08	0.66	9.21
ค่าเฉลี่ย	702.57	0.57	14.30	693.14	0.62	11.16	723.38	0.67	7.97

ตารางที่ ก.2

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของไม้ซางหม่น 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนโคนของลำต้น ส่วนกลางของลำต้น และส่วนปลายของลำต้น จำนวนส่วนละ 20 ชิ้น โดยใช้ชิ้นตัวอย่างจากการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล

ลำดับที่	ส่วนโคนของลำต้น			ส่วนกลางของลำต้น			ส่วนปลายของลำต้น		
	ความหนาแน่น เนื้อไม้สภาวะสด (กก./ลบ.ม.)	ความ ถ่วงจำเพาะ	ความชื้น (%)	ความหนาแน่น เนื้อไม้สภาวะสด (กก./ลบ.ม.)	ความ ถ่วงจำเพาะ	ความชื้น (%)	ความหนาแน่น เนื้อไม้สภาวะสด (กก./ลบ.ม.)	ความ ถ่วงจำเพาะ	ความชื้น (%)
1	786.15	0.70	11.66	815.40	0.77	6.57	798.34	0.76	4.56
2	691.58	0.63	9.21	811.44	0.76	7.11	802.91	0.73	10.40
3	742.52	0.67	10.19	801.11	0.75	6.51	818.59	0.75	9.75
4	728.40	0.65	11.62	754.14	0.71	6.08	767.77	0.70	8.99
5	692.56	0.63	9.26	802.74	0.74	7.83	771.52	0.71	8.57
6	600.88	0.55	8.52	705.54	0.66	7.08	762.80	0.71	7.60
7	587.60	0.54	8.90	724.07	0.66	10.17	769.55	0.71	8.33
8	581.38	0.53	10.58	734.77	0.65	13.38	790.75	0.72	9.88
9	601.96	0.55	10.36	768.98	0.69	11.21	802.47	0.74	7.90
10	592.04	0.55	7.41	731.43	0.65	11.88	760.56	0.71	7.41
11	580.15	0.53	9.56	807.37	0.71	13.43	853.37	0.78	9.19

ตารางที่ ก.2 (ต่อ)

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของไม้ซางหม่น 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนโคนของลำต้น ส่วนกลางของลำต้น และส่วนปลายของลำต้น จำนวนส่วนละ 20 ชิ้น โดยใช้ชิ้นตัวอย่างจากการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล

ลำดับที่	ส่วนโคนของลำต้น			ส่วนกลางของลำต้น			ส่วนปลายของลำต้น		
	ความหนาแน่น เนื้อไม้สภาวะสด (กก./ลบ.ม.)	ความ ถ่วงจำเพาะ	ความชื้น (%)	ความหนาแน่น เนื้อไม้สภาวะสด (กก./ลบ.ม.)	ความ ถ่วงจำเพาะ	ความชื้น (%)	ความหนาแน่น เนื้อไม้สภาวะสด (กก./ลบ.ม.)	ความ ถ่วงจำเพาะ	ความชื้น (%)
12	626.25	0.57	10.23	750.29	0.68	10.38	767.77	0.70	10.13
13	577.68	0.53	8.46	685.40	0.62	10.83	802.42	0.73	9.48
14	626.16	0.57	9.11	752.41	0.67	12.83	767.29	0.70	9.21
15	601.46	0.55	8.83	741.54	0.66	12.54	824.96	0.72	14.79
16	583.37	0.54	8.76	722.03	0.64	12.38	746.29	0.69	8.57
17	595.42	0.55	9.09	805.26	0.72	11.50	768.22	0.71	7.69
18	585.93	0.54	8.06	727.00	0.65	12.61	783.06	0.74	6.49
19	589.30	0.54	10.11	709.93	0.65	9.82	825.43	0.76	8.86
20	610.01	0.56	9.25	791.03	0.71	10.71	773.07	0.71	9.09
ค่าเฉลี่ย	629.04	0.57	9.49	757.09	0.69	10.19	787.86	0.72	8.84

ตารางที่ ก.3

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของไฟลีสลุ่ 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนโคนของลำต้น ส่วนกลางของลำต้น และส่วนปลายของลำต้น จำนวนส่วนละ 20 ชิ้น โดยใช้ชิ้นตัวอย่างจากการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล

ลำดับที่	ส่วนโคนของลำต้น			ส่วนกลางของลำต้น			ส่วนปลายของลำต้น		
	ความหนาแน่น เนื้อไม้สภาวะสด (กก./ลบ.ม.)	ความ ถ่วงจำเพาะ	ความชื้น (%)	ความหนาแน่น เนื้อไม้สภาวะสด (กก./ลบ.ม.)	ความ ถ่วงจำเพาะ	ความชื้น (%)	ความหนาแน่น เนื้อไม้สภาวะสด (กก./ลบ.ม.)	ความ ถ่วงจำเพาะ	ความชื้น (%)
1	841.18	0.77	9.46	758.42	0.73	3.57	666.22	0.64	8.80
2	773.32	0.72	7.12	753.24	0.72	4.36	687.40	0.66	10.13
3	705.13	0.66	7.62	800.88	0.77	4.72	681.41	0.65	9.30
4	814.16	0.75	8.41	699.09	0.67	4.43	710.35	0.68	8.89
5	644.21	0.62	4.43	777.84	0.75	4.06	726.00	0.70	9.52
6	716.10	0.58	22.52	764.86	0.68	11.96	694.37	0.62	12.50
7	689.35	0.58	18.40	702.98	0.64	9.30	724.77	0.67	8.33
8	744.00	0.59	25.41	766.22	0.69	11.70	685.40	0.63	8.33
9	771.10	0.62	24.41	708.60	0.65	9.52	619.01	0.54	15.39
10	742.20	0.60	23.19	733.24	0.66	11.11	727.79	0.65	11.43
11	657.19	0.53	24.18	799.24	0.73	9.75	659.63	0.65	1.82

ตารางที่ ก.3 (ต่อ)

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของไผ่สีสุก 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนโคนของลำต้น ส่วนกลางของลำต้น และส่วนปลายของลำต้น จำนวนส่วนละ 20 ชิ้น โดยใช้ชิ้นตัวอย่างจากการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล

ลำดับที่	ส่วนโคนของลำต้น			ส่วนกลางของลำต้น			ส่วนปลายของลำต้น		
	ความหนาแน่น เนื้อไม้สภาวะสด (กก./ลบ.ม.)	ความ ถ่วงจำเพาะ	ความชื้น (%)	ความหนาแน่น เนื้อไม้สภาวะสด (กก./ลบ.ม.)	ความ ถ่วงจำเพาะ	ความชื้น (%)	ความหนาแน่น เนื้อไม้สภาวะสด (กก./ลบ.ม.)	ความ ถ่วงจำเพาะ	ความชื้น (%)
12	0.83	0.67	23.20	770.03	0.70	9.49	708.32	0.65	8.11
13	828.70	0.67	20.29	679.82	0.62	10.27	715.20	0.66	7.90
14	810.02	0.54	21.26	711.85	0.64	10.86	740.45	0.69	7.02
15	653.83	0.63	26.08	731.55	0.67	8.54	675.60	0.61	11.01
16	794.84	0.59	21.69	652.08	0.60	8.80	693.25	0.65	7.32
17	716.35	0.61	20.00	696.79	0.63	10.13	730.07	0.67	8.33
18	728.73	0.58	23.79	629.11	0.58	9.30	699.85	0.64	9.30
19	722.35	0.60	24.00	691.09	0.64	8.89	746.71	0.69	7.90
20	741.32	0.63	19.39	682.48	0.62	9.52	602.07	0.58	3.57
ค่าเฉลี่ย	747.47	0.63	18.74	725.47	0.70	8.51	694.69	0.65	7.52

ตารางที่ ก.4

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของไฟเลี้ยง 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนโคนของลำต้น ส่วนกลางของลำต้น และส่วนปลายของลำต้น จำนวนส่วนละ 20 ชิ้น โดยใช้
 ชิ้นตัวอย่างจากการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล

ลำดับที่	ส่วนโคนของลำต้น			ส่วนกลางของลำต้น			ส่วนปลายของลำต้น		
	ความหนาแน่น เนื้อไม้สภาวะสด (กก./ลบ.ม.)	ความ ถ่วงจำเพาะ	ความชื้น (%)	ความหนาแน่น เนื้อไม้สภาวะสด (กก./ลบ.ม.)	ความ ถ่วงจำเพาะ	ความชื้น (%)	ความหนาแน่น เนื้อไม้สภาวะสด (กก./ลบ.ม.)	ความ ถ่วงจำเพาะ	ความชื้น (%)
1	821.18	0.75	10.11	797.91	0.71	11.93	814.97	0.76	6.99
2	822.62	0.76	8.28	757.25	0.69	10.48	862.46	0.80	8.27
3	804.16	0.74	8.54	826.74	0.75	9.80	835.82	0.77	8.20
4	797.28	0.73	9.40	768.65	0.69	11.24	766.57	0.69	10.56
5	794.09	0.74	7.72	798.54	0.72	10.71	777.91	0.70	11.61
6	727.55	0.62	17.81	56.79	0.44	15.39	807.20	0.73	10.81
7	730.19	0.60	21.53	199.48	0.71	11.93	829.83	0.75	10.81
8	776.54	0.66	28.49	254.59	0.69	10.48	779.14	0.72	8.33
9	723.36	0.60	21.36	141.31	0.75	9.80	783.34	0.70	11.77
10	780.92	0.66	18.46	130.83	0.69	11.24	778.70	0.70	11.43
11	768.20	0.62	23.87	772.74	0.70	10.95	821.66	0.75	9.92

ตารางที่ ก.4 (ต่อ)

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของไฟเลี้ยง 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนโคนของลำต้น ส่วนกลางของลำต้น และส่วนปลายของลำต้น จำนวนส่วนละ 20 ชิ้น โดยใช้
 ชิ้นตัวอย่างจากการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล

ลำดับที่	ส่วนโคนของลำต้น			ส่วนกลางของลำต้น			ส่วนปลายของลำต้น		
	ความหนาแน่น เนื้อไม้สภาวะสด (กก./ลบ.ม.)	ความ ถ่วงจำเพาะ	ความชื้น (%)	ความหนาแน่น เนื้อไม้สภาวะสด (กก./ลบ.ม.)	ความ ถ่วงจำเพาะ	ความชื้น (%)	ความหนาแน่น เนื้อไม้สภาวะสด (กก./ลบ.ม.)	ความ ถ่วงจำเพาะ	ความชื้น (%)
12	861.70	0.71	21.56	795.28	0.72	10.35	744.51	0.68	9.18
13	775.63	0.66	17.85	760.47	0.69	9.74	936.07	0.85	10.00
14	828.46	0.66	25.66	798.15	0.73	9.01	792.80	0.73	9.09
15	848.94	0.69	23.83	878.95	0.80	9.62	709.16	0.65	9.72
16	703.70	0.58	21.20	746.44	0.68	9.59	843.74	0.77	9.68
17	782.21	0.64	22.44	718.97	0.65	9.86	810.41	0.77	5.71
18	758.10	0.63	19.91	731.89	0.66	10.15	813.47	0.77	5.88
19	775.78	0.68	22.40	720.30	0.66	8.45	769.37	0.65	18.75
20	806.36	0.68	19.97	636.67	0.59	8.07	761.20	0.65	17.86
ค่าเฉลี่ย	784.35	0.67	17.97	614.60	0.69	10.44	801.92	0.73	10.23

ตารางที่ ก.5

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของไผ่รวก 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนโคนของลำต้น ส่วนกลางของลำต้น และส่วนปลายของลำต้น จำนวนส่วนละ 20 ชิ้น โดยใช้ชิ้นตัวอย่างจากการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล

ลำต้นที่	ส่วนโคนของลำต้น			ส่วนกลางของลำต้น			ส่วนปลายของลำต้น		
	ความหนาแน่น เนื้อไม้สภาวะสด (กก./ลบ.ม.)	ความ ถ่วงจำเพาะ	ความชื้น (%)	ความหนาแน่น เนื้อไม้สภาวะสด (กก./ลบ.ม.)	ความ ถ่วงจำเพาะ	ความชื้น (%)	ความหนาแน่น เนื้อไม้สภาวะสด (กก./ลบ.ม.)	ความ ถ่วงจำเพาะ	ความชื้น (%)
1	485.46	0.44	9.34	543.90	0.50	8.92	519.02	0.48	7.14
2	531.88	0.49	8.36	607.07	0.56	8.97	506.01	0.47	8.38
3	556.72	0.52	8.07	539.62	0.49	9.35	479.24	0.44	8.67
4	587.10	0.54	9.27	545.19	0.50	8.49	526.15	0.48	9.00
5	561.88	0.52	8.27	547.39	0.50	9.20	527.39	0.49	8.24
6	635.01	0.55	14.85	606.06	0.53	13.51	502.99	0.42	21.05
7	684.19	0.59	15.54	586.07	0.51	14.29	456.07	0.38	18.75
8	626.81	0.56	12.87	550.62	0.50	10.81	476.70	0.43	10.00
9	639.91	0.57	11.88	528.04	0.44	20.00	515.58	0.45	15.79
10	678.01	0.61	11.40	570.95	0.48	19.92	489.08	0.40	21.74
11	614.09	0.54	13.55	471.90	0.43	9.76	562.98	0.48	17.02

ตารางที่ ก.5 (ต่อ)

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของไผ่รวก 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนโคนของลำต้น ส่วนกลางของลำต้น และส่วนปลายของลำต้น จำนวนส่วนละ 20 ชิ้น โดยใช้ชิ้นตัวอย่างจากการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล

ลำดับที่	ส่วนโคนของลำต้น			ส่วนกลางของลำต้น			ส่วนปลายของลำต้น		
	ความหนาแน่น เนื้อไม้สภาวะสด (กก./ลบ.ม.)	ความ ถ่วงจำเพาะ	ความชื้น (%)	ความหนาแน่น เนื้อไม้สภาวะสด (กก./ลบ.ม.)	ความ ถ่วงจำเพาะ	ความชื้น (%)	ความหนาแน่น เนื้อไม้สภาวะสด (กก./ลบ.ม.)	ความ ถ่วงจำเพาะ	ความชื้น (%)
12	765.14	0.68	12.55	562.49	0.50	13.04	487.08	0.44	10.00
13	657.66	0.58	13.17	461.61	0.41	12.20	482.52	0.44	10.64
14	686.71	0.60	13.88	607.73	0.55	10.42	533.81	0.48	12.25
15	710.61	0.63	12.40	541.90	0.49	11.49	511.58	0.46	10.42
16	652.19	0.58	11.88	494.08	0.45	10.53	449.88	0.41	8.70
17	616.29	0.54	13.73	525.04	0.46	13.51	545.81	0.51	7.69
18	596.34	0.53	12.12	517.52	0.47	11.11	475.75	0.44	8.70
19	634.80	0.58	10.19	546.68	0.48	13.16	493.07	0.45	9.52
20	645.04	0.56	14.19	526.17	0.48	10.81	553.50	0.49	12.50
ค่าเฉลี่ย	628.29	0.56	11.87	544.00	0.49	11.93	504.71	0.45	11.81



ภาคผนวก ข
ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงดัด



ภาคผนวก ค

ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดขนานเสี้ยน

ภาคผนวก ค
ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดขนานเสี้ยน

ตารางที่ ค.1

ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดขนานเสี้ยนของไม้ต่ง 3 ส่วน ได้แก่ส่วนโคนของลำต้น ส่วนกลางของลำต้น และส่วนปลายของลำต้น จำนวนส่วนละ 5 ชิ้น

ชิ้นตัวอย่างทดสอบ		ความยาว (มม.)	ความกว้าง (มม.)	ความหนา (มม.)	ปริมาตร (ลบ.ซม.)	มวลก่อนอบ (กรัม)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความหนาแน่นของเนื้อไม้ (กก./ลบ.ม.)	ความถ่วงจำเพาะ	ความชื้น (%)	แรงกระทำสูงสุด (กิโลกรัม)	กำลังต้านทานแรงอัดขนานเสี้ยน (กก./ตร.ซม.)
ส่วนโคนของลำต้น	To-B1	20.62	18.97	20.65	8.08	5.05	4.24	625.19	0.53	19.10	150,908.16	385.24
	To-B2	20.36	17.61	18.68	6.70	4.33	3.48	646.51	0.52	24.43	125,532.70	381.61
	To-B3	20.38	18.61	20.68	7.84	5.14	4.13	655.33	0.53	24.46	143,978.81	374.11
	To-B4	20.02	18.49	20.62	7.63	5.04	4.04	660.30	0.53	24.75	146,322.90	383.78
	To-B5	20.82	18.56	21.01	8.12	6.02	4.50	741.50	0.55	33.78	147,255.42	377.63
ค่าเฉลี่ย		20.44	18.45	20.33	7.67	5.12	4.08	665.77	0.53	25.30	142,799.60	380.47

ตารางที่ ค.1 (ต่อ)

ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดขนาดเส้นของไม้ตง 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนโคนของลำต้น ส่วนกลางของลำต้น และส่วนปลายของลำต้น จำนวนส่วนละ 5 ชิ้น

ชิ้นตัวอย่างทดสอบ		ความยาว (มม.)	ความกว้าง (มม.)	ความหนา (มม.)	ปริมาตร (ลบ.ซม.)	มวลก่อนอบ (กรัม)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความหนาแน่นของเนื้อไม้ (กก./ลบ.ม.)	ความถ่วงจำเพาะ	ความชื้น (%)	แรงกระทำสูงสุด (กิโลกรัม)	กำลังต้านทานแรงอัดขนาดเส้น (กก./ตร.ซม.)
ส่วนกลางของลำต้น	To-C1	20.79	9.98	10.55	2.19	1.50	1.34	685.26	0.61	11.94	60,843.12	577.87
	To-C2	20.61	9.87	10.62	2.16	1.46	1.30	675.82	0.60	12.31	57,996.48	553.30
	To-C3	20.37	9.74	10.60	2.10	1.43	1.25	679.96	0.59	14.40	59,404.73	575.38
	To-C4	20.75	10.02	10.34	2.15	1.43	1.28	665.17	0.60	11.72	58,878.46	568.29
	To-C5	20.91	9.92	9.97	2.07	1.50	1.31	725.32	0.63	14.50	56,702.36	573.32
ค่าเฉลี่ย		20.69	9.91	10.42	2.13	1.46	1.30	686.30	0.61	12.97	58,765.03	569.63
ส่วนปลายของลำต้น	To-T1	20.34	7.14	8.11	1.18	0.87	0.79	738.67	0.67	10.13	40,724.18	703.29
	To-T2	20.72	6.98	7.85	1.14	0.86	0.79	757.50	0.70	8.86	39,419.25	719.42
	To-T3	20.88	6.93	7.59	1.10	0.75	0.71	682.90	0.65	5.63	38,169.39	725.67
	To-T4	20.44	6.82	7.78	1.08	0.80	0.74	737.64	0.68	8.11	39,371.48	742.02
	To-T5	20.50	6.93	7.89	1.12	0.83	0.76	740.48	0.68	9.21	41,693.40	762.53
ค่าเฉลี่ย		20.58	6.96	7.84	1.12	0.82	0.76	731.44	0.68	8.29	39,875.54	730.59

ตารางที่ ค.2

ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดขนานเสี้ยนของไม้ช่างหม่น 3 ส่วน ได้แก่ส่วนโคนของลำต้น ส่วนกลางของลำต้น และส่วนปลายของลำต้น จำนวนส่วนละ 5 ชิ้น

ชิ้นตัวอย่างทดสอบ		ความยาว (มม.)	ความกว้าง (มม.)	ความหนา (มม.)	ปริมาตร (ลบ.ซม.)	มวลก่อนอบ (กรัม)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความหนาแน่นของเนื้อไม้ (กก./ลบ.ม.)	ความถ่วงจำเพาะ	ความชื้น (%)	แรงกระทำสูงสุด (กิโลกรัม)	กำลังต้านทานแรงอัดขนานเสี้ยน (กก./ตร.ซม.)
ส่วนโคนของลำต้น	Sa-B1	20.56	11.82	13.08	3.18	1.91	1.76	600.88	0.55	8.52	95,479.88	617.57
	Sa-B2	20.85	12.95	13.11	3.54	2.08	1.91	587.60	0.54	8.90	106,039.75	624.59
	Sa-B3	20.79	13.80	12.53	3.59	2.09	1.89	581.38	0.53	10.58	103,102.35	596.26
	Sa-B4	20.81	12.96	13.12	3.54	2.13	1.93	601.96	0.55	10.36	104,009.13	611.69
	Sa-B5	20.72	12.48	13.26	3.43	2.03	1.89	592.04	0.55	7.41	104,474.03	631.32
ค่าเฉลี่ย		20.75	12.80	13.02	3.46	2.05	1.88	592.77	0.54	9.16	102,621.03	616.29
ส่วนกลางของลำต้น	Sa-C1	20.42	9.06	9.27	1.71	1.21	1.13	705.54	0.66	7.08	63,473.02	755.56
	Sa-C2	21.01	9.37	9.12	1.80	1.30	1.18	724.07	0.66	10.17	64,242.95	751.78
	Sa-C3	20.54	9.10	9.32	1.74	1.28	1.14	734.77	0.65	12.28	62,162.96	732.95
	Sa-C4	20.62	8.51	9.56	1.68	1.29	1.16	768.98	0.69	11.21	61,541.70	756.45
	Sa-C5	20.64	8.28	9.04	1.54	1.13	1.10	731.43	0.65	11.88	56,282.69	751.93
ค่าเฉลี่ย		20.65	8.86	9.26	1.69	1.24	1.12	732.96	0.66	10.52	61,540.66	749.77

ตารางที่ ค.2 (ต่อ)

ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดขนานเสี้ยนของไฟเซางหม่น 3 ส่วน ได้แก่ส่วนโคนของลำต้น ส่วนกลางของลำต้น และส่วนปลายของลำต้น จำนวนส่วนละ 5 ชิ้น

ชั้นตัวอย่าง ทดสอบ	ความ ยาว (มม.)	ความ กว้าง (มม.)	ความ หนา (มม.)	ปริมาตร (ลบ.ซม.)	มวล ก่อนอบ (กรัม)	มวล หลังอบ (กรัม)	ความ หนาแน่น ของเนื้อไม้ (กก./ลบ.ม.)	ความ ถ่วงจำเพาะ	ความชื้น (%)	แรงกระทำ สูงสุด (กิโลกรัม)	กำลังต้านทาน แรงอัดขนานเสี้ยน (กก./ตร.ซม.)	
ส่วนปลาย ของลำต้น	Sa-T1	20.76	7.10	7.56	1.11	0.85	0.79	762.80	0.71	7.60	48,653.61	906.43
	Sa-T2	20.27	6.73	7.43	1.01	0.78	0.72	769.55	0.71	8.33	43,882.73	877.59
	Sa-T3	20.56	7.53	7.27	1.13	0.89	0.81	790.75	0.72	9.88	49,785.27	909.44
	Sa-T4	20.30	6.83	7.37	1.02	0.82	0.76	802.47	0.74	7.90	45,579.71	905.49
	Sa-T5	20.93	6.98	7.83	1.14	0.87	0.81	760.56	0.71	7.41	47,531.99	869.70
ค่าเฉลี่ย	20.56	7.03	7.49	1.08	0.84	0.78	777.23	0.72	8.22	47,086.66	893.73	

ตารางที่ ค.3

ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดขนานเสี้ยนของไม้สีสุก 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนโคนของลำต้น ส่วนกลางของลำต้น และส่วนปลายของลำต้น จำนวนส่วนละ 5 ชิ้น

ชั้นตัวอย่างทดสอบ		ความยาว (มม.)	ความกว้าง (มม.)	ความหนา (มม.)	ปริมาตร (ลบ.ซม.)	มวลก่อนอบ (กรัม)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความหนาแน่นของเนื้อไม้ (กก./ลบ.ม.)	ความถ่วงจำเพาะ	ความชื้น (%)	แรงกระทำสูงสุด (กิโลกรัม)	กำลังต้านทานแรงอัดขนานเสี้ยน (กก./ตร.ซม.)
ส่วนโคนของลำต้น	Se-B1	20.65	13.30	13.83	3.80	2.72	2.22	716.10	0.58	22.52	86,182.72	468.54
	Se-B2	19.81	13.29	13.83	3.64	2.51	2.12	689.35	0.58	18.40	89,150.77	485.04
	Se-B3	19.88	13.96	14.82	4.11	3.06	2.44	744.00	0.59	25.41	93,149.11	450.24
	Se-B4	20.83	13.42	14.66	4.10	3.16	2.54	771.10	0.62	24.41	93,146.70	473.46
	Se-B5	20.69	14.17	14.89	4.37	3.24	2.63	742.20	0.60	23.19	97,364.03	461.46
ค่าเฉลี่ย		20.37	13.63	14.41	4.00	2.94	2.39	732.55	0.60	22.79	91,798.66	467.75
ส่วนกลางของลำต้น	Se-C1	20.45	8.07	8.16	1.35	1.03	0.92	764.86	0.68	11.96	45,623.57	692.83
	Se-C2	20.37	7.31	8.98	1.34	0.94	0.86	702.98	0.64	9.30	42,337.11	644.95
	Se-C3	20.53	7.89	8.46	1.37	1.05	0.94	766.22	0.69	11.70	45,093.11	675.56
	Se-C4	20.17	7.85	8.20	1.30	0.92	0.84	708.60	0.65	9.52	39,515.77	613.89
	Se-C5	24.60	8.79	8.83	1.91	1.40	1.26	733.24	0.66	11.11	51,094.57	658.30
ค่าเฉลี่ย		21.22	7.98	8.85	1.45	1.07	0.96	735.18	0.66	10.72	44,732.83	657.11

ตารางที่ ค.3 (ต่อ)

ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดขนานเสี้ยนของไม้สี่ลูก 3 ส่วน ได้แก่ส่วนโคนของลำต้น ส่วนกลางของลำต้น และส่วนปลายของลำต้น จำนวนส่วนละ 5 ชิ้น

ชั้นตัวอย่าง ทดสอบ	ความ ยาว (มม.)	ความ กว้าง (มม.)	ความ หนา (มม.)	ปริมาตร (ลบ.ซม.)	มวล ก่อนอบ (กรัม)	มวล หลังอบ (กรัม)	ความ หนาแน่น ของเนื้อไม้ (กก./ลบ.ม.)	ความ ถ่วงจำเพาะ	ความชื้น (%)	แรงกระทำ สูงสุด (กิโลกรัม)	กำลังต้านทาน แรงอัดขนานเสี้ยน (กก./ตร.ซม.)	
ส่วนปลาย ของลำต้น	Se-T1	20.14	5.39	5.97	0.65	0.45	0.40	694.37	0.62	12.50	21,493.69	667.96
	Se-T2	20.21	5.17	5.15	0.54	0.39	0.36	724.77	0.67	8.33	17,860.87	670.82
	Se-T3	21.21	5.25	5.11	0.57	0.39	0.36	685.40	0.63	8.33	18,269.89	681.01
	Se-T4	20.67	5.01	4.68	0.48	0.30	0.26	619.01	0.54	15.39	15,625.64	666.43
	Se-T5	20.98	4.95	5.16	0.54	0.39	0.35	727.79	0.65	11.43	19,400.48	759.55
ค่าเฉลี่ย	20.64	5.15	5.21	0.56	0.38	0.35	690.27	0.62	11.20	18,530.11	689.15	

ตารางที่ ค.4

ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดขนานเสี้ยนของไม้เสี้ยน 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนโคนของลำต้น ส่วนกลางของลำต้น และส่วนปลายของลำต้น จำนวนส่วนละ 5 ชิ้น

ชั้นตัวอย่าง ทดสอบ	ความ ยาว (มม.)	ความ กว้าง (มม.)	ความ หนา (มม.)	ปริมาตร (ลบ.ซม.)	มวล ก่อนอบ (กรัม)	มวล หลังอบ (กรัม)	ความ หนาแน่น ของเนื้อไม้ (กก./ลบ.ม.)	ความ ถ่วงจำเพาะ	ความชื้น (%)	แรงกระทำ สูงสุด (กิโลกรัม)	กำลังต้านทาน แรงอัดขนานเสี้ยน (กก./ตร.ซม.)	
ส่วนโคน ของลำต้น	L-B1	20.44	12.84	15.24	4.00	2.91	2.47	727.55	0.62	17.81	80,431.96	411.04
	L-B2	20.33	12.59	14.50	3.71	2.71	2.23	730.19	0.60	21.53	71,264.73	390.37
	L-B3	20.73	12.14	14.43	3.63	2.82	2.38	776.54	0.66	18.49	78,787.26	449.75
	L-B4	20.51	12.42	14.49	3.69	2.67	2.20	723.36	0.60	21.36	71,393.65	396.71
	L-B5	20.63	11.71	14.63	3.53	2.76	2.33	780.92	0.66	18.46	76,262.07	445.15
ค่าเฉลี่ย	20.53	12.34	14.66	3.71	2.77	2.32	747.71	0.63	29.53	75,627.93	418.60	
ส่วนกลาง ของลำต้น	L-C1	20.58	7.00	7.00	1.01	0.73	0.68	723.90	0.67	7.35	36,622.44	747.40
	L-C2	20.83	6.70	7.62	1.06	0.68	0.62	639.43	0.58	9.68	33,764.38	661.35
	L-C3	20.41	7.07	7.30	1.05	0.78	0.71	740.47	0.67	9.86	40,469.77	784.13
	L-C4	20.29	6.38	7.18	0.93	0.67	0.62	720.85	0.67	8.07	35,507.86	775.14
	L-C5	20.42	6.58	6.52	0.88	0.64	0.58	730.55	0.66	10.35	32,169.17	749.84
ค่าเฉลี่ย	20.51	6.75	7.12	0.99	0.70	0.64	711.04	0.65	9.06	35,706.73	743.57	

ตารางที่ ค.4 (ต่อ)

ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดขนานเสี้ยนของไม้เลื่อย 3 ส่วน ได้แก่ส่วนโคนของลำต้น ส่วนกลางของลำต้น และส่วนปลายของลำต้น จำนวนส่วนละ 5 ชิ้น

ชั้นตัวอย่างทดสอบ		ความยาว (มม.)	ความกว้าง (มม.)	ความหนา (มม.)	ปริมาตร (ลบ.ซม.)	มวลก่อนอบ (กรัม)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความหนาแน่นของเนื้อไม้ (กก./ลบ.ม.)	ความถ่วงจำเพาะ	ความชื้น (%)	แรงกระทำสูงสุด (กิโลกรัม)	กำลังต้านทานแรงอัดขนานเสี้ยน (กก./ตร.ซม.)
ส่วนปลายของลำต้น	L-T1	20.74	4.84	5.06	0.51	0.41	0.37	807.20	0.73	10.81	17,658.96	721.06
	L-T2	20.43	4.77	5.07	0.49	0.41	0.37	829.83	0.75	10.81	16,905.99	699.06
	L-T3	20.47	4.96	4.93	0.50	0.39	0.36	779.14	0.72	8.33	18,658.89	763.06
	L-T4	20.00	4.90	4.95	0.49	0.38	0.34	783.34	0.70	11.77	18,195.00	750.15
	L-T5	20.40	4.92	4.99	0.50	0.39	0.35	778.70	0.70	11.43	17,305.72	704.89
ค่าเฉลี่ย		20.41	4.88	5.00	0.50	0.40	0.36	795.64	0.72	10.63	17,744.91	727.64

ตารางที่ ค.5

ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดขนานเสี้ยนของไม้รวก 3 ส่วน ได้แก่ส่วนโคนของลำต้น ส่วนกลางของลำต้น และส่วนปลายของลำต้น จำนวนส่วนละ 5 ชิ้น

ชิ้นตัวอย่างทดสอบ		ความยาว (มม.)	ความกว้าง (มม.)	ความหนา (มม.)	ปริมาตร (ลบ.ซม.)	มวลก่อนอบ (กรัม)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความหนาแน่นของเนื้อไม้ (กก./ลบ.ม.)	ความถ่วงจำเพาะ	ความชื้น (%)	แรงกระทำสูงสุด (กิโลกรัม)	กำลังต้านทานแรงอัดขนานเสี้ยน (กก./ตร.ซม.)
ส่วนโคนของลำต้น	R-B1	20.19	9.13	9.91	1.83	1.16	1.01	635.01	0.55	14.85	29,013.56	431.19
	R-B2	20.52	8.82	9.61	1.74	1.19	1.03	684.19	0.69	15.53	39,370.74	464.50
	R-B3	20.54	9.36	9.46	1.82	1.14	1.01	626.81	0.55	12.87	25,864.16	405.04
	R-B4	20.60	9.42	9.10	1.77	1.13	1.01	639.91	0.57	11.88	38,548.31	449.69
	R-B5	20.57	9.33	9.76	1.87	1.27	1.14	678.01	0.61	11.40	44,644.27	490.27
ค่าเฉลี่ย		20.48	9.21	9.57	1.80	1.18	1.04	652.79	0.58	13.31	39,488.21	448.14
ส่วนกลางของลำต้น	R-C1	20.86	5.24	6.34	0.69	0.42	0.37	606.06	0.53	13.51	14,363.06	432.34
	R-C2	20.16	5.55	6.10	0.68	0.40	0.35	586.07	0.51	14.29	13,802.24	407.69
	R-C3	20.46	5.87	6.20	0.74	0.41	0.37	550.62	0.50	10.81	15,145.64	416.16
	R-C4	20.64	5.83	6.61	0.80	0.42	0.35	528.04	0.44	20.00	15,691.27	407.18
	R-C5	20.72	5.97	6.23	0.77	0.44	0.37	570.95	0.48	18.92	15,269.51	410.55
ค่าเฉลี่ย		20.57	5.69	6.30	0.74	0.42	0.36	568.35	0.49	15.51	14,854.34	414.78

ตารางที่ ค.5 (ต่อ)

ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดขนานเสี้ยนของไม้รวก 3 ส่วน ได้แก่ส่วนโคนของลำต้น ส่วนกลางของลำต้น และส่วนปลายของลำต้น จำนวนส่วนละ 5 ชิ้น

ชั้นตัวอย่างทดสอบ		ความยาว (มม.)	ความกว้าง (มม.)	ความหนา (มม.)	ปริมาตร (ลบ.ซม.)	มวลก่อนอบ (กรัม)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความหนาแน่นของเนื้อไม้ (กก./ลบ.ม.)	ความถ่วงจำเพาะ	ความชื้น (%)	แรงกระทำสูงสุด (กิโลกรัม)	กำลังต้านทานแรงอัดขนานเสี้ยน (กก./ตร.ซม.)
ส่วนปลายของลำต้น	R-T1	20.48	4.43	5.04	0.46	0.23	0.19	502.99	0.42	21.05	9,196.86	411.91
	R-T2	20.09	4.45	4.66	0.42	0.19	0.16	456.07	0.38	18.75	7,262.22	350.21
	R-T3	20.29	4.54	5.01	0.46	0.22	0.20	476.70	0.43	10.00	9,395.94	413.09
	R-T4	20.37	4.41	4.75	0.43	0.22	0.19	515.58	0.45	15.79	8,347.94	398.52
	R-T5	20.74	5.36	5.15	0.57	0.28	0.23	489.08	0.40	21.74	10,303.51	373.26
ค่าเฉลี่ย		20.39	4.64	4.92	0.47	0.23	0.19	488.08	0.42	17.47	8,901.29	289.40



ภาคผนวก ง

ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดตั้งฉากเสี้ยน

ภาคผนวก ง
ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดตั้งฉากเสี้ยน

ตารางที่ ง.1

ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดตั้งฉากเสี้ยนของไม้ต่ง 3 ส่วน ได้แก่ส่วนโคนของลำต้น ส่วนกลางของลำต้น และส่วนปลายของลำต้น จำนวนส่วนละ 5 ชิ้น

ชิ้นตัวอย่างทดสอบ		ความยาว (มม.)	ความกว้าง (มม.)	ความหนา (มม.)	ปริมาตร (ลบ.ซม.)	มวลก่อนอบ (กรัม)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความหนาแน่นของเนื้อไม้ (กก./ลบ.ม.)	ความถ่วงจำเพาะ	ความชื้น (%)	แรงกระทำสูงสุด (กิโลกรัม)	กำลังต้านทานแรงอัดตั้งฉากเสี้ยน (กก./ตร.ซม.)
ส่วนโคนของลำต้น	To-B1	60.77	18.08	20.31	22.54	15.29	12.06	678.43	0.54	26.78	31,197.00	85.85
	To-B2	61.16	18.26	19.80	21.69	16.31	12.13	752.01	0.56	34.46	27,487.00	74.89
	To-B3	60.30	17.91	19.49	21.32	15.45	11.66	724.71	0.55	32.50	28,458.00	79.05
	To-B4	60.18	18.14	19.28	21.89	15.03	11.51	686.48	0.53	30.58	31,871.00	87.41
	To-B5	60.90	18.87	20.94	24.06	15.88	12.45	659.91	0.52	27.55	16,786.00	44.26
ค่าเฉลี่ย		60.66	18.25	19.96	22.30	15.59	11.96	700.31	0.54	30.38	27,159.80	74.29

ตารางที่ ง.1 (ต่อ)

ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดตั้งฉากเสี้ยนของไม้ต่ง 3 ส่วน ได้แก่ส่วนโคนของลำต้น ส่วนกลางของลำต้น และส่วนปลายของลำต้น จำนวนส่วนละ 5 ชิ้น

ชิ้นตัวอย่างทดสอบ		ความยาว (มม.)	ความกว้าง (มม.)	ความหนา (มม.)	ปริมาตร (ลบ.ซม.)	มวลก่อนอบ (กรัม)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความหนาแน่นของเนื้อไม้ (กก./ลบ.ม.)	ความถ่วงจำเพาะ	ความชื้น (%)	แรงกระทำสูงสุด (กิโลกรัม)	กำลังต้านทานแรงอัดตั้งฉากเสี้ยน (กก./ตร.ซม.)
ส่วนกลางของลำต้น	To-C1	61.03	9.63	10.69	6.69	4.41	3.90	658.83	0.58	13.08	16,035.00	82.84
	To-C2	60.77	10.26	10.27	6.07	4.28	3.82	705.53	0.63	12.04	16,718.00	81.07
	To-C3	60.93	9.72	10.76	6.71	4.40	3.94	655.40	0.59	11.68	15,495.00	79.31
	To-C4	61.12	10.24	10.32	6.86	4.64	4.14	676.75	0.60	12.08	16,902.00	82.12
	To-C5	61.20	10.87	11.03	7.34	5.45	4.77	742.75	0.65	14.26	20,254.00	92.70
ค่าเฉลี่ย		61.01	10.14	10.61	6.73	4.64	4.11	687.85	0.61	12.63	17,080.80	83.61
ส่วนปลายของลำต้น	To-T1	60.85	7.28	8.02	3.44	2.64	2.38	768.42	0.69	10.92	18,912.00	129.24
	To-T2	61.28	7.04	7.42	3.13	2.28	2.08	728.83	0.67	9.62	15,245.00	107.74
	To-T3	61.31	6.88	7.80	3.35	2.36	2.15	703.99	0.64	9.77	17,314.00	125.20
	To-T4	61.17	7.01	7.47	3.27	2.32	2.10	710.11	0.64	10.48	16,653.00	118.19
	To-T5	60.88	7.15	7.57	3.30	2.28	2.10	691.92	0.64	8.57	16,681.00	116.07
ค่าเฉลี่ย		61.10	7.07	7.66	3.30	2.38	2.16	720.65	0.66	9.87	16,961.00	119.29

ตารางที่ ง.2

ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดตั้งฉากเสี้ยนของไม้ซางหม่น 3 ส่วน ได้แก่ส่วนโคนของลำต้น ส่วนกลางของลำต้น และส่วนปลายของลำต้น จำนวนส่วนละ 5 ชิ้น

ชั้นตัวอย่างทดสอบ		ความยาว (มม.)	ความกว้าง (มม.)	ความหนา (มม.)	ปริมาตร (ลบ.ซม.)	มวลก่อนอบ (กรัม)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความหนาแน่นของเนื้อไม้ (กก./ลบ.ม.)	ความถ่วงจำเพาะ	ความชื้น (%)	แรงกระทำสูงสุด (กิโลกรัม)	กำลังต้านทานแรงอัดตั้งฉากเสี้ยน (กก./ตร.ซม.)
ส่วนโคนของลำต้น	Sa-B1	61.05	12.63	13.25	10.27	5.96	5.44	580.15	0.53	9.56	16,889.00	66.53
	Sa-B2	61.03	12.70	13.36	9.98	6.25	5.67	626.25	0.57	10.23	19,134.00	74.96
	Sa-B3	61.31	12.24	13.31	9.99	5.77	5.32	577.68	0.53	8.46	17,363.00	70.58
	Sa-B4	61.51	12.24	13.18	9.57	5.99	5.49	626.16	0.57	9.11	19,623.00	79.76
	Sa-B5	60.88	11.80	11.41	8.20	4.93	4.53	601.46	0.55	8.83	17,281.00	72.86
ค่าเฉลี่ย		61.16	12.32	12.90	9.60	5.78	5.29	603.34	0.55	9.24	18,058.00	72.94
ส่วนกลางของลำต้น	Sa-C1	60.84	8.22	9.47	5.13	4.14	3.65	807.37	0.71	13.43	8,557.20	51.79
	Sa-C2	60.80	8.90	9.36	5.11	3.83	3.47	750.29	0.68	10.38	7,531.90	42.10
	Sa-C3	61.14	8.97	9.71	5.68	3.89	3.51	685.40	0.62	10.83	8,894.60	49.33
	Sa-C4	60.01	9.56	8.09	4.56	3.43	3.04	752.41	0.67	12.83	9,530.40	49.60
	Sa-C5	59.75	9.39	7.98	4.48	3.32	2.95	741.54	0.66	12.54	8,418.20	44.60
ค่าเฉลี่ย		60.51	9.01	8.92	4.99	3.72	3.32	747.40	0.67	12.00	8,586.46	47.49

ตารางที่ ง.2 (ต่อ)

ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดตั้งฉากเสี้ยนของไม้ซางหม่น 3 ส่วน ได้แก่ส่วนโคนของลำต้น ส่วนกลางของลำต้น และส่วนปลายของลำต้น จำนวนส่วนละ 5 ชิ้น

ชั้นตัวอย่าง ทดสอบ	ความ ยาว (มม.)	ความ กว้าง (มม.)	ความ หนา (มม.)	ปริมาตร (ลบ.ซม.)	มวล ก่อนอบ (กรัม)	มวล หลังอบ (กรัม)	ความ หนาแน่น ของเนื้อไม้ (กก./ลบ.ม.)	ความ ถ่วงจำเพาะ	ความชื้น (%)	แรงกระทำ สูงสุด (กิโลกรัม)	กำลังต้านทาน แรงอัดตั้งฉากเสี้ยน (กก./ตร.ซม.)	
ส่วนปลาย ของลำต้น	Sa-T1	61.02	7.33	8.40	3.48	2.97	2.72	0.85	0.78	9.19	5,471.20	37.14
	Sa-T2	61.11	6.79	7.70	3.26	2.50	2.27	853.37	0.70	10.13	4,794.80	35.16
	Sa-T3	61.27	6.92	7.37	3.17	2.54	2.32	767.77	0.73	9.48	5,079.40	36.52
	Sa-T4	61.08	7.01	7.59	3.25	2.49	2.28	802.42	0.70	9.21	4,213.70	29.91
	Sa-T5	60.75	7.00	5.53	2.35	1.94	1.69	767.29	0.72	14.79	3,807.10	27.06
ค่าเฉลี่ย	61.05	7.01	7.32	3.10	2.49	2.26	803.16	0.73	10.56	4,673.96	33.16	

ตารางที่ ง.3

ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดตั้งฉากเสี้ยนของไฟลีสึก 3 ส่วน ได้แก่ส่วนโคนของลำต้น ส่วนกลางของลำต้น และส่วนปลายของลำต้น จำนวนส่วนละ 5 ชิ้น

ชั้นตัวอย่างทดสอบ		ความยาว (มม.)	ความกว้าง (มม.)	ความหนา (มม.)	ปริมาตร (ลบ.ซม.)	มวลก่อนอบ (กรัม)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความหนาแน่นของเนื้อไม้ (กก./ลบ.ม.)	ความถ่วงจำเพาะ	ความชื้น (%)	แรงกระทำสูงสุด (กิโลกรัม)	กำลังต้านทานแรงอัดตั้งฉากเสี้ยน (กก./ตร.ซม.)
ส่วนโคนของลำต้น	Se-B1	60.79	13.75	14.73	13.21	8.68	6.99	657.19	0.53	24.18	15,815.00	57.23
	Se-B2	61.55	14.75	15.66	14.03	11.63	9.44	828.70	0.67	23.20	16,796.00	56.65
	Se-B3	60.63	14.56	11.62	9.37	7.59	6.31	810.02	0.67	20.29	15,160.00	51.80
	Se-B4	60.88	13.30	10.63	9.68	6.33	5.22	653.83	0.54	21.26	14,060.00	52.69
	Se-B5	60.82	14.96	12.50	11.37	9.04	7.17	794.84	0.63	26.08	16,856.00	56.06
ค่าเฉลี่ย		60.93	14.26	13.03	11.53	8.65	7.03	748.92	0.61	23.00	15,737.40	54.87
ส่วนกลางของลำต้น	Se-C1	61.10	7.91	7.88	3.80	3.04	2.77	799.24	0.73	9.75	8,121.60	51.08
	Se-C2	60.75	7.90	8.34	3.60	2.77	2.53	770.03	0.70	9.49	8,165.70	51.43
	Se-C3	61.21	7.10	6.67	3.00	2.04	1.85	679.82	0.62	10.27	7,308.00	51.21
	Se-C4	59.91	7.35	7.67	3.44	2.45	2.21	711.85	0.64	10.86	6,966.40	47.16
	Se-C5	59.91	7.49	6.58	2.95	2.16	1.99	731.55	0.67	8.54	7,705.60	51.18
ค่าเฉลี่ย		60.58	7.55	7.43	3.36	2.49	2.27	738.50	0.67	9.78	7,653.46	50.41

ตารางที่ ง.3 (ต่อ)

ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดตั้งฉากเสี้ยนของไฟลีสติก 3 ส่วน ได้แก่ส่วนโคนของลำต้น ส่วนกลางของลำต้น และส่วนปลายของลำต้น จำนวนส่วนละ 5 ชิ้น

ชั้นตัวอย่างทดสอบ		ความยาว (มม.)	ความกว้าง (มม.)	ความหนา (มม.)	ปริมาตร (ลบ.ซม.)	มวลก่อนอบ (กรัม)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความหนาแน่นของเนื้อไม้ (กก./ลบ.ม.)	ความถ่วงจำเพาะ	ความชื้น (%)	แรงกระทำสูงสุด (กิโลกรัม)	กำลังต้านทานแรงอัดตั้งฉากเสี้ยน (กก./ตร.ซม.)
ส่วนปลายของลำต้น	Se-T1	61.32	5.04	5.44	1.70	1.12	1.10	659.63	0.65	1.82	4,018.10	39.66
	Se-T2	61.00	5.09	5.27	1.69	1.20	1.11	708.32	0.66	8.11	3,601.20	35.20
	Se-T3	60.78	5.27	5.57	1.72	1.23	1.14	715.20	0.66	7.90	4,077.40	38.49
	Se-T4	60.84	5.08	5.46	1.65	1.22	1.14	740.45	0.69	7.02	4,184.30	40.98
	Se-T5	60.79	4.96	5.79	1.79	1.21	1.09	675.66	0.61	11.01	3,932.10	39.44
ค่าเฉลี่ย		60.95	5.09	5.51	1.71	1.20	1.12	699.85	0.65	7.17	3,962.62	38.76

ตารางที่ ง.4

ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดตั้งฉากเสี้ยนของไม้เลื่อย 3 ส่วน ได้แก่ส่วนโคนของลำต้น ส่วนกลางของลำต้น และส่วนปลายของลำต้น จำนวนส่วนละ 5 ชิ้น

ชิ้นตัวอย่างทดสอบ		ความยาว (มม.)	ความกว้าง (มม.)	ความหนา (มม.)	ปริมาตร (ลบ.ซม.)	มวลก่อนอบ (กรัม)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความหนาแน่นของเนื้อไม้ (กก./ลบ.ม.)	ความถ่วงจำเพาะ	ความชื้น (%)	แรงกระทำสูงสุด (กิโลกรัม)	กำลังต้านทานแรงอัดตั้งฉากเสี้ยน (กก./ตร.ซม.)
ส่วนโคนของลำต้น	L-B1	60.75	14.54	15.39	13.24	10.17	8.21	768.20	0.62	23.87	22,086.00	75.57
	L-B2	60.84	14.16	15.73	12.50	10.77	8.86	861.70	0.71	21.56	21,585.00	75.84
	L-B3	61.23	13.06	12.69	9.88	7.66	6.50	775.63	0.66	17.85	18,538.00	70.62
	L-B4	60.92	12.71	10.56	8.10	6.71	5.34	828.46	0.66	25.66	18,272.00	71.52
	L-B5	60.93	12.59	11.01	8.45	7.17	5.79	848.94	0.69	23.83	17,260.00	68.21
ค่าเฉลี่ย		60.93	13.41	13.08	10.43	8.50	6.94	816.59	0.67	22.55	19,548.20	72.35
ส่วนกลางของลำต้น	L-C1	61.60	6.49	7.32	2.89	2.23	2.01	772.74	0.70	10.95	8,066.50	61.84
	L-C2	60.58	6.40	7.38	2.82	2.24	2.03	795.28	0.72	10.35	7,858.60	61.09
	L-C3	61.27	6.30	6.98	2.81	2.14	1.95	760.47	0.69	9.74	7,615.70	60.14
	L-C4	61.30	6.58	7.21	2.88	2.30	2.11	798.15	0.73	9.01	7,925.40	59.92
	L-C5	60.95	6.52	6.59	2.59	2.28	2.08	878.98	0.80	9.62	7,871.20	60.06
ค่าเฉลี่ย		61.14	6.46	7.10	2.80	2.24	2.04	801.12	0.73	9.93	7,867.48	60.61

ตารางที่ ง.4 (ต่อ)

ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดตั้งฉากเสี้ยนของไม้เลื่อย 3 ส่วน ได้แก่ส่วนโคนของลำต้น ส่วนกลางของลำต้น และส่วนปลายของลำต้น จำนวนส่วนละ 5 ชิ้น

ชั้นตัวอย่างทดสอบ		ความยาว (มม.)	ความกว้าง (มม.)	ความหนา (มม.)	ปริมาตร (ลบ.ซม.)	มวลก่อนอบ (กรัม)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความหนาแน่นของเนื้อไม้ (กก./ลบ.ม.)	ความถ่วงจำเพาะ	ความชื้น (%)	แรงกระทำสูงสุด (กิโลกรัม)	กำลังต้านทานแรงอัดตั้งฉากเสี้ยน (กก./ตร.ซม.)
ส่วนปลายของลำต้น	L-T1	61.26	4.69	5.61	1.62	1.33	1.21	821.66	0.75	9.92	2,500.00	26.52
	L-T2	61.49	4.71	4.61	1.44	1.07	0.98	744.51	0.68	9.18	2,250.90	23.78
	L-T3	61.30	5.07	4.95	1.29	1.21	1.10	936.07	0.85	10.00	3,187.80	31.28
	L-T4	60.86	4.26	5.03	1.36	1.08	0.99	792.80	0.73	9.09	2,366.90	27.64
	L-T5	61.60	4.45	3.90	1.11	0.79	0.72	709.31	0.65	9.72	2,269.40	25.37
ค่าเฉลี่ย		61.30	4.64	4.82	1.37	1.10	1.00	800.87	0.73	9.58	2,515.00	26.92

ตารางที่ ง.5

ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดตั้งฉากเสี้ยนของไฟรอก 3 ส่วน ได้แก่ส่วนโคนของลำต้น ส่วนกลางของลำต้น และส่วนปลายของลำต้น จำนวนส่วนละ 5 ชิ้น

ชั้นตัวอย่างทดสอบ		ความยาว (มม.)	ความกว้าง (มม.)	ความหนา (มม.)	ปริมาตร (ลบ.ซม.)	มวลก่อนอบ (กรัม)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความหนาแน่นของเนื้อไม้ (กก./ลบ.ม.)	ความถ่วงจำเพาะ	ความชื้น (%)	แรงกระทำสูงสุด (กิโลกรัม)	กำลังต้านทานแรงอัดตั้งฉากเสี้ยน (กก./ตร.ซม.)
ส่วนโคนของลำต้น	R-B1	61.18	8,84	8.07	4.64	2.85	2.51	614.09	0.54	13.55	4,311.80	24.27
	R-B2	60.83	9.40	6.78	3.87	2.96	2.63	765.14	0.68	12.55	4,442.70	23.51
	R-B3	61.14	9.38	8.29	4.84	3.18	2.81	657.66	0.58	13.17	4,776.90	25.34
	R-B4	60.93	9.54	7.24	4.06	2.79	2.45	686.71	0.60	13.88	4,609.60	24.04
	R-B5	61.21	9.21	7.19	4.08	2.90	2.58	710.53	0.63	12.40	4,761.70	25.72
ค่าเฉลี่ย		61.06	9.27	7.51	4.30	2.94	2.60	686.83	0.61	13.11	4,580.54	24.58
ส่วนกลางของลำต้น	R-C1	60.84	5.30	5.19	1.91	0.90	0.82	471.90	0.43	9.76	1,705.60	16.01
	R-C2	61.15	6.04	5.38	1.85	1.04	0.92	562.49	0.50	13.04	2,135.80	17.59
	R-C3	61.11	5.62	5.08	1.99	0.92	0.82	461.61	0.41	12.20	1,571.50	13.91
	R-C4	60.98	6.42	4.94	1.74	1.06	0.96	607.73	0.55	10.42	2,855.70	22.13
	R-C5	61.23	5.79	5.01	1.79	0.97	0.87	542.01	0.49	11.49	1,824.30	15.68
ค่าเฉลี่ย		61.06	5.83	5.12	1.86	0.98	0.88	529.15	0.48	11.38	2,018.58	17.06

ตารางที่ ง.5 (ต่อ)

ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดตั้งฉากเสี้ยนของไฟรอก 3 ส่วน ได้แก่ส่วนโคนของลำต้น ส่วนกลางของลำต้น และส่วนปลายของลำต้น จำนวนส่วนละ 5 ชิ้น

ชั้นตัวอย่าง ทดสอบ	ความ ยาว (มม.)	ความ กว้าง (มม.)	ความ หนา (มม.)	ปริมาตร (ลบ.ซม.)	มวล ก่อนอบ (กรัม)	มวล หลังอบ (กรัม)	ความ หนาแน่น ของเนื้อไม้ (กก./ลบ.ม.)	ความ ถ่วงจำเพาะ	ความชื้น (%)	แรงกระทำ สูงสุด (กิโลกรัม)	กำลังต้านทาน แรงอัดตั้งฉากเสี้ยน (กก./ตร.ซม.)	
ส่วนปลาย ของลำต้น	R-T1	61.10	4.42	3.78	0.98	0.55	0.47	562.98	0.48	17.02	1,263.10	14.22
	R-T2	60.60	4.23	3.99	1.13	0.55	0.50	487.08	0.44	10.00	1,485.20	17.47
	R-T3	61.15	4.67	3.79	1.08	0.52	0.47	482.52	0.44	10.64	1,379.20	14.69
	R-T4	61.14	4.65	3.91	1.03	0.55	0.49	533.81	0.48	12.25	1,344.40	14.38
	R-T5	61.03	4.31	3.81	1.04	0.53	0.48	511.52	0.46	10.42	1,381.30	15.95
ค่าเฉลี่ย	61.00	4.46	3.86	1.05	0.54	0.48	515.58	0.46	12.06	1,370.64	15.34	



ภาคผนวก จ

ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงเฉือนขนานเส้น

ภาคผนวก จ
ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงเฉือนขนานเสี้ยน

ตารางที่ จ.1

ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงเฉือนขนานเสี้ยนของไฟตง 3 ส่วน ได้แก่ส่วนโคนของลำต้น ส่วนกลางของลำต้น และส่วนปลายของลำต้น จำนวนส่วนละ 5 ชิ้น

ชิ้นตัวอย่างทดสอบ		ความยาว (มม.)	ความกว้าง (มม.)	ความหนา (มม.)	ปริมาตร (ลบ.ซม.)	มวลก่อนอบ (กรัม)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความหนาแน่นของเนื้อไม้ (กก./ลบ.ม.)	ความถ่วงจำเพาะ	ความชื้น (%)	แรงกระทำสูงสุด (กิโลกรัม)	กำลังต้านทานแรงเฉือนขนานเสี้ยน (กก./ตร.ซม.)
ส่วนโคนของลำต้น	To-B1	20.47	18.45	20.02	7.56	5.55	4.20	734.03	0.55	32.14	37,214.89	98.54
	To-B2	20.56	18.22	20.00	7.49	5.39	4.11	719.43	0.55	31.14	36,628.70	97.78
	To-B3	20.63	17.64	19.02	6.92	4.82	3.78	696.37	0.55	27.51	31,866.09	87.57
	To-B4	20.68	17.69	19.11	6.99	4.89	3.79	699.47	0.54	29.02	35,312.85	96.53
	To-B5	20.36	19.21	20.96	8.20	5.66	4.41	690.43	0.54	28.35	42,775.58	109.37
ค่าเฉลี่ย		20.54	18.24	19.82	7.43	5.26	4.06	707.95	0.55	29.63	36,759.62	97.96

ตารางที่ จ.1 (ต่อ)

ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงเฉือนขนานเสี้ยนของไผ่ตง 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนโคนของลำต้น ส่วนกลางของลำต้น และส่วนปลายของลำต้น จำนวนส่วนละ 5 ชิ้น

ชิ้นตัวอย่างทดสอบ		ความยาว (มม.)	ความกว้าง (มม.)	ความหนา (มม.)	ปริมาตร (ลบ.ซม.)	มวลก่อนอบ (กรัม)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความหนาแน่นของเนื้อไม้ (กก./ลบ.ม.)	ความถ่วงจำเพาะ	ความชื้น (%)	แรงกระทำสูงสุด (กิโลกรัม)	กำลังต้านทานแรงเฉือนขนานเสี้ยน (กก./ตร.ซม.)
ส่วนกลางของลำต้น	To-C1	20.60	10.12	10.32	2.15	1.40	1.24	650.73	0.58	12.90	21,816.29	104.65
	To-C2	20.79	9.79	10.63	2.16	1.44	1.28	665.57	0.59	12.50	24,119.19	118.50
	To-C3	20.38	10.43	10.16	2.16	1.47	1.32	680.67	0.61	11.36	21,499.01	101.14
	To-C4	20.81	10.16	10.14	2.14	1.40	1.27	653.02	0.59	10.24	26,598.72	125.80
	To-C5	19.55	10.12	9.97	1.97	1.35	1.21	684.40	0.61	11.57	23,887.00	120.74
ค่าเฉลี่ย		20.43	10.12	10.24	2.12	1.41	1.26	666.88	0.60	11.72	23,584.04	114.17
ส่วนปลายของลำต้น	To-T1	20.65	7.02	7.75	1.12	0.75	0.70	667.58	0.62	7.14	15,765.94	108.76
	To-T2	20.97	6.92	7.69	1.12	0.77	0.70	690.02	0.63	10.00	19,971.57	137.63
	To-T3	20.38	7.13	8.08	1.17	0.88	0.81	749.51	0.69	8.64	19,403.32	133.53
	To-T4	20.64	7.10	8.20	1.20	0.88	0.81	732.32	0.67	8.64	21,613.17	147.49
	To-T5	20.39	7.68	7.32	1.15	0.83	0.76	724.08	0.66	9.21	21,511.82	137.37
ค่าเฉลี่ย		20.61	7.17	7.81	1.15	0.82	0.76	712.70	0.66	8.73	19,653.16	132.96

ตารางที่ จ.2

ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงเฉือนขนานเสี้ยนของไฟเซางหม่น 3 ส่วน ได้แก่ส่วนโคนของลำต้น ส่วนกลางของลำต้น และส่วนปลายของลำต้น จำนวนส่วนละ 5 ชิ้น

ชั้นตัวอย่างทดสอบ		ความยาว (มม.)	ความกว้าง (มม.)	ความหนา (มม.)	ปริมาตร (ลบ.ซม.)	มวลก่อนอบ (กรัม)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความหนาแน่นของเนื้อไม้ (กก./ลบ.ม.)	ความถ่วงจำเพาะ	ความชื้น (%)	แรงกระทำสูงสุด (กิโลกรัม)	กำลังต้านทานแรงเฉือนขนานเสี้ยน (กก./ตร.ซม.)
ส่วนโคนของลำต้น	Sa-B1	20.36	13.53	13.13	3.62	2.11	1.94	583.37	0.54	8.76	36,325.70	131.87
	Sa-B2	20.57	13.40	12.43	3.43	2.04	1.87	595.42	0.55	9.09	39,311.55	142.62
	Sa-B3	21.06	12.68	12.91	3.45	2.02	1.86	585.93	0.54	8.60	35,615.29	133.37
	Sa-B4	20.65	13.63	12.48	3.51	2.07	1.88	589.30	0.54	10.11	39,297.05	139.62
	Sa-B5	20.14	12.19	12.62	3.10	1.89	1.73	610.01	0.56	9.25	37,481.68	152.67
ค่าเฉลี่ย		20.56	13.09	12.71	3.42	2.03	1.86	592.81	0.54	9.16	37,606.25	140.03
ส่วนกลางของลำต้น	Sa-C1	20.69	8.43	9.37	1.63	1.18	1.05	722.03	0.64	12.38	27,883.54	159.87
	Sa-C2	21.04	8.30	8.96	1.57	1.26	1.13	805.26	0.72	11.50	24,140.23	138.24
	Sa-C3	20.73	8.74	9.49	1.72	1.25	1.11	727.00	0.65	12.61	22,766.16	125.66
	Sa-C4	20.32	9.09	9.38	1.73	1.23	1.12	709.93	0.65	9.82	19,479.14	105.46
	Sa-C5	21.00	8.23	9.07	1.57	1.24	1.12	791.03	0.71	10.71	21,088.21	122.02
ค่าเฉลี่ย		20.76	8.56	9.25	1.64	1.23	1.11	751.05	0.67	11.41	23,071.46	130.25

ตารางที่ จ.2 (ต่อ)

ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงเฉือนขนานเสี้ยนของไฟซางหม่น 3 ส่วน ได้แก่ส่วนโคนของลำต้น ส่วนกลางของลำต้น และส่วนปลายของลำต้น จำนวนส่วนละ 5 ชิ้น

ชั้นตัวอย่างทดสอบ	ความยาว (มม.)	ความกว้าง (มม.)	ความหนา (มม.)	ปริมาตร (ลบ.ซม.)	มวลก่อนอบ (กรัม)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความหนาแน่นของเนื้อไม้ (กก./ลบ.ม.)	ความถ่วงจำเพาะ	ความชื้น (%)	แรงกระทำสูงสุด (กิโลกรัม)	กำลังต้านทานแรงเฉือนขนานเสี้ยน (กก./ตร.ซม.)	
ส่วนปลายของลำต้น	Sa-T1	21.14	6.59	7.31	1.02	0.76	0.70	746.29	0.69	8.57	15,237.83	109.38
	Sa-T2	20.66	7.25	7.30	1.09	0.84	0.78	768.22	0.71	7.69	20,889.67	139.46
	Sa-T3	20.64	6.95	7.30	1.05	0.82	0.77	783.06	0.74	6.49	21,957.70	153.07
	Sa-T4	20.66	6.76	7.46	1.04	0.86	0.79	825.43	0.76	8.86	23,978.87	171.69
	Sa-T5	20.52	6.94	7.63	1.09	0.84	0.77	773.07	0.71	9.09	22,515.26	158.10
ค่าเฉลี่ย	20.72	6.90	7.40	1.06	0.82	0.76	779.22	0.72	8.14	20,915.87	146.34	

ตารางที่ จ.3

ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงเฉือนขนานเสี้ยนของไฟลีสึก 3 ส่วน ได้แก่ส่วนโคนของลำต้น ส่วนกลางของลำต้น และส่วนปลายของลำต้น จำนวนส่วนละ 5 ชิ้น

ชิ้นตัวอย่างทดสอบ		ความยาว (มม.)	ความกว้าง (มม.)	ความหนา (มม.)	ปริมาตร (ลบ.ซม.)	มวลก่อนอบ (กรัม)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความหนาแน่นของเนื้อไม้ (กก./ลบ.ม.)	ความถ่วงจำเพาะ	ความชื้น (%)	แรงกระทำสูงสุด (กิโลกรัม)	กำลังต้านทานแรงเฉือนขนานเสี้ยน (กก./ตร.ซม.)
ส่วนโคนของลำต้น	Se-B1	20.75	13.82	14.75	4.23	3.03	2.49	716.35	0.59	21.69	35,986.85	125.49
	Se-B2	20.56	14.50	15.19	4.53	3.30	2.75	728.73	0.61	20.00	42,655.31	143.08
	Se-B3	20.73	13.89	14.76	4.25	3.07	2.48	722.35	0.58	23.79	34,533.67	119.93
	Se-B4	20.56	13.78	14.76	4.18	3.10	2.50	741.32	0.60	24.00	35,693.37	125.98
	Se-B5	20.03	14.68	15.97	4.70	3.51	2.94	747.47	0.63	19.39	40,284.70	137.00
ค่าเฉลี่ย		20.53	14.13	15.09	4.38	3.20	2.63	731.24	0.60	21.77	37,830.78	130.30
ส่วนกลางของลำต้น	Se-C1	23.43	9.38	9.49	2.09	1.36	1.25	652.08	0.60	8.80	26,414.42	120.19
	Se-C2	20.43	7.19	8.50	1.25	0.87	0.79	696.79	0.63	10.13	24,286.96	165.34
	Se-C3	20.70	8.24	8.76	1.49	0.94	0.86	629.11	0.58	9.30	22,772.91	133.51
	Se-C4	20.82	7.46	9.13	1.42	0.98	0.90	691.09	0.64	8.89	24,928.41	160.50
	Se-C5	20.30	6.86	7.26	1.01	0.69	0.63	682.48	0.62	9.52	17,405.89	124.99
ค่าเฉลี่ย		21.14	7.83	8.63	1.45	0.97	0.89	670.31	0.61	9.33	23,161.72	140.91

ตารางที่ จ.3 (ต่อ)

ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงเฉือนขนานเสี้ยนของไม้สีสุก 3 ส่วน ได้แก่ส่วนโคนของลำต้น ส่วนกลางของลำต้น และส่วนปลายของลำต้น จำนวนส่วนละ 5 ชิ้น

ชั้นตัวอย่าง ทดสอบ	ความ ยาว (มม.)	ความ กว้าง (มม.)	ความ หนา (มม.)	ปริมาตร (ลบ.ซม.)	มวล ก่อนอบ (กรัม)	มวล หลังอบ (กรัม)	ความ หนาแน่น ของเนื้อไม้ (กก./ลบ.ม.)	ความ ถ่วงจำเพาะ	ความชื้น (%)	แรงกระทำ สูงสุด (กิโลกรัม)	กำลังต้านทานแรง เฉือนขนานเสี้ยน (กก./ตร.ซม.)	
ส่วนปลาย ของลำต้น	Se-T1	20.21	5.50	5.71	0.64	0.44	0.41	693.25	0.65	7.32	14,375.23	129.33
	Se-T2	20.91	4.98	5.13	0.53	0.39	0.36	730.07	0.67	8.33	12,983.53	124.68
	Se-T3	20.60	5.65	5.77	0.67	0.47	0.43	699.85	0.64	9.30	11,214.67	96.35
	Se-T4	20.55	5.07	5.27	0.55	0.41	0.38	746.71	0.69	7.90	12,669.87	121.61
	Se-T5	19.43	5.23	4.74	0.48	0.29	0.28	602.07	0.58	3.57	8,837.21	86.96
ค่าเฉลี่ย	20.34	5.29	5.32	0.57	0.40	0.37	694.39	0.65	7.28	12,016.12	111.79	

ตารางที่ จ.4

ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงเฉือนขนานเสี้ยนของไม้เลื่อย 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนโคนของลำต้น ส่วนกลางของลำต้น และส่วนปลายของลำต้น จำนวนส่วนละ 5 ชิ้น

ชิ้นตัวอย่างทดสอบ		ความยาว (มม.)	ความกว้าง (มม.)	ความหนา (มม.)	ปริมาตร (ลบ.ซม.)	มวลก่อนอบ (กรัม)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความหนาแน่นของเนื้อไม้ (กก./ลบ.ม.)	ความถ่วงจำเพาะ	ความชื้น (%)	แรงกระทำสูงสุด (กิโลกรัม)	กำลังต้านทานแรงเฉือนขนานเสี้ยน (กก./ตร.ซม.)
ส่วนโคนของลำต้น	L-B1	20.78	12.49	14.40	3.74	2.63	2.17	703.70	0.58	21.20	26,842.31	103.42
	L-B2	19.88	13.28	15.06	3.98	3.11	2.54	782.21	0.64	22.44	30,445.46	115.32
	L-B3	20.87	11.61	14.10	3.42	2.59	2.16	758.10	0.63	19.91	26,570.91	109.66
	L-B4	20.65	13.11	14.57	3.94	3.06	2.50	775.78	0.63	22.40	33,035.15	122.03
	L-B5	20.31	11.91	14.15	3.42	2.76	2.32	806.36	0.68	18.97	29,591.50	122.33
ค่าเฉลี่ย		20.50	12.48	14.46	3.70	2.83	2.34	765.23	0.63	20.98	29,297.07	114.55
ส่วนกลางของลำต้น	L-C1	20.24	6.94	7.63	1.07	0.80	0.73	746.44	0.68	9.59	16,369.31	116.54
	L-C2	20.46	7.07	7.50	1.09	0.78	0.71	718.97	0.65	9.86	20,224.07	139.81
	L-C3	20.40	7.06	7.21	1.04	0.76	0.69	731.89	0.66	10.15	17,285.05	120.02
	L-C4	20.87	6.95	7.37	1.07	0.77	0.71	720.30	0.66	8.45	18,001.35	124.11
	L-C5	21.08	6.56	7.61	1.05	0.67	0.62	636.67	0.59	8.07	17,273.34	124.91
ค่าเฉลี่ย		20.61	6.92	7.46	1.06	0.76	0.69	710.85	0.65	9.22	17,830.62	125.08

ตารางที่ จ.4 (ต่อ)

ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงเฉือนขนานเสี้ยนของไม้เลื่อย 3 ส่วน ได้แก่ส่วนโคนของลำต้น ส่วนกลางของลำต้น และส่วนปลายของลำต้น จำนวนส่วนละ 5 ชิ้น

ชั้นตัวอย่าง ทดสอบ	ความ ยาว (มม.)	ความ กว้าง (มม.)	ความ หนา (มม.)	ปริมาตร (ลบ.ซม.)	มวล ก่อนอบ (กรัม)	มวล หลังอบ (กรัม)	ความ หนาแน่น ของเนื้อไม้ (กก./ลบ.ม.)	ความ ถ่วงจำเพาะ	ความชื้น (%)	แรงกระทำ สูงสุด (กิโลกรัม)	กำลังต้านทานแรง เฉือนขนานเสี้ยน (กก./ตร.ซม.)	
ส่วนปลาย ของลำต้น	L-T1	20.55	4.19	4.68	0.40	0.34	0.31	843.74	0.77	9.68	9,191.62	106.75
	L-T2	20.65	4.26	5.19	0.46	0.37	0.35	810.41	0.77	5.71	8,750.52	99.47
	L-T3	20.29	4.26	5.12	0.44	0.36	0.34	813.47	0.77	5.88	8,656.95	100.16
	L-T4	20.24	4.91	4.97	0.49	0.38	0.32	769.37	0.65	18.75	11,300.07	113.71
	L-T5	20.97	4.72	4.38	0.43	0.33	0.28	761.20	0.65	17.86	7,500.97	75.78
ค่าเฉลี่ย	20.54	4.47	4.87	0.45	0.36	0.32	799.64	0.72	11.58	9,080.03	99.17	

ตารางที่ จ.5

ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงเฉือนขนานเสี้ยนของไฟรอก 3 ส่วน ได้แก่ส่วนโคนของลำต้น ส่วนกลางของลำต้น และส่วนปลายของลำต้น จำนวนส่วนละ 5 ชิ้น

ชิ้นตัวอย่างทดสอบ		ความยาว (มม.)	ความกว้าง (มม.)	ความหนา (มม.)	ปริมาตร (ลบ.ซม.)	มวลก่อนอบ (กรัม)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความหนาแน่นของเนื้อไม้ (กก./ลบ.ม.)	ความถ่วงจำเพาะ	ความชื้น (%)	แรงกระทำสูงสุด (กิโลกรัม)	กำลังต้านทานแรงเฉือนขนานเสี้ยน (กก./ตร.ซม.)
ส่วนโคนของลำต้น	R-B1	20.56	9.21	9.15	1.73	1.13	1.01	652.19	0.58	11.88	19,920.91	105.20
	R-B2	20.32	9.52	9.73	1.88	1.16	1.02	616.29	0.54	13.73	20,386.89	105.39
	R-B3	20.16	9.76	9.46	1.86	1.11	0.99	596.34	0.53	12.12	23,115.66	117.48
	R-B4	20.96	9.08	9.85	1.88	1.19	1.08	634.80	0.58	10.19	23,846.72	125.30
	R-B5	20.53	9.40	9.64	1.86	1.20	1.05	645.04	0.56	14.29	21,845.56	113.20
ค่าเฉลี่ย		20.51	9.39	9.57	1.84	1.16	1.03	628.93	0.56	12.44	21,823.15	113.31
ส่วนกลางของลำต้น	R-C1	20.62	6.19	6.66	0.85	0.42	0.38	494.08	0.45	10.53	10,476.79	82.08
	R-C2	20.35	6.21	6.33	0.80	0.42	0.37	525.04	0.46	13.51	10,428.36	82.52
	R-C3	20.64	5.77	6.49	0.77	0.40	0.36	517.52	0.47	11.11	10,994.45	92.32
	R-C4	21.04	6.02	6.21	0.79	0.43	0.38	546.68	0.49	13.16	11,486.60	90.69
	R-C5	20.48	5.80	6.56	0.78	0.41	0.37	526.17	0.48	10.81	11,182.71	94.14
ค่าเฉลี่ย		20.63	6.00	6.45	0.80	0.42	0.37	521.90	0.47	11.82	10,913.78	88.35

ตารางที่ จ.5 (ต่อ)

ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงเฉือนขนานเสี้ยนของไฟรอก 3 ส่วน ได้แก่ส่วนโคนของลำต้น ส่วนกลางของลำต้น และส่วนปลายของลำต้น จำนวนส่วนละ 5 ชิ้น

ชั้นตัวอย่างทดสอบ	ความยาว (มม.)	ความกว้าง (มม.)	ความหนา (มม.)	ปริมาตร (ลบ.ซม.)	มวลก่อนอบ (กรัม)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความหนาแน่นของเนื้อไม้ (กก./ลบ.ม.)	ความถ่วงจำเพาะ	ความชื้น (%)	แรงกระทำสูงสุด (กิโลกรัม)	กำลังต้านทานแรงเฉือนขนานเสี้ยน (กก./ตร.ซม.)	
ส่วนปลายของลำต้น	R-T1	20.52	5.31	5.10	0.56	0.25	0.23	449.88	0.41	8.70	7,183.17	65.92
	R-T2	20.50	4.66	5.37	0.51	0.28	0.26	545.81	0.51	7.69	5,240.69	54.86
	R-T3	20.41	5.17	4.98	0.53	0.25	0.23	475.75	0.44	8.70	4,301.45	40.76
	R-T4	20.88	4.55	4.91	0.47	0.23	0.21	493.07	0.45	9.52	3,146.38	33.12
	R-T5	20.03	4.50	5.34	0.49	0.27	0.24	553.50	0.49	12.50	6,490.06	71.05
ค่าเฉลี่ย	20.52	4.84	5.14	0.51	0.26	0.23	503.60	0.46	9.42	5,272.35	53.14	



ภาคผนวก ฉ

ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงดึงขนานเส้น

ภาคผนวก ฉ
ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงดึงขนานเสี้ยน

ตารางที่ ฉ.1

ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงดึงขนานเสี้ยนของไม้ตง 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนโคนของลำต้น และ ส่วนกลางของลำต้น จำนวนส่วนละ 3 ชั้น

ชิ้นตัวอย่างทดสอบ		ความกว้าง (มม.)	ความหนา (มม.)	แรงกระทำสูงสุด (กิโลกรัม)	กำลังต้านทานแรงอัดขนานเสี้ยน (กก./ตร.ซม.)
ส่วนโคน ของลำ ต้น	To-B1	12.34	1.21	45,174.45	3,025.47
	To-B2	13.05	1.71	47,262.01	2,117.90
	To-B3	12.82	1.98	59,361.94	2,338.59
ค่าเฉลี่ย		12.74	1.63	50,599.47	2,493.99
ส่วนกลาง ของลำ ต้น	To-C1	9.11	1.60	20,235.62	1,388.28
	To-C2	8.09	1.69	20,222.11	1,479.08
	To-C3	9.18	1.37	19,539.14	1,553.61
ค่าเฉลี่ย		8.79	1.55	19,998.96	1,473.66

ตารางที่ ฉ.2

ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงดึงขนานเสี้ยนของไม้ซางหม่น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนโคนของลำต้น และ ส่วนกลางของลำต้น จำนวนส่วนละ 3 ชั้น

ชิ้นตัวอย่างทดสอบ		ความกว้าง (มม.)	ความหนา (มม.)	แรงกระทำสูงสุด (กิโลกรัม)	กำลังต้านทานแรงอัดขนานเสี้ยน (กก./ตร.ซม.)
ส่วนโคน ของลำ ต้น	Sa-B1	11.51	1.94	33,147.05	1,484.46
	Sa-B2	10.96	2.16	33,528.50	1,416.28
	Sa-B3	11.36	2.31	49,734.48	1,895.25
ค่าเฉลี่ย		11.28	2.14	38,803.34	1,598.66

ตารางที่ ฉ.2 (ต่อ)

ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงดึงขนานเลี่ยนของไม้ช่างหม่น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนโคนของลำต้น และ ส่วนกลางของลำต้น จำนวนส่วนละ 3 ชิ้น

ชิ้นตัวอย่าง ทดสอบ		ความกว้าง (มม.)	ความหนา (มม.)	แรงกระทำสูงสุด (กิโลกรัม)	กำลังต้านทานแรงอัดขนานเลี่ยน (กก./ตร.ซม.)
ส่วน โคนของ ลำต้น	Sa-C1	7.65	1.76	25,650.45	1,905.11
	Sa-C2	7.94	1.93	26,101.76	1,703.30
	Sa-C3	7.96	2.01	30,027.59	1,876.77
ค่าเฉลี่ย		7.85	1.90	27,259.93	1,828.40

ตารางที่ ฉ.3

ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงดึงขนานเลี่ยนของไม้สีสุกบริเวณส่วนโคนของลำต้น จำนวน 3 ชิ้น

ชิ้นตัวอย่าง ทดสอบ		ความกว้าง (มม.)	ความหนา (มม.)	แรงกระทำสูงสุด (กิโลกรัม)	กำลังต้านทานแรงอัดขนานเลี่ยน (กก./ตร.ซม.)
ส่วน โคนของ ลำต้น	Se-B1	9.59	1.66	34,161.54	2,145.91
	Se-B2	9.88	2.15	42,634.09	2,007.07
	Se-B3	10.57	2.33	37,770.33	1,533.63
ค่าเฉลี่ย		10.01	2.05	38,188.65	1,895.53

ตารางที่ ฉ.4

ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงดึงขนานเลี่ยนของไม้เลี้ยงบริเวณส่วนโคนของลำต้น จำนวน 3 ชิ้น

ชิ้นตัวอย่าง ทดสอบ		ความกว้าง (มม.)	ความหนา (มม.)	แรงกระทำสูงสุด (กิโลกรัม)	กำลังต้านทานแรงอัดขนานเลี่ยน (กก./ตร.ซม.)
ส่วน โคนของ ลำต้น	L-B1	9.82	1.67	38659.00	2357.34
	L-B2	10.24	1.54	36417.85	2309.37
	L-B3	9.23	1.95	40628.80	2257.34
ค่าเฉลี่ย		9.76	1.72	38568.55	2308.02

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นางสาว สุทธิชา บรรจงรัตน์
วันเดือนปีเกิด	2 ตุลาคม พ.ศ. 2530
วุฒิการศึกษา	ปีการศึกษา 2552: วิทยาศาสตร์บัณฑิต (สถาปัตยกรรม) คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ตำแหน่ง	สถาปนิก บริษัท การันตี ควอลิตี้ จำกัด
ทุนการศึกษา	ปีพ.ศ. 2555: ทุนสนับสนุนการจัดทำบทความจาก วิทยานิพนธ์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปีพ.ศ. 2556: ทุนอุดหนุนการวิจัย ประเภทบัณฑิตศึกษา สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)
ผลงานทางวิชาการ	<p>สุทธิชา บรรจงรัตน์ และ สุปรีย์ดี ฤทธิรงค์. (2556). การพัฒนาคุณสมบัติทางกลของพันธุ์ไม้ไทย ในงาน โครงสร้างเรียบง่าย. ใน มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผัง เมือง, เทคโนโลยีอาคาร: การประชุมวิชาการ <i>Built environment research associates conference 4</i> (น. 16-23). กรุงเทพฯ: คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง.</p>
ประสบการณ์ทำงาน	ปีพ.ศ. 2557-ปัจจุบัน: สถาปนิก บริษัท การันตีควอลิตี้ จำกัด ปีพ.ศ. 2554-2556: ผู้ช่วยสถาปนิก บริษัท การันตีควอลิตี้ จำกัด