



การพัฒนาข้อต่อโครงถักไม้ไผ่สำหรับโครงสร้างสถาปัตยกรรม

โดย

นางสาวรุ่งพรษา น้อยจันทร์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสถาปัตยกรรม

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

การพัฒนาข้อต่อโครงถักไม้ไผ่สำหรับโครงสร้างสถาปัตยกรรม

โดย

นางสาวรุ่งพรรชา น้อยจันทร์



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสถาปัตยกรรม

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศา

ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์



DEVELOPMENT OF BAMBOO TRUSS FRAME CONNECTIONS
FOR ARCHITECTURAL APPLICATIONS

BY

MISS RUNGPANSA NOICHAN



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

ARCHITECTURE

FACULTY OF ARCHITURE AND PLANNING

THAMMASAT UNIVERSITY

ACADEMIC YEAR 2014

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง

วิทยานิพนธ์

ของ

นางสาวรุ่งพรพรชา น้อยจันทร์

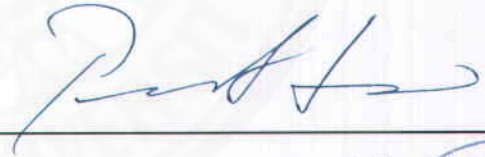
เรื่อง

การพัฒนาข้อต่อโครงถักไม้ไผ่สำหรับโครงสร้างสถาปัตยกรรม

ได้รับการตรวจสอบและอนุมัติ ให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

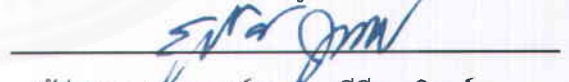
เมื่อ วันที่ 11 สิงหาคม พ.ศ. 2558

ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



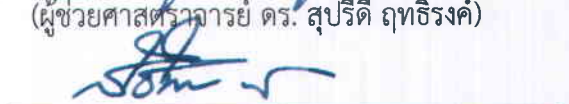
(รองศาสตราจารย์ ดร. ภูษิต เลิศวัฒน์รักษ์)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์



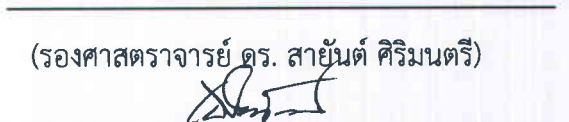
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุปรีย์ ฤทธิรงค์)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์



(รองศาสตราจารย์ ดร. สายันต์ ศิริมนตรี)

คณบดี



(รองศาสตราจารย์ เฉลิมวัฒน์ ตันตสวัสต์)

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาข้อต่อโครงถักไม้ไผ่สำหรับโครงสร้าง สถาปัตยกรรม
ชื่อผู้เขียน	นางสาวรุ่งพรธชา น้อยจันทร์
ชื่อปริญญา	สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา/คณะ/มหาวิทยาลัย	สถาปัตยกรรม สถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุปรیتی ฤทธิรงค์
ปีการศึกษา	2557

บทคัดย่อ

ไม้ไผ่เป็นวัสดุธรรมชาติที่ส่งเสริมความยั่งยืน เป็นโครงสร้างที่เป็นวัสดุทางเลือกในงานวิศวกรรมโครงสร้างและได้รับความสนใจมากขึ้นในเชิงอนุรักษ์ธรรมชาติ มีคุณสมบัติในการรับแรงอัดและแรงดึง จึงเป็นที่นิยมนำมาใช้เป็นวัสดุทดแทนไม้แปรรูปที่ในปัจจุบันมีปริมาณป่าไม้ที่จำกัด เมื่อเทียบกับไม้ที่มีความต้องการในการใช้งานมาก เนื่องจากการนำไผ่มาใช้ทำโครงสร้างมีองค์ความรู้ที่จำกัด ทำให้เกิดปัญหาในเรื่องการนำไผ่มาใช้ในอาคารที่ต้องการพื้นที่โล่งกว้าง จึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจที่
ให้ไม้ไผ่สามารถใช้ในโครงสร้างอาคารช่วงพาดยาวได้ ทำให้เล็งเห็นความจำเป็นในการพัฒนา
โครงสร้างไม้ไผ่ในด้านเทคนิคการก่อสร้างและเรื่องการใช้วัสดุร่วมกับไม้ โครงสร้างที่มีระบบ จน
ไปถึงการเชื่อมต่อไม้ไผ่ เพื่อให้ประสิทธิภาพการรับแรงของโครงสร้างไม้ไผ่ดีขึ้น โดยกำหนดระบบ
โครงสร้างให้เป็นแบบอาคารช่วงพาดยาวคือระบบโครงถักเพื่อศึกษาความเป็นไปได้และประสิทธิภาพ
ในการรับแรง

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาข้อต่อโครงถักไม้ไผ่ที่เหมาะสมกับรูปแบบการต่อ
แบบต่างๆ เพื่อให้ประสิทธิภาพการรับแรงของโครงสร้างไม้ไผ่ดีขึ้น ไม้ที่ใช้ในการทดลองเป็นไผ่ชาง
หม่น ซึ่งเป็นไม้ที่มีความแข็งแรง เนื้อไม้หนา และมีคุณสมบัติเชิงกลโดยรวมดีที่สุด ขนาดเส้นผ่าน
ศูนย์กลาง 8-10 เซนติเมตร โดยมีรูปแบบข้อต่อ 4 ประเภท ได้แก่ ข้อต่อแบบท่อน ข้อต่อแบบกรวย ข้อ
ต่อแบบแผ่นเหล็ก และข้อต่อแบบแผ่นเหล็กตัวที การทดลองแบ่งเป็น 2 ส่วน ในส่วนแรกเป็นการ
ทดสอบประสิทธิภาพการรับแรงของข้อต่อ 4 รูปแบบตามมาตรฐาน ASTM D198 Standard
Methods of Static Test of Timbers in Structural Size หลังจากนั้นนำรูปแบบข้อต่อที่มี
ประสิทธิภาพการรับแรงดีที่สุดมาพัฒนาต่อเพื่อให้เหมาะสมกับจำนวนลำที่ใช้ในข้อต่อ ในส่วนที่สอง

เป็นการนำข้อต่อมาประกอบเป็นโครงถักในโปรแกรมแบบจำลองคอมพิวเตอร์ เพื่อนำค่าที่ได้จากการทดสอบมาใช้ในการวิเคราะห์ความสามารถในการรับน้ำหนักของโครงถัก

ผลการศึกษาพบว่าข้อต่อแบบท่อมีความสามารถในการรับแรงได้ดีที่สุด โดยรับแรงได้อัดได้ 280.48 กก./ตร.ซม. และรับแรงดึงได้ 296.55 กก./ตร.ซม. เมื่อมีการใช้อีพ็อกซีผสมทรายหยาบเป็นตัวเชื่อมต่อระหว่างวัสดุไฟเบอร์และข้อต่อเหล็ก เนื่องจากอีพ็อกซีจะทำหน้าที่เป็นตัวช่วยรับแรงเฉือนที่เกิดขึ้นระหว่างไฟเบอร์และสลักเกลียว และเมื่อนำมาวิเคราะห์โดยแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์พบว่าข้อต่อแบบท่อสามารถใช้ในโครงหลังคากระยะพาดช่วงได้ถึง 12 เมตรสำหรับโครงถักแบบแพทท และสามารถใช้น้ำหนักพื้นได้ในระยะพาด 8 เมตรสำหรับโครงถักแบบแพลทแพททและแบบวาร์เรน ในขณะที่ข้อต่อแบบกรวยและข้อต่อแบบแผ่นเหล็กไม่สามารถนำไปใช้งานได้ในทุกกรณี

การวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของการใช้ไม้ไฟในระบบโครงถักเพื่อที่จะสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในโครงสร้างช่วงพาดยาวได้ อย่างไรก็ตามข้อต่อที่เหมาะสมและระบบโครงถักจะต้องมีการออกแบบให้ถูกต้องและเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งาน และหวังว่าจะเป็น การส่งเสริมการใช้ประโยชน์จากไม้ไฟในอาคารสาธารณะขนาดใหญ่ให้มากยิ่งขึ้น

คำสำคัญ: โครงสร้างไม้ไฟ, โครงถัก, ข้อต่อ, ประสิทธิภาพการรับแรง, มาตรฐาน ASTM

Thesis Title	DEVELOPMENT OF BAMBOO TRUSS FRAME CONNECTIONS FOR ARCHITECTURAL APPLICATIONS
Author	Miss Rungpansa Noichan
Degree	Master of Architecture
Department/Faculty/University	Architecture Faculty of Architecture and Planning Thammasat University
Thesis Advisor	Assistant Professor Supreedee Rittironk, Ph.D.
Academic Years	2014

ABSTRACT

Bamboo is a natural material that raises concern in sustainability. It has become the structural material of choice and being friendly to environment. Qualified in the compressive strength and tensile strength, bamboo is seen to be used as the substituted material for lumber. However, bamboo used in architectural structures has limited knowledge, especially in the implementation of public buildings that need large space. It is interesting to see now bamboo can be used in long span structure. Thus it is important to develop a bamboo structure using techniques, long-span, system and bamboo innovative structure connections. The research decides to explore the trusses system to study the feasibility and performance of strength, using bamboo.

The objective of the study is to examine bamboo truss systems and connections that can offer best performance and most capacity of strength of bamboo structure. Bamboo used in this research is *Dendrocalamus strictus* with 8-10 centimeter diameter. The truss connectors are innovatively designed to be four types ; pipe connection, cone and node connection, steel plate connection, and steel T-plate connection. The finding process is divided into 2 phases. The first phase was to test the performance of the 4 connections by using ASTM D198 in lab testing

environment. The connection with the best performance will be developed to design at the right number of connecting member used in connections. In second phase, the connections are again tested using computer model in computer simulation program. The results of the program will be compared to ensure the structure will stand according to lab test data result.

The test result appears that the pipe connection has the best performance at compressive strength of 280.48 kg./cm, and tensile strength of 296.55 kg./cm. Using epoxy mixed with sand fill in the connectors will increase the capability of connections. Epoxy help resisting shear forces between bamboo and bolts. After analyzed by computer modeling simulation, it is found that pipe connection can also be used for roof structure at span of 12 meters for pratt truss, and use to support floor structure at span 8 meters for flat pratt and warren truss. While, cone connection and plat connection do not offer valid uses.

The research shows high potential for using bamboo in truss system, so they are possible in long-span application. However, the right connections and truss system must be scientifically designed for the right application. It is hoped to promote more uses of bamboo in larger public building.

Keywords: bamboo structure, trusses structure, connection, performance of strength,

ASTM

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีด้วยความกรุณาจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุปรีย์ ฤทธิรงค์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้ให้คำปรึกษา ช่วยเหลือทั้งด้านวิชาการและการดำเนินการวิจัย ติดตามความก้าวหน้าในการดำเนินการวิจัย อีกทั้งยังช่วยแก้ปัญหาและอุปสรรคต่างๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินงาน รวมไปถึงการประสานงานเข้าร่วมงานประชุมวิชาการ International Symposium of Asia Institute of Urban (AIUE2015) ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.ภูษิต เลิศวัฒนารักษ์ และรองศาสตราจารย์ ดร.สายันต์ ศิริมนตรี ที่กรุณาเสียสละเวลาให้ความช่วยเหลือและแนะนำด้านทฤษฎี การทดสอบวัสดุ และการวิเคราะห์โครงสร้างทางวิศวกรรมด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ผู้วิจัยขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัยจากกองทุนวิจัยมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ภายใต้ “ทุนวิจัยทั่วไป” ตามสัญญาเลขที่ ทน 54/2558

ขอขอบคุณรุ่นพี่ และเพื่อน ๆ ที่คอยให้คำแนะนำ กำลังใจ และให้ความช่วยเหลือในทุกๆ ด้าน และขอบคุณ นายละเมียด ธรรมทันตา เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการและทดสอบ และขอบคุณบุคคลอื่นๆ อีกมากมายที่อยู่เบื้องหลังความสำเร็จครั้งนี้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดาคอยให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจให้แก่ผู้วิจัยเสมอมา คุณค่าและประโยชน์อันเกิดจากงานวิจัยฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแต่พระคุณบิดา มารดา อาจารย์ ตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการช่วยเหลือและสนับสนุนตลอดมา

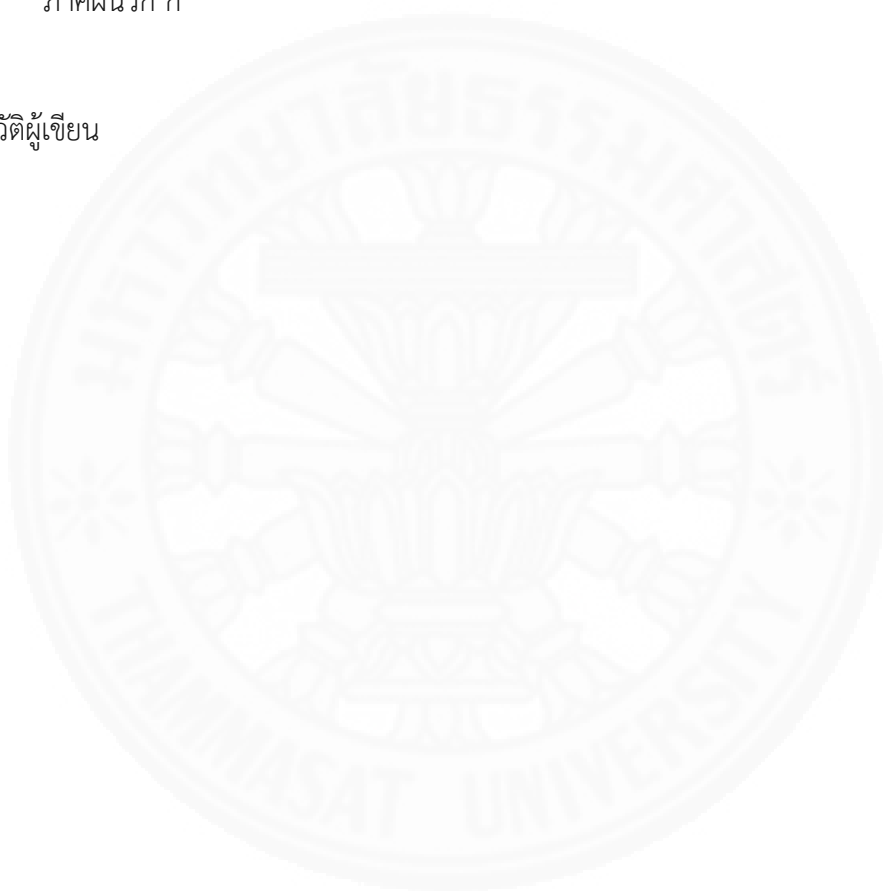
นางสาวรุ่งพรธชา น้อยจันทร์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	(1)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(3)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญตาราง	(9)
สารบัญภาพ	(12)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 คำจำกัดความ	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย	3
บทที่ 2 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับไม้ไผ่	4
2.2 คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไม้	4
2.3 ข้อต่อไม้ไผ่	12
2.4 ความหมายและส่วนประกอบของโครงถัก	16
2.5 มาตรฐานการทดสอบ	18
2.6 มาตรฐานน้ำหนักที่กระทำกับโครงสร้างอาคาร	18
2.7 ศึกษาสถาปัตยกรรมไม้ไผ่ที่เป็นโครงสร้างพาดยาว	23

บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย	29
3.1 ประเภทของการวิจัย	29
3.2 ขั้นตอนการวิจัย	29
3.3 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องในงานวิจัย	31
3.4 วัสดุและเครื่องมือในการวิจัย	34
3.5 สถานที่ทดสอบ	35
3.6 ขั้นตอนการออกแบบและทดลอง	36
3.7 การเตรียมการทดสอบ	39
3.8 ขั้นตอนการทดสอบ	45
3.9 ขั้นตอนการเก็บข้อมูล	47
3.10 ขั้นตอนการวิเคราะห์ผล	47
บทที่ 4 ผลการวิจัย	48
4.1 คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกล	48
4.2 ผลการทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดของข้อต่อแบบต่างๆ	50
4.3 ผลการทดสอบความสามารถในการรับแรงดึงของข้อต่อแบบต่างๆ	76
4.4 ผลการศึกษาแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์	88
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	113
5.1 สรุปผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของข้อต่อแบบต่างๆ	113
5.2 สรุปผลการวิเคราะห์โครงสร้างโดยแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์	118
5.3 แนวทางการนำไปใช้ในงานโครงสร้างทางสถาปัตยกรรม	128
5.4 ตัวอย่างการออกแบบอาคารสาธารณะขนาดเล็กโดยใช้โครงถักไม้ไผ่	131
5.5 ข้อเสนอแนะในการวิจัย	135

5.5.1	ข้อจำกัดในการนำข้อต่อมาใช้งาน	135
5.5.2	ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต	136
	รายการอ้างอิง	137
	ภาคผนวก	
	ภาคผนวก ก	140
	ประวัติผู้เขียน	146



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 คุณสมบัติทางกายภาพของไม้	6
2.2 คุณสมบัติเชิงกลของไม้	7
2.3 ความถ่วงจำเพาะและคุณสมบัติในการรับแรงดัดตามตำแหน่งและอายุของไม้	10
2.4 ส่วนปลอดภัยของไม้ชั้น 1	19
2.5 ส่วนปลอดภัยของไม้ชั้น 2	19
2.6 หน่วยแรงที่ยอมให้ของไม้	20
2.7 น้ำหนักบรรทุกทุกคงที่	20
2.8 น้ำหนักบรรทุกจร	22
4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายและคุณสมบัติเชิงกล	49
4.2 ผลการทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดของข้อต่อแบบท่อน	50
4.3 ผลการทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดของข้อต่อแบบกรวยไม่มีสลักเกลียว	52
4.4 ผลการทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดของข้อต่อแบบกรวยมีสลักเกลียว	53
4.5 ผลการทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดของข้อต่อแบบแผ่นเหล็ก	55
4.6 ผลการทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดของข้อต่อแบบแผ่นเหล็กตัวที่	56
4.7 ผลการทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดของข้อต่อแบบต่างๆ	58
4.8 ผลการทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดของข้อต่อแบบท่อนโดยมีการใส่ฮีฟ็อกซี่	60
4.9 ผลการทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดของข้อต่อแบบท่อนโดยมีการใส่ฮีฟ็อกซี่และสลักเกลียว	61
4.10 ผลการทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดของข้อต่อแบบท่อนโดยมีการใส่ฮีฟ็อกซี่ผสมทรายหยาบและสลักเกลียว (1)	63
4.11 ผลการทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดของข้อต่อแบบท่อนโดยมีการใส่ฮีฟ็อกซี่ผสมทรายหยาบและสลักเกลียว (2)	64
4.12 ผลการทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดของข้อต่อแบบกรวยโดยมีการใส่ฮีฟ็อกซี่	66
4.13 ผลการทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดของข้อต่อแบบกรวยมีสลักเกลียวโดยมีการใส่ฮีฟ็อกซี่	67
4.14 ผลการทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดของข้อต่อแบบแผ่นเหล็กโดยมีการใส่ฮีฟ็อกซี่	68

4.15 ผลการทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดของข้อต่อแบบแผ่นเหล็กโดยมีการใส่ อีพ็อกซีและสลักเกลียว	69
4.16 ผลการทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดของข้อต่อแบบแผ่นเหล็กตัวทีโดยมีการ ใส่อีพ็อกซี	70
4.17 ผลการทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดของข้อต่อแบบต่างๆโดยมีการใส่อีพ็อกซี	71
4.18 ผลการทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดของข้อต่อแบบต่างๆ	73
4.19 ผลการทดสอบความสามารถในการรับแรงดึงของข้อต่อแบบท่อโดยใช้สลักเกลียว	76
4.20 ผลการทดสอบความสามารถในการรับแรงดึงของข้อต่อแบบท่อโดยมีการใส่อีพ็อกซี 5 เซนติเมตร	78
4.21 ผลการทดสอบความสามารถในการรับแรงดึงของข้อต่อแบบท่อโดยมีการใส่อีพ็อกซี 10 เซนติเมตร	79
4.22 ผลการทดสอบความสามารถในการรับแรงดึงของข้อต่อแบบท่อโดยมีการใส่อีพ็อกซี 10 เซนติเมตร ผสมกับทรายหยาบเบอร์ 50 ในอัตราส่วน 1:2 และทำผิวไม้ขรุขระ	80
4.23 ผลการทดสอบความสามารถในการรับแรงดึงของข้อต่อแบบท่อโดยมีการใส่อีพ็อกซี 10 เซนติเมตร ผสมกับทรายหยาบเบอร์ 50 ในอัตราส่วน 1:2 ทำผิวไม้ขรุขระและใส่ สลักเกลียว	82
4.24 ผลการทดสอบความสามารถในการรับแรงดึงของข้อต่อแบบกรวยโดยมีการใส่อีพ็อกซี ผสมกับทรายหยาบเบอร์ 50 ในอัตราส่วน 1:2 และทำผิวไม้ขรุขระ	83
4.25 ผลการทดสอบความสามารถในการรับแรงดึงของข้อต่อแบบกรวยมีสลักเกลียวโดยมี การใส่อีพ็อกซีผสมกับทรายหยาบเบอร์ 50 ในอัตราส่วน 1:2 และทำผิวไม้ขรุขระ	84
4.26 ผลการทดสอบความสามารถในการรับแรงดึงของข้อต่อแบบต่างๆ	86
4.27 ผลการคำนวณแรงภายในชิ้นส่วนโครงถักสำหรับโครงหลังคาโดยหุ่นจำลองทาง คอมพิวเตอร์	101
4.28 การเลือกใช้ข้อต่อที่เหมาะสมกับการรับแรงของโครงถักสำหรับโครงหลังคาแต่ละ ประเภท	102
4.29 ผลการคำนวณแรงภายในชิ้นส่วนโครงถักสำหรับโครงหลังคาโดยหุ่นจำลองทาง คอมพิวเตอร์	109
4.30 การเลือกใช้ข้อต่อที่เหมาะสมกับการรับแรงของโครงถักสำหรับโครงหลังคาแต่ละ ประเภท	110

4.31 การเลือกใช้ข้อต่อที่เหมาะสมกับการรับแรงของโครงสร้างอาคารโครงถักไม้ไผ่แต่ละประเภท	111
5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการรับแรง ระยะเวลาการทำงาน และค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง	116
5.2 การคำนวณแรงที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วนโครงถักจากการคูณค่าคงที่ที่ได้จากการคำนวณโมเดลทางคอมพิวเตอร์ สำหรับโครงถักแบบแพลทแพรระยะพาด 8 เมตร	119
5.3 การคำนวณแรงที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วนโครงถักจากการคูณค่าคงที่ที่ได้จากการคำนวณโมเดลทางคอมพิวเตอร์ สำหรับโครงถักแบบแพลทแพรระยะพาด 10 เมตร	120
5.4 การคำนวณแรงที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วนโครงถักจากการคูณค่าคงที่ที่ได้จากการคำนวณโมเดลทางคอมพิวเตอร์ สำหรับโครงถักแบบแพลทแพรระยะพาด 12 เมตร	121
5.5 การคำนวณแรงที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วนโครงถักจากการคูณค่าคงที่ที่ได้จากการคำนวณโมเดลทางคอมพิวเตอร์ สำหรับโครงถักแบบวาร์เรนระยะพาด 8 เมตร	122
5.6 การคำนวณแรงที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วนโครงถักจากการคูณค่าคงที่ที่ได้จากการคำนวณโมเดลทางคอมพิวเตอร์ สำหรับโครงถักแบบวาร์เรนระยะพาด 10 เมตร	123
5.7 การคำนวณแรงที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วนโครงถักจากการคูณค่าคงที่ที่ได้จากการคำนวณโมเดลทางคอมพิวเตอร์ สำหรับโครงถักแบบวาร์เรนระยะพาด 12 เมตร	124
5.8 การคำนวณแรงที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วนโครงถักจากการคูณค่าคงที่ที่ได้จากการคำนวณโมเดลทางคอมพิวเตอร์ สำหรับโครงถักแบบแพรระยะพาด 8 เมตร	125
5.9 การคำนวณแรงที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วนโครงถักจากการคูณค่าคงที่ที่ได้จากการคำนวณโมเดลทางคอมพิวเตอร์ สำหรับโครงถักแบบแพรระยะพาด 10 เมตร	126
5.10 การคำนวณแรงที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วนโครงถักจากการคูณค่าคงที่ที่ได้จากการคำนวณโมเดลทางคอมพิวเตอร์ สำหรับโครงถักแบบแพรระยะพาด 11 เมตร	127

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ข้อต่อไม้ไผ่รูปแบบต่างๆ	13
2.2 Double layer grids	14
2.3 การเชื่อมต่อไม้ด้วยวิธีดั้งเดิม	14
2.4 การเชื่อมต่อไม้ด้วยวิธีสมัยใหม่	15
2.5 การเชื่อมต่อไม้ด้วยวิธีสมัยใหม่	15
2.6 ส่วนประกอบของโครงถัก	17
2.7 แนวแรงของชิ้นส่วน	17
2.8 โรงเรียนปัญญาเด่น	23
2.9 โครงสร้างไม้ไผ่ของอาคารเรียนโรงเรียนปัญญาเด่น	23
2.10 The Dailai Conference Hall	24
2.11 โครงถักไม้ไผ่สำหรับรับโครงสร้างหลังคา	24
2.12 อาคาร Bamboo cathedral ใน Big Tree Farms Chocolate Factory	25
2.13 โครงถักรับหลังคาภายในอาคาร Bamboo cathedral	25
2.14 อาคาร PANACA Theme Park	26
2.15 โครงถักไม้ไผ่รับโครงสร้างหลังคา	26
2.16 อาคารเรียน Greenest School	27
2.17 โครงสร้างภายในอาคารเรียน Greenest School	27
2.18 สะพานไม้ไผ่ภายใน Greenest School	28
2.19 โครงสร้างภายในสะพานไม้ไผ่ภายใน Greenest School	28
3.1 ขั้นตอนการวิจัย	30
3.2 ข้อต่อแบบท่อน	32
3.3 ข้อต่อแบบกรวยมีสลักเกลียวและไม่มีสลักเกลียว	32
3.4 ข้อต่อแบบแผ่นเหล็ก	32
3.5 ข้อต่อแบบแผ่นเหล็กตัวที	32
3.6 อีพ็อกซี่	33
3.7 เวอร์เนียคาลิเปอร์ (Vernier Caliper)	34
3.8 เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล (Digital Scale)	35

3.9 เครื่อง UTM (Universal Testing Machine)	35
3.10 ขั้นตอนการทดสอบประสิทธิภาพในการรับแรงของข้อต่อ	37
3.11 ขั้นตอนการคำนวณหุนจำลองทางคอมพิวเตอร์	38
3.12 ตัวอย่างการทดสอบความสามารถในการรับแรงของข้อต่อแบบท่อโดยใช้สลักเกลียว	40
3.13 ตัวอย่างทดสอบความสามารถในการรับแรงดึงของข้อต่อแบบท่อโดยใช้การเชื่อมต่อระหว่างไม้กับข้อต่อด้วยวิธีที่แตกต่างกัน	40
3.14 ตัวอย่างทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดของข้อต่อแบบกรวยโดยใช้การเชื่อมต่อระหว่างไม้กับข้อต่อด้วยวิธีที่แตกต่างกัน	42
3.15 ตัวอย่างทดสอบความสามารถในการรับแรงดึงของข้อต่อแบบกรวยโดยใช้การเชื่อมต่อระหว่างไม้กับข้อต่อด้วยวิธีที่แตกต่างกัน	42
3.16 ตัวอย่างทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดของข้อต่อแบบแผ่นเหล็กโดยใช้การเชื่อมต่อระหว่างไม้กับข้อต่อด้วยวิธีที่แตกต่างกัน	43
3.17 ตัวอย่างทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดของข้อต่อแบบแผ่นเหล็กตัวทีโดยใช้การเชื่อมต่อระหว่างไม้กับข้อต่อด้วยวิธีที่แตกต่างกัน	44
4.1 ลักษณะการวิบัติของลำไม้	48
4.2 ลักษณะการวิบัติของข้อต่อแบบท่อ	51
4.3 ลักษณะการวิบัติของข้อต่อแบบกรวยไม่มีสลักเกลียว	52
4.4 ลักษณะการวิบัติของข้อต่อแบบกรวยมีสลักเกลียว	54
4.5 ลักษณะการวิบัติของข้อต่อแบบแผ่นเหล็ก	55
4.6 ลักษณะการวิบัติของข้อต่อแบบแผ่นเหล็กตัวที	57
4.7 ลักษณะการวิบัติของข้อต่อแบบท่อโดยมีการใส่ฮีฟ็อกซี	60
4.8 ลักษณะการวิบัติของข้อต่อแบบท่อโดยมีการใส่ฮีฟ็อกซีและสลักเกลียว	62
4.9 ลักษณะการวิบัติของข้อต่อแบบท่อโดยมีการใส่ฮีฟ็อกซีผสมทรายหยาบและสลักเกลียว	63
4.10 ลักษณะการวิบัติของข้อต่อแบบท่อโดยมีการใส่ฮีฟ็อกซีผสมทรายหยาบและสลักเกลียว	65
4.11 ความสามารถในการรับแรงของข้อต่อแต่ละประเภท	75
4.12 ลักษณะการวิบัติของข้อต่อแบบท่อโดยใช้สลักเกลียว	77
4.13 ลักษณะการวิบัติของข้อต่อแบบท่อโดยมีการใส่ฮีฟ็อกซี 5 เซนติเมตร	78
4.14 ลักษณะการวิบัติของข้อต่อแบบท่อโดยมีการใส่ฮีฟ็อกซี 10 เซนติเมตร ผสมกับทรายหยาบเบอร์ 50 และทำผิวไม้ขรุขระ	81

4.15	ลักษณะการวิบัติของข้อต่อแบบท่อโดยมีการใส่ฮีฟ็อกซี่ 10 เซนติเมตร ผสมกับ ทรายหยาบเบอร์ 50 และทำผิวไผ่ขรุขระและใส่สลักเกลียว	82
4.16	ความสามารถในการรับแรงดึงของข้อต่อแต่ละประเภท	87
4.17	พื้นไม้ลามิเนต	89
4.18	แบบแปลนสถาปัตยกรรมโครงถักไม้ไผ่สำหรับรับพื้นและหลังคา ระยะช่วงพาด 8 เมตร	89
4.19	แบบแปลนสถาปัตยกรรมโครงถักไม้ไผ่สำหรับรับพื้นและหลังคา ระยะช่วงพาด 10 เมตร	90
4.20	แบบแปลนสถาปัตยกรรมโครงถักไม้ไผ่สำหรับรับพื้นและหลังคา ระยะช่วงพาด 12 เมตร	91
4.21	ลักษณะการเสียรูปของโครงถักแบบแพลทแพรทเมื่อมีแรงมากกระทำ	92
4.22	ลักษณะการเสียรูปของโครงถักแบบวาร์เรนเมื่อมีแรงมากกระทำ	93
4.23	ลักษณะการเสียรูปของโครงถักแบบแพลทแพรทเมื่อมีแรงมากกระทำ	94
4.24	ลักษณะการเสียรูปของโครงถักแบบแพลทแพรทเมื่อมีแรงมากกระทำ	95
4.25	ลักษณะการเสียรูปของโครงถักแบบวาร์เรนเมื่อมีแรงมากกระทำ	96
4.26	ลักษณะการเสียรูปของโครงถักแบบแพลทแพรทเมื่อมีแรงมากกระทำ	97
4.27	ลักษณะการเสียรูปของโครงถักแบบแพลทแพรทเมื่อมีแรงมากกระทำ	98
4.28	ลักษณะการเสียรูปของโครงถักแบบวาร์เรนเมื่อมีแรงมากกระทำ	99
4.29	ลักษณะการเสียรูปของโครงถักแบบแพลทแพรทเมื่อมีแรงมากกระทำ	100
4.30	ลักษณะการเสียรูปของโครงถักแบบแพลทแพรทเมื่อมีแรงมากกระทำ	103
4.31	ลักษณะการเสียรูปของโครงถักแบบวาร์เรนเมื่อมีแรงมากกระทำ	104
4.32	ลักษณะการเสียรูปของโครงถักแบบแพลทแพรทเมื่อมีแรงมากกระทำ	105
4.33	ลักษณะการเสียรูปของโครงถักแบบวาร์เรนเมื่อมีแรงมากกระทำ	106
4.34	ลักษณะการเสียรูปของโครงถักแบบแพลทแพรทเมื่อมีแรงมากกระทำ	107
4.35	ลักษณะการเสียรูปของโครงถักแบบวาร์เรนเมื่อมีแรงมากกระทำ	108
5.1	ความสามารถในการรับแรงอัด-แรงดึงของข้อต่อแต่ละประเภท	115
5.2	ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการรับแรง ระยะเวลาก่อสร้างและ ค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการก่อสร้าง	117
5.3	แนวทางการเลือกใช้ข้อต่อ	129

5.4 แนวทางการเลือกใช้โครงถักและข้อต่อที่เหมาะสม	130
5.5 ผังพื้นชั้น 1	131
5.6 ผังพื้นชั้น 2	131
5.7 รูปด้านที่ 1	132
5.8 รูปด้านที่ 2	132
5.9 รูปด้านที่ 3	133
5.10 ทศนิยมภาพของอาคารไม้ไผ่	133
5.11 ทศนิยมภาพของอาคารไม้ไผ่	134
5.12 โครงถักที่เชื่อมต่อชิ้นส่วนด้วยข้อต่อแบบท่อ	134
5.13 โครงถักที่เชื่อมต่อชิ้นส่วนด้วยข้อต่อแบบแผ่นเหล็กตัวที	134

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันปริมาณความต้องการใช้ไม้แปรรูปในอุตสาหกรรมก่อสร้างมีจำนวนมากขึ้น ในขณะที่ปริมาณไม้ยืนต้นที่มีอยู่ภายในประเทศลดน้อยลงเรื่อย ๆ ทำให้ต้องมีการนำเข้าไม้ท่อนและไม้แปรรูปจากต่างประเทศซึ่งมีราคาสูงส่งผลให้ราคาค่าก่อสร้างอาคารไม้สูงขึ้น จึงเริ่มมีการหาวัสดุทดแทนไม้ยืนต้นที่มีคุณสมบัติทางวัสดุใกล้เคียงกันมาใช้ในการก่อสร้าง และเนื่องจากในอดีตการก่อสร้างบ้านเรือนนิยมใช้ไม้ไผ่เป็นวัสดุในการก่อสร้างดังนั้นจึงเริ่มมีการนำเอาไม้ไผ่กลับมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบและโครงสร้างทางสถาปัตยกรรม โดยพัฒนาคุณสมบัติของวัสดุไม้ให้มีความเหมาะสมกับการก่อสร้างในปัจจุบัน

ไม้ไผ่เป็นวัสดุที่ยั่งยืน มีวงจรชีวิตสั้นกว่าไม้ยืนต้นประเภทอื่น ๆ และเป็นทรัพยากรหมุนเวียน เนื้อไม้ไผ่เมื่อแห้งแล้วการขยายหรือหดตัวมีน้อยกว่าไม้ชนิดอื่น อีกทั้งยังเป็นโครงสร้างที่สมบูรณ์ที่สุดในด้านของการออกแบบทางวิศวกรรมโครงสร้าง เนื่องจากมีลำต้นกลวง ใช้วัสดุน้อย ผิวนอกแข็งและเหนียว คล้ายกับการเสริมเหล็กในคอนกรีต มีข้อปล้องเป็นระยะ ๆ สร้างความแข็งแรงให้กับโครงสร้าง อีกทั้งยังมีคุณสมบัติในการรับแรงอัดและแรงดึงสูง จึงนิยมใช้ไม้ไผ่เป็นวัสดุทดแทนในการก่อสร้างแทนไม้ยืนต้น แต่เนื่องจากปัจจุบันมีการพัฒนาวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างที่สามารถตอบสนองความต้องการทางกายภาพได้ดีกว่า ทำให้การใช้ไม้ไผ่ในอุตสาหกรรมก่อสร้างมีปริมาณลดลง แม้ว่าอุตสาหกรรมไม้ไผ่จะมีการพัฒนาเพื่อให้ไม้ไผ่มีความคงทนเหมาะสมกับการก่อสร้างมากกว่าแต่ก่อน แต่ก็ยังคงมีปัญหาในเรื่องการจัดพื้นที่ใช้สอยอาคาร เพราะคุณสมบัติของไม้ไผ่สามารถมีช่วงพาดช่วงเสาได้ไม่เกิน 3.00 เมตรโดยประมาณเนื่องจากคุณสมบัติทางกายภาพของไม้ จึงไม่เหมาะกับการจัดพื้นที่สอยในอาคารปัจจุบันที่มีความต้องการพื้นที่ภายในอาคารกว้าง ทำให้มีการนำวัสดุอื่นมาใช้แทนไม้ไผ่ในส่วนของโครงสร้างพาดยาว อีกทั้งในเรื่องของการเชื่อมต่อข้อต่อต่าง ๆ ของโครงสร้างไม้ไผ่ซึ่งถือได้ว่าเป็นส่วนที่ยากที่สุดสำหรับโครงสร้างไม้ไผ่ เนื่องจากไม้ไผ่มีลักษณะเป็นท่อนกลวง เนื้อไม้ภายในไม่สม่ำเสมอและผิวของไม้ไผ่ที่มีลักษณะลื่นทำให้ยากต่อการยึดจับ จำเป็นต้องเลือกการเชื่อมต่อให้มีความเหมาะสมกับข้อต่อแต่ละประเภท แต่ละชิ้นส่วน เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการรับและถ่ายแรงระหว่างชิ้นส่วนอาคาร

เมื่อต้องการที่จะให้ไม้ไผ่สามารถใช้ในโครงสร้างอาคารช่วงพาดยาวได้ จำเป็นต้องพัฒนาโครงสร้างไม้ไผ่ในด้านเทคนิคการก่อสร้างทั้งในเรื่องการเลือกใช้วัสดุร่วมกับไม้ โครงสร้างที่มีระบบ จนไปถึงการเชื่อมต่อไม้ไผ่ในส่วนต่าง ๆ เพื่อให้ประสิทธิภาพการรับแรงของโครงสร้างไม้ไผ่ดีขึ้น ดังนั้นงานวิจัยจึงต้องการที่จะทดสอบข้อต่อที่เหมาะสมกับระบบโครงถักซึ่งเป็นระบบที่นิยมใช้ในโครงสร้างพาดช่วงยาว เพื่อให้เหมาะสมกับการรับน้ำหนักและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบและการก่อสร้างสถาปัตยกรรมได้ง่ายและมีประสิทธิภาพ ช่วยในการประหยัดงบประมาณและเวลาในการก่อสร้าง

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 ศึกษารูปแบบโครงถักจากโครงสร้างไม้ไผ่ที่มีอยู่ในปัจจุบัน
- 1.2.2 ศึกษาและออกแบบข้อต่อของโครงถักไม้ไผ่ ที่ใช้เทคโนโลยีและกรรมวิธีการก่อสร้างที่ทำอยู่ในปัจจุบัน
- 1.2.3 ศึกษาความสามารถในการรับน้ำหนักของข้อต่อแบบต่าง ๆ
- 1.2.4 เปรียบเทียบความสามารถในการรับน้ำหนักของข้อต่อแบบต่าง ๆ
- 1.2.5 นำเสนอแนวทางการใช้ข้อต่อในงานโครงถักไม้ไผ่เพื่อการออกแบบโครงสร้างทางสถาปัตยกรรม

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.3.1 พันธุ์ไม้ที่ใช้ คือ ไม้ชางหม่น (*Dendrocalamus sericeus*) เนื่องจากเป็นพันธุ์ที่มีความแข็งแรง มีลำต้นตรง เป็นที่นิยมในการใช้เป็นโครงสร้างทางสถาปัตยกรรม
- 1.3.2 ไม้ไผ่อายุ 3-5 ปี เนื่องจากเป็นช่วงที่ไม้โตเต็มวัยหดตัว มีการแตกต้วน้อย และเนื้อไม้มีความแข็งแรงมากที่สุด
- 1.3.3 โครงถักไม้ไผ่นี้ใช้สำหรับช่วงพาดกว้างไม่เกิน 10.00 เมตร
- 1.3.4 ไม้ไผ่เล็กเป็นวัสดุในการออกแบบข้อต่อ เนื่องจากมีความแข็งแรง สามารถรับน้ำหนักโครงสร้างได้มาก
- 1.3.5 งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาเฉพาะประสิทธิภาพของข้อต่อโครงถักรูปแบบต่าง ๆ โดยใช้วัสดุอื่นร่วมในการออกแบบได้ ไม่ได้มีการศึกษาข้อต่อที่เป็นวัสดุจากไม้เพียงอย่างเดียว เพื่อเป็นการพัฒนาเทคนิคการก่อสร้างสถาปัตยกรรมไม้ไผ่ให้สามารถตอบสนองความต้องการการใช้งานได้

1.4 คำจำกัดความ

1.4.1 โครงถัก (Trussed frame) หมายถึง โครงสร้างซึ่งประกอบขึ้นโดยการยึดปลายทั้งสององค์อาคาร เส้นตรงต่อกันเพื่อส่งผ่านแรงระหว่างองค์อาคาร

1.4.2 ข้อต่อ (Connection) หมายถึง จุดที่ไม้ไผ่จำนวนมากกว่าหนึ่งลำมาบรรจบกันด้วยวิธีการต่างๆ

1.4.3 หน่วยแรงอัดสูงสุด (compressive strength) คือ กำลังรับแรงอัดสูงสุดที่วัสดุจะสามารถคงรูปอยู่ได้ สามารถคำนวณได้จากอัตราส่วนระหว่างแรงกระทำสูงสุดระหว่างการทดสอบกดต่อพื้นที่หน้าตัดรับแรง

1.4.4 หน่วยแรงดึง (tensile strength) คือ กำลังรับแรงดึงสูงสุดที่วัสดุจะสามารถคงรูปอยู่ได้ คำนวณได้จากอัตราส่วนระหว่างแรงกระทำสูงสุดระหว่างการทดสอบดึงต่อพื้นที่หน้าตัดรับแรง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1.5.1 เป็นแนวทางในการเลือกใช้รูปแบบโครงถักสำหรับโครงสร้างไม้ไผ่

1.5.2 ทราบรูปแบบข้อต่อไม้ไผ่ที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน

1.5.3 ทราบความสามารถในการรับแรงของข้อต่อแบบต่างๆ

1.5.4 สามารถเลือกใช้ข้อต่อที่เหมาะสมกับการรับแรงแบบต่างๆ ได้

1.5.5 เป็นแนวทางในการเลือกใช้ข้อต่อสำหรับโครงถักไม้ไผ่ในการออกแบบโครงสร้างทางสถาปัตยกรรม

1.5.6 เพื่อส่งเสริมให้มีการสร้างอาคารไม้ไผ่โครงสร้างพาดยาวเพื่อสนอง วัตถุประสงค์ที่ต้องการใช้งานได้

บทที่ 2

วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับไม้ไผ่

ไผ่ถือเป็นพืชเมืองร้อน แต่สามารถเจริญเติบโตได้ทุกทวีป เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวซึ่งจัดเป็นไม้พุ่มในวงศ์หญ้า Poaceae วงศ์ย่อยคือ Bambusoideae ไผ่เป็นไม้โตเร็ว สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ภายในระยะเวลาการปลูกเพียง 1-4 ปี และใช้ประโยชน์ได้ทุกส่วน โดยทั่วไปลำต้นจะมีความสูงอยู่ที่ประมาณ 5-15 เมตร ลักษณะลำต้นเป็นข้อปล้อง ผิวเกลี้ยงแข็งมีสีเขียวหรือเหลืองแถบเขียว ขนาดสีขึ้นอยู่กับพันธุ์และชนิด ออกดอกเป็นช่อตามปลายยอด เนื้อไม้ไผ่มีองค์ประกอบหลักได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน องค์ประกอบรอง ได้แก่ สารจำพวกเรซิน แทนนิน แวกซ์ และเกลืออะนินทรีย์ ซึ่งความหนาแน่นของเนื้อไม้จะเปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของเนื้อไม้ การหดตัวของเนื้อไม้จะเกิดขึ้นหลังจากการเก็บเกี่ยวเนื่องจากเกิดการสูญเสียน้ำและมีการหดตัวของเซลล์ ส่งผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลำไม้ให้หดเล็กลง โดยที่ความชื้นของไม้ไผ่ที่เจริญเติบโตเต็มที่มีค่าเฉลี่ย 50-99% และไม้ไผ่ที่ยังอ่อนอยู่มียังมีค่าเฉลี่ย 80-95% ขณะที่ไม้ไผ่ที่แห้งเต็มที่แล้วมีความชื้นอยู่ที่ 12-18% ซึ่งถือว่าลดลงอย่างมาก ไม้ไผ่เป็นพื้นที่มีเนื้อแข็งและยืดหยุ่นได้ดี ปัจจุบันมีการนำไผ่ไปใช้ประโยชน์อย่างหลากหลายและแพร่หลาย ไม่ว่าจะเป็นการประกอบอาหาร ผลิตภัณฑ์จักสาน ผลิตภัณฑ์กระดาษ เป็นแนวป้องกันลมและน้ำ รวมไปถึงใช้ในการก่อสร้าง (กิตติยะ พลเทพ, 2556), (พุทธิพงษ์ หมายสุข, 2556)

2.2 คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไผ่

คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลเป็นปัจจัยสำคัญที่จะนำมาพิจารณาตัดสินใจเลือกใช้วัสดุไผ่ในงานโครงสร้างสถาปัตยกรรมเนื่องจากมีเป็นตัวแสดงถึงความแข็งแรงและประสิทธิภาพในการรับแรงของวัสดุ ผลการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของไผ่ไทย 5 สายพันธุ์ พบว่า ส่วนปลายของไผ่มีค่าความถ่วงจำเพาะและประสิทธิภาพในการรับแรงสูงกว่าส่วนโคน คุณสมบัติเชิงกลของไผ่ที่ทำการทดสอบทั้ง 5 สายพันธุ์มีค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ในช่วง 0.50-0.80 โมดูลัสการแตกร้าวอยู่ในช่วง 105-200 เมกะพาสคัล โมดูลัสยืดหยุ่นอยู่ในช่วง 11,850-19,300 เมกะพาสคัล ความต้านทานแรงอัดในแนวขนานเสี้ยนอยู่ในช่วง 41-87 เมกะพาสคัล ความต้านทานแรงอัดใน

แนวตั้งฉากเสี้ยนอยู่ในช่วง 1.50-11.26 เมกะพาสคัล และมีค่าต้านทานแรงเฉือนอยู่ในช่วง 5.25-14.75 เมกะพาสคัล จากการศึกษาพบว่าไผ่ชางมีคุณสมบัติโดยรวมดีที่สุด เหมาะที่จะนำไปใช้ในงานโครงสร้างขนาดใหญ่ มีประสิทธิภาพในการรับแรงดึง แรงอัด และแรงดัดสูง (สุทธิชา บรรจงรัตน์ ,2556) ดังแสดงในตารางที่ 2.1 – ตารางที่ 2.2 ซึ่งคุณสมบัติเชิงกลนี้สอดคล้องกับผลการทดสอบของกรมป่าไม้ที่เคยทดสอบและตีพิมพ์ลงในเอกสาร Final Technical Report, Project : PD 56/99 Rev.1(l) : Promotion of the Utilization of Bamboo from Sustainable Source in Thailand

ในการศึกษาพฤติกรรมการรับแรงดัดของไผ่ โดยศึกษาความแข็งแรงดัดโค้งและอิทธิพลของข้อและปล้องลำไผ่ไผ่ป่าเปรียบเทียบกับไผ่ชางนวล อายุ 3-4 ปี โดยพบว่ากำลังดัดของไผ่จะค่อยๆลดลงเมื่อความชื้นสัมพัทธ์มีค่าเพิ่มขึ้น ค่าความแข็งแรงในการดัดของลำไผ่ทั้งสองชนิดที่บริเวณปล้องอยู่ในระดับไม้เนื้ออ่อนทั่วไป คือ มีค่าต่ำกว่า 600 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร แต่ค่าความแข็งแรงในการดัดที่บริเวณข้ออยู่ในระดับไม้เนื้อแข็งปานกลาง คือ อยู่ในระหว่าง 600-1000 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร แสดงให้เห็นว่าข้อของไผ่มีอิทธิพลมากในการเพิ่มความแข็งแรงของแรงดัดลำไผ่ แต่ไม่มีอิทธิพลในการทำให้เกิดความแตกต่างทางสถิติของสัมประสิทธิ์ ไผ่ป่าและไผ่ชางนวลมีคุณสมบัติในการยืดหยุ่นสูงกว่าสองถึงสามเท่าเมื่อเทียบกับไม้ทั่วไปที่มีความแข็งแรงดัดในระดับเดียวกัน (มนตรี และ ศักดิ์พิชิต, 2528)

การศึกษาพฤติกรรมการรับแรงอัดของไผ่ โดยการศึกษาไผ่ 2 ชนิด ได้แก่ *Bamusa pervariabilis* หรือ Kao Jue กับ *Phyllostachys pubescens* หรือ Mao Jue ที่มีอายุ 3 ปี โดยการทดสอบกำลังรับแรงอัดนั้นใช้ส่วนไม้ไผ่ที่มีความยาว 750 มิลลิเมตร มีความสูงจากโคนต้นระดับต่างๆ กันมาทดสอบ พบว่าในการทดสอบกำลังรับแรงอัดมีลักษณะการวิบัติอยู่ 2 ลักษณะ คือ Splitting ซึ่งมักเกิดในชั้นส่วนที่มีรอยร้าวตามแนวยาวของเส้นใยและชั้นส่วนที่มีความชื้นสัมพัทธ์น้อย และการวิบัติแบบ End Bearing ซึ่งมักพบในชั้นส่วนที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูง (Chang and Yu, 2002)

ตารางที่ 2.1

คุณสมบัติทางกายภาพของไม้

สายพันธุ์ & ตำแหน่ง	ผลการทดสอบ		
	ความหนาแน่นสภาวะสด (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)	ความหนาแน่นสภาวะแห้ง (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)	ความชื้น (%)
ไม้ตง			
โคน	0.701	0.586	25.971
กลาง	0.696	0.628	11.032
ปลาย	0.722	0.669	8.018
ไม้ซาง			
โคน	0.625	0.572	9.222
กลาง	0.754	0.686	9.826
ปลาย	0.793	0.731	8.595
ไม้สีสุก			
โคน	0.741	0.630	17.498
กลาง	0.739	0.681	9.711
ปลาย	0.686	0.639	10.458
ไม้เลี้ยว			
โคน	0.786	0.672	17.498
กลาง	0.752	0.685	9.711
ปลาย	0.801	0.726	10.458
ไม้รวก			
โคน	0.682	0.561	11.832
กลาง	0.554	0.487	11.735
ปลาย	0.523	0.472	11.081

หมายเหตุ. จาก การพัฒนาคุณสมบัติทางกลของพันธุ์ไม้ไทยในงานโครงสร้างเรียบง่าย (น. 20), โดย สุทธิชา บรรจงรัตน์, 2556.

ตารางที่ 2.2

คุณสมบัติเชิงกลของไม้

สายพันธุ์ & ตำแหน่ง	ผลการทดสอบ						
	ความถ่วงจำเพาะ	โมดูลัสการแตกร้าว (กก./ตร.ซม.)	โมดูลัสความยืดหยุ่น (กก./ตร.ซม.)	ความต้านทานแรงอัดขนานเสี้ยน (กก./ตร.ซม.)	ความต้านทานแรงอัดตั้งฉากเสี้ยน (กก./ตร.ซม.)	ความต้านทานแรงเฉือน (กก./ตร.ซม.)	ความต้านทานแรงดึง (กก./ตร.ซม.)
ไม้ตง							
โคน	0.701	1,301.99	118,958.05	404.12	74.29	97.96	2,493.99
กลาง	0.696	1,658.87	146,595.99	563.36	83.61	120.65	1,473.66
ปลาย	0.722	1,746.08	147,412.53	730.59	112.07	136.47	-
ไม้ซาง							
โคน	0.620	1,630.07	139,507.75	616.29	67.26	140.03	1,598.66
กลาง	0.754	1,984.63	174,781.46	741.40	43.22	130.25	1,828.40
ปลาย	0.793	1,894.30	162,858.35	866.39	33.03	146.34	-
ไม้สีสุก							
โคน	0.741	1,741.45	184,641.06	516.44	50.74	130.30	1,895.53
กลาง	0.739	1,950.36	182,870.33	692.25	48.91	140.91	-
ปลาย	0.686	1,593.36	142,164.35	627.51	40.15	111.79	-
ไม้เลี้ยง							
โคน	0.786	1,842.77	184,473.77	418.60	64.66	114.55	1,038.02
กลาง	0.752	1,722.46	172,936.77	747.08	59.41	125.08	-
ปลาย	0.801	1,758.21	192,732.42	725.31	37.66	99.17	-
ไม้รวก							
โคน	0.682	1,098.88	126,205.93	481.64	24.07	113.31	-
กลาง	0.554	1,126.78	120,916.28	410.79	18.38	88.35	-
ปลาย	0.523	1,062.07	118,329.92	416.06	15.99	53.14	-

หมายเหตุ. จาก การพัฒนาคุณสมบัติทางกลของพันธุ์ไม้ไทยในงานโครงสร้างเรียบง่าย (น. 20), โดย สุทธิชา บรรจงรัตน์, 2556.

จากการศึกษางานวิจัยเรื่องกำลังรับแรงดึงของไม้ไผ่ที่รักษาคุณภาพ เพื่อใช้เป็นโครงสร้างเสริมกำลัง โดยการทดสอบกำลังรับแรงดึงของไม้ไผ่ที่รักษาคุณภาพเปรียบเทียบกับไม้ไผ่ที่ไม่ได้รักษาคุณภาพ เพื่อนำไปใช้เป็นโครงสร้างรับแรงและศึกษาคุณสมบัติค่าการต้านทานการเปลี่ยนรูปร่าง (Modulus of elasticity) และค่าความเหนียว (Modulus of resilience) มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับไม้ไผ่ที่ไม่ได้รักษาคุณภาพเพื่อดูว่าไม้ไผ่ที่รักษาคุณภาพมีความคงทนเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเพียงใด ซึ่งการรักษาคุณภาพของไม้ไผ่มี 2 วิธี คือ การรักษาคุณภาพไม้ไผ่โดยการเคลือบด้วยกำมะถัน และการรักษาคุณภาพไม้ไผ่โดยการต้มในน้ำมันปาล์มที่ใช้ระยะเวลา 30 นาที และ 60 นาที ตัวอย่างที่นำมาทดสอบจะมีหน้าตัดเป็นวงกลมเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 0.9 เซนติเมตร ยาว 1 เมตร รูปแบบละ 3 ตัวอย่าง แล้วนำไปทดสอบกำลังรับแรงดึง จากการศึกษาพบว่าไม้ไผ่ที่รักษาคุณภาพโดยการเคลือบด้วยกำมะถันมีกำลังรับแรงดึงลดลง 30 เปอร์เซ็นต์ ค่า Modulus of Elasticity เพิ่มขึ้น 9 เปอร์เซ็นต์ และค่า Modulus of Resilience ลดลง 45 เปอร์เซ็นต์ ในส่วนของไม้ไผ่ที่รักษาคุณภาพโดยการต้มในน้ำมันปาล์ม 30 นาที มีกำลังรับแรงดึงลดลง 33 เปอร์เซ็นต์ ค่า Modulus of Elasticity เพิ่มขึ้นร้อยละ 24 และค่า Modulus of Resilience ลดลงร้อยละ 63 และในไม้ไผ่ที่รักษาคุณภาพโดยการต้มในน้ำมันปาล์ม 60 นาที มีกำลังรับแรงดึงลดลงร้อยละ 38 ค่า Modulus of Elasticity เพิ่มขึ้นร้อยละ 10 และค่า Modulus of Resilience ลดลงร้อยละ 64 (จิรวัดน์ เลิศทอง, 2554)

การศึกษาความยาววิกฤติสำหรับไม้ไผ่จะวิบัติโดยหน่วยแรงดัดเพียงอย่างเดียว โดยการทดสอบกำลังต้านทานแรงดัดแรงกระทำ 4 จุด (four-point load) พบว่าขึ้นตัวอย่างที่เป็นคานสั้นวิบัติโดยหน่วยแรงเฉือนและคานช่วงยาววิบัติด้วยหน่วยแรงดัด สำหรับค่าความยาววิกฤติสามารถคำนวณได้โดยกำหนดให้แรงสูงสุดที่วิบัติด้วยหน่วยแรงดัด ($F_{max,b}$) เท่ากับแรงสูงสุดที่วิบัติด้วยหน่วยแรงเฉือน ($F_{max,s}$) (Vaessen and Janssen, 1997)

$$I_c = \frac{R\epsilon_{max}E_R}{\tau_{max}} \left[\frac{14x^3 - 60x^2 + 100X - 80}{20(X - 2)} \right]$$

เมื่อ I_c = ความยาววิกฤติ, มม.

R = รัศมีภายนอก, มม.

ϵ_{max} = ความเครียดตามยาวสูงสุด

E_R = โมดูลัสของการยืดหยุ่นผิวนอก, นิวตัน/ตร.มม.

T_{max} = ความเค้นเฉือนสูงสุด, นิวตัน/ตร.มม.

X = อัตราส่วนความหนา (t) ต่อรัศมีภายนอก (R)

จากการทดสอบพบว่าความยาววิกฤติมีค่าเท่ากับ 26 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก และสามารถประมาณกำลังรับแรงดัด แรงเฉือนและค่าโมดูลัสยืดหยุ่นในสภาพแห้งในอากาศได้เท่ากับ 0.14, 0.021 และ 24 เท่าของความหนาแน่น (กก./ลบ.มม.) ตามลำดับ (Janssen, 2000)

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไม้ซางหม่น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3, 4 และ 5 นิ้ว อายุ 2-4 ปี เพื่อหาค่าความเค้นที่ยอมให้ ได้แก่ ความหนาแน่น โมดูลัสยืดหยุ่น กำลังรับแรงอัด กำลังรับแรงดึง และกำลังรับแรงเฉือนขนานเส้นใยแบบไม่มีข้อ โดยความเค้นอัด ความเค้นดึง และแรงเฉือนที่ยอมให้ มีค่า 54 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร 288 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร และ 12 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตรตามลำดับ ค่ากำลังอัดเฉลี่ยสูงสุดของไม้ซางหม่นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3, 4 และ 5 นิ้ว มีค่าเท่ากับ 544 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร 652 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร และ 687 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ ค่ากำลังรับแรงเฉือนสูงสุดเฉลี่ยของไม้ซางหม่นเส้นผ่านศูนย์กลาง 3, 4 และ 5 นิ้ว มีค่าเท่ากับ 92 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร 120 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร และ 137 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ และค่ากำลังดึงสูงสุดเฉลี่ยของไม้ซางหม่นมีค่าเท่ากับ 1,665 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร (นพพล เลิศวัฒนาสกุล และคณะ, 2555)

การศึกษาคงสมบัติทางกลของไม้ไผ่อายุ 1, 3 และ 5 ปี โดยทำการทดสอบคุณสมบัติตามมาตรฐาน ASTM D1037-94 พบว่าความถ่วงจำเพาะของไม้ไผ่มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อไม้ไผ่มีอายุมากขึ้น และจะมีค่าเพิ่มขึ้นจากผิวด้านในไปผิวด้านนอกและจากด้านล่างขึ้นบนตามความยาวของไม้ สำหรับโมดูลัสการแตกหักและโมดูลัสการยืดหยุ่นของไม้ในการรับแรงดัดพบว่ามีการเพิ่มขึ้นตามอายุของไม้และตำแหน่งตามความยาวจากล่างขึ้นบน ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3

ความถ่วงจำเพาะและคุณสมบัติในการรับแรงดัดตามตำแหน่งและอายุของไม้

อายุ	ตำแหน่ง	ความถ่วงจำเพาะ	โมดูลัสของการแตกร้า (กก./ตร.ซม.)	โมดูลัสของการยืดหยุ่น (กก./ตร.ซม.)
1	ล่าง	0.49	1,103	77,700
	กลาง	0.53	1,193	86,800
	บน	0.54	1,172	89,290
2	ล่าง	0.70	1,510	100,390
	กลาง	0.71	1,517	101,220
	บน	0.72	1,606	103,970
3	ล่าง	0.75	1,862	131,620
	กลาง	0.78	1,848	134,100
	บน	0.76	1,834	133,070

หมายเหตุ. จาก Li ,2556.

จากการศึกษาพฤติกรรมการรับแรงดัดและลักษณะการวิบัติของลำไม้ตงอายุประมาณ 2-3 ปี เพื่อเปรียบเทียบกับคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางกลของไม้ที่หาได้จากค่ามาตรฐาน ISO 22157-1 โดยทำการทดสอบการดัดของไม้ที่ช่วงความยาว 2.50 3.00 และ 3.60 เมตร ทดสอบแรงดึงขนานเส้นใย แรงอัดขนานเส้นใย และแรงเฉือนขนานเส้นใยตามมาตรฐาน ISO 22157-1 ผลการศึกษาปรากฏว่าลำไม้ที่มีช่วงความยาวน้อยกว่า 40 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก (40D) จะวิบัติโดยหน่วยแรงเฉือน ส่วนลำไม้ที่มีช่วงยาวมากกว่า 40 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก (40D) จะวิบัติโดยหน่วยแรงดัด

เมื่อความยาวคานน้อยกว่า 30 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก หน่วยแรงดัดสูงสุดมีค่าอยู่ระหว่าง 989-1,107 กก./ตร.ซม. มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ $1,086 \pm 53$ กก./ตร.ซม. โมดูลัสความยืดหยุ่นมีค่าอยู่ระหว่าง 171,491-205,781 กก./ตร.ซม. โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ $181,757 \pm 14,112$ กก./ตร.ซม. ความยาวคานมากกว่า 30 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก หน่วยแรงดัดสูงสุดมีค่าอยู่ระหว่าง 773-998 กก./ตร.ซม. โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 851 ± 867 กก./ตร.ซม. โมดูลัสความยืดหยุ่นมีค่าอยู่ระหว่าง 160,291-195,185 กก./ตร.ซม. โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ $17,613 \pm 12,698$ กก./ตร.ซม. ลักษณะการวิบัติด้วยแรงเฉือนส่วนใหญ่มีขนาดความยาวคานน้อยกว่า 30D และการวิบัติเนื่องจาก

แรงตัดส่วนใหญ่จะเกิดกับคานไม้ไผ่ที่มีความยาวคานมากกว่า 30D นอกจากความยาวคานแล้ว ลักษณะทางกายภาพของไผ่ยังมีผลต่อการเกิดการวิบัติ เช่น การวางตัวของเสี้ยนไม้และรอยแตกตามยาวที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติเมื่อไผ่มีความชื้นน้อยลง รวมไปถึงความไม่สมบูรณ์ของเนื้อไม้หรือความไม่สมบูรณ์ของรูปทรงเช่นเดียวกับไม้ทั่วไป นอกจากนั้นแล้วยังพบว่า การวิบัติของไผ่จะเกิดขึ้นแบบทันทีทันใด (เอกลักษณ์, 2554)

จากการศึกษางานวิจัยสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของไม้ไผ่ตง โดยการศึกษาใช้ไม้ไผ่ตงเขียวจำนวน 4 ต้น ซึ่งตัดสุ่มมาจากจังหวัดปราจีนบุรี แต่ละต้นมีอายุประมาณ 3 ปี โดยนำมาตัดและแปรรูปเป็นชิ้นทดสอบที่มีขนาดซึ่งดัดแปลงให้เหมาะสมกับไม้ไผ่จากหลักการของมาตรฐาน ISO และตัดตามตำแหน่งความสูงต่างๆ 2 เมตรของลำต้นเริ่มจากระดับดินจำนวน 7 ตำแหน่ง ในแต่ละตำแหน่งได้เลือกใช้เฉพาะส่วนเนื้อไม้ไม่รวมเปลือกและผิวใน และนำชิ้นทดสอบมาดำเนินการทดสอบตามวิธีการของมาตรฐาน ISO โดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือกลุ่มที่ทดสอบในสภาพสดและกลุ่มที่ทดสอบในสภาพแห้ง แล้วนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) และเปรียบเทียบโดยใช้วิธี Duncan's New Multiple Range Test จากผลการศึกษาพบว่า ไม้ไผ่ตงเขียวมีค่าเฉลี่ยความชื้นที่สภาพสดตามธรรมชาติเท่ากับ 46 เปอร์เซ็นต์ และความถ่วงจำเพาะที่สภาพแห้งเท่ากับ 0.77 ค่าเฉลี่ยการหดตัวที่สภาพแห้งทางด้านสัมผัส, รัศมีและความยาว เท่ากับ 2.53, 1.35 และ 0.21 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ยโมดูลัสการแตกหักเท่ากับ 135 MPa, โมดูลัสการยืดหยุ่นเท่ากับ 13, 115 MPa และค่าความเหนียว 676 kPa ค่าเฉลี่ยความเค้นดึง, ความเค้นอัด และความเค้นเฉือนขนานเสี้ยนเท่ากับ 314, 72 และ 14 MPa ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าเนื้อไม้ไผ่ตงเขียวส่วนปลายมีค่าความเค้นอัดและความเค้นเฉือนขนานเสี้ยนส่วนปลายกับส่วนโคนมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ สมบัติเชิงกลในสภาพแห้งมีค่าสูงกว่าสภาพสดเล็กน้อย (ฐิติกุล ภาคศิริ, 2540)

ปริมาณความชื้นในไผ่นั้นยังมีความสำคัญต่อคุณสมบัติทางกลของลำไผ่ โดยค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นในไผ่ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของลำและอายุของไผ่ โดยปริมาณความชื้นของไผ่ที่โตเต็มวัยอยู่ที่ระหว่าง 50-99 เปอร์เซ็นต์ ไผ่ลำแห้งมีความชื้น 12-18 เปอร์เซ็นต์ และไผ่ลำอ่อนมีความชื้น 80-150 เปอร์เซ็นต์ ความหนาแน่นของไผ่อ่อนและไผ่โตเต็มวัยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 500 และ 800 กก./ลบ.ม. ตามลำดับที่ระดับความชื้น 12 เปอร์เซ็นต์ อีกทั้งการหดตัวไม่สม่ำเสมอส่งผลต่อความหนาแน่นของผนังและขนาดของลำไผ่ เมื่อปริมาณความชื้นในไผ่ลดลง 20 เปอร์เซ็นต์ ความหนาแน่นของลำจะลดลง 4-14 เปอร์เซ็นต์ และขนาดของลำจะลดลง 3-12 เปอร์เซ็นต์ (สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2544)

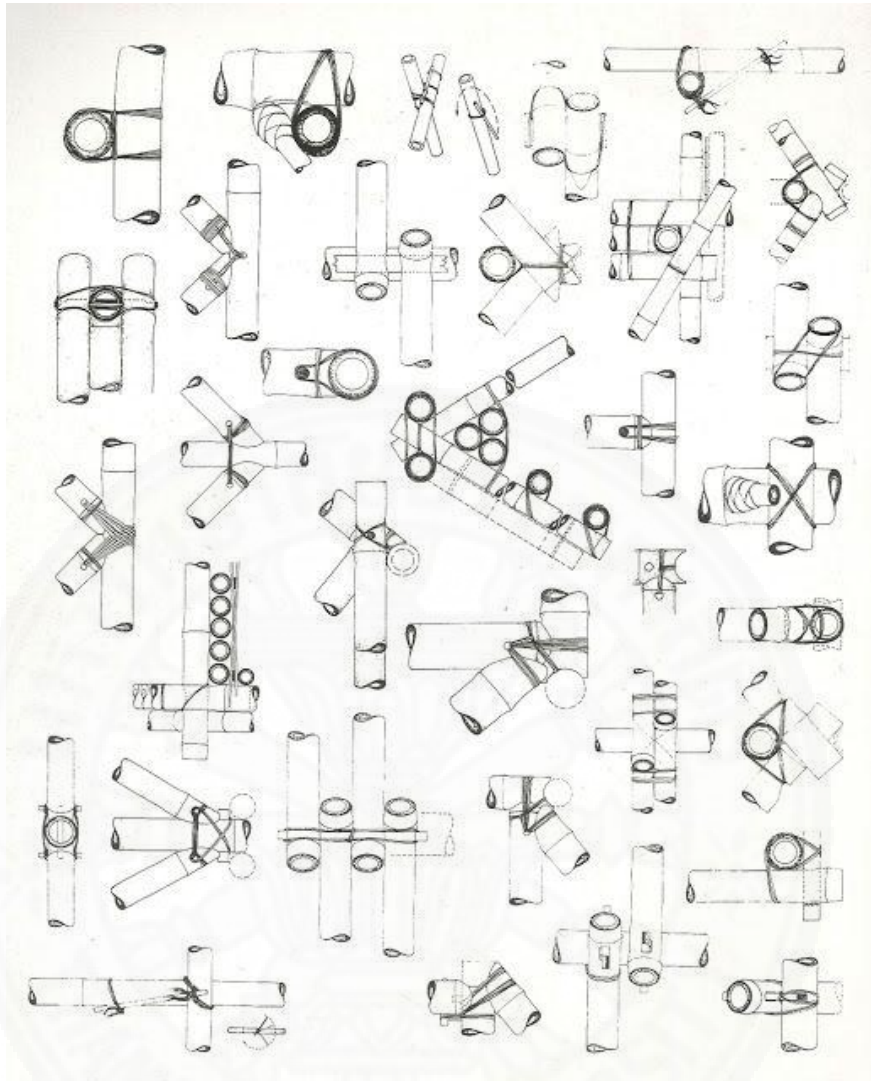
จากการศึกษางานวิจัยโครงสร้างไม้ไผ่ช่วงพาดกว้าง โดยการศึกษาแบ่งเป็นสองเรื่อง เรื่องแรกคือคุณสมบัติของไม้ไผ่และเทคโนโลยีก่อสร้างที่เกี่ยวข้องกับไม้ไผ่ ส่วนเรื่องที่สองคือ ศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้างแบบโครงถัก โดยทำการวิเคราะห์ข้อมูล หารูปแบบและกรรมวิธีการก่อสร้างที่มีความเป็นไปได้ จากนั้นได้ดำเนินการก่อสร้างอาคารตัวอย่าง ในการศึกษาพบว่ารูปแบบของโครงถักที่เหมาะสมกับการใช้ไม้ไผ่ ซึ่งเป็นรูปแบบที่มีประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนักลงบนจุดรองรับ และประหยัดวัสดุประกอบโครงมากที่สุดเมื่อรองรับน้ำหนักบรรทุกทุกเท่าๆ กัน และพาดช่วงกว้างเท่ากันๆ จัดเรียงได้ดังนี้

- 1) โครงรูปคันทวน (Bowstring truss)
- 2) โครงรูปจั่วปลายยอด (Pitched truss)
- 3) โครงรูปแบนตั้ง (Flat truss)

ในการวิจัยนั้นได้พบปัญหาในขั้นตอนการก่อสร้าง เนื่องจากแบบอาคารที่ออกแบบไว้ นั้นไม่สามารถนำมาก่อสร้างได้จริง เพราะไม้ไผ่ที่หาได้นั้นไม่ได้ตามที่ต้องการ จึงต้องมีการปรับเปลี่ยนแบบก่อสร้างตามวัสดุที่ได้มา อาคารทดลองที่ทำการก่อสร้างเสร็จแล้วนั้นแสดงให้เห็นว่าไม้ไผ่มีความสามารถในการนำมาก่อสร้างอาคารช่วงพาดกว้างได้เป็นอย่างดี แม้ว่าจะใช้เพียงวัสดุอุปกรณ์ที่หาได้ง่ายทั่วไป รวมทั้งใช้เพียงแรงงานที่มีทักษะในงานก่อสร้างอาคารน้อยก็ตาม อาคารสามารถสร้างเสร็จในระยะเวลาอันสั้น อาคารมีความมั่นคง แข็งแรง และใช้งบประมาณในการก่อสร้างไม่มาก (ณฤทธิ์ ไชยศิริ, 2547)

2.3 ข้อต่อไม้ไผ่ (Bamboo Connection)

ในงานโครงสร้างไม้ไผ่การเชื่อมต่อข้อต่อต่างๆ นับว่าเป็นส่วนที่ยากที่สุด เนื่องจากลักษณะทางกายภาพของไม้ไผ่เป็นท่อนกลวง เนื้อไม้ภายในไม่สม่ำเสมอและผิวของไม้สั่นทำให้ยากต่อการยึดจับ จึงจำเป็นต้องเลือกการเชื่อมต่อให้มีความเหมาะสม หนังสือ IL31 Bambus-Bamboo ที่จัดทำโดย Institute for Lightweight Structure ได้รวบรวมข้อต่อไม้ที่ใช้เทคนิคการก่อสร้างของช่างพื้นถิ่นรูปแบบต่างๆ ไว้ดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 ข้อต่อไม้ไผ่รูปแบบต่างๆ. จาก *IL31 Bambus-Bamboo*, โดย Institute for Lightweight Structure, 1985, Germany.

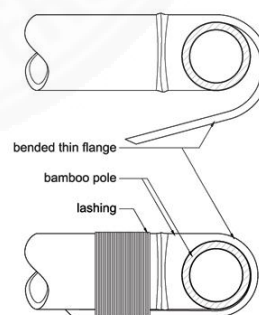
นอกจากนั้น F.Albermani, G.Y.Goh (2549) ได้นำมาประยุกต์ใช้ในการศึกษาเรื่อง Double layer grids โดยใช้ PVC เป็นจุดเชื่อมต่อ ผลที่ได้คือระบบ Double layer grids นี้สามารถใช้ในโครงสร้างไม้ไผ่น้ำหนักเบาที่มีระยะพาดปานกลางได้เป็นอย่างดีและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และ Andry Widyowijatnoko (2555) ได้ขยายผลการศึกษออกไปในเรื่องการเปรียบเทียบข้อต่อไม้ไผ่ระหว่างแบบดั้งเดิมและแบบนวัตกรรมสมัยใหม่ โดยทดสอบความเครียดในข้อต่อ พบว่าการเชื่อมต่อด้วยสลักเกลียวเกิดการวิบัติที่ตัวชิ้นส่วนไผ่เนื่องมาจากความแตกต่างของวัสดุแต่การผูกเข็ญวิบัติที่ตัวข้อต่อพร้อมๆ กับชิ้นส่วนไผ่ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบของ Julius Jeseoph Antonius Janseen (2524) ที่ได้ทดสอบความเป็นไปได้ในการใช้ไม้ไผ่ในโครงสร้างอาคาร โดยได้ทดสอบข้อต่อที่

แตกต่างกัน 4 แบบในระบบโครงถักช่วงพาด 8 เมตร ผลการทดสอบพบว่าโครงถักนี้วิบัติที่ตัววัสดุไม้ ไม่ใช่ที่ตัววัสดุเชื่อมข้อต่อ

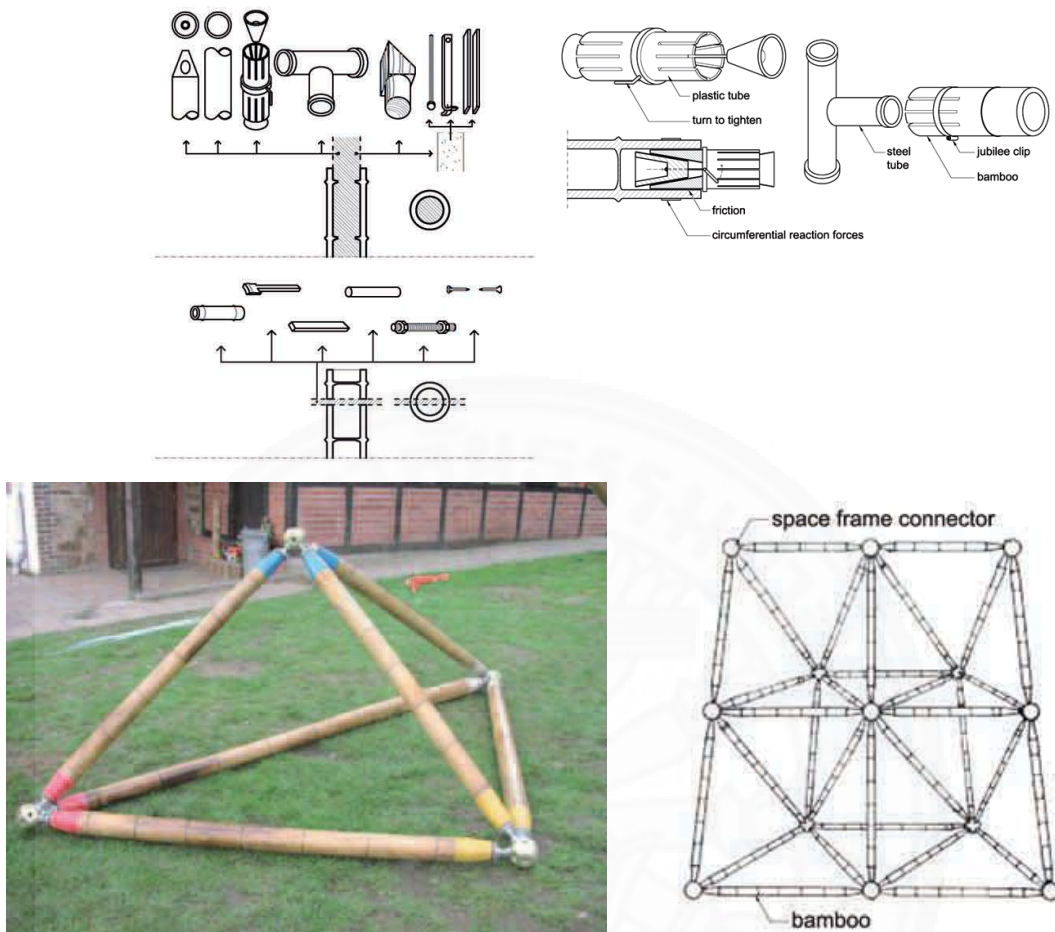


ภาพที่ 2.2 Double layer grids. โดย F.Albermani, G.Y.Goh.

จากการศึกษางานวิจัยการเชื่อมต่อไม้ไผ่แบบดั้งเดิมและแบบนวัตกรรมสมัยใหม่ โดยทดลองการเชื่อมต่อไม้ไผ่เพื่อรับแรงดึง โดยวิธีผูกเชี่ยน และน็อต เมื่อนำไปทดสอบความเครียดในข้อต่อ พบว่าการเชื่อมต่อด้วยน็อตเกิดการวิบัติก่อนการผูกเชี่ยน โดยรูปแบบของการเชื่อมต่อที่ได้ทดลองในงานวิจัยนี้มีดังต่อไปนี้ (Andry Widyowijatnoko, 2555)



ภาพที่ 2.3 การเชื่อมต่อไม้ไผ่ด้วยวิธีดั้งเดิม. จาก *Traditional and Innovative Joints In Bamboo Construction*, โดย Andry Widyowijatnoko, 2012, Germany.



ภาพที่ 2.4 การเชื่อมต่อไม้ด้วยวิธีสมัยใหม่. จาก *Traditional and Innovative Joints In Bamboo Construction*, โดย Andry Widyowijatnoko, 2012, Germany.



ภาพที่ 2.5 การเชื่อมต่อไม้ด้วยวิธีสมัยใหม่. จาก *Traditional and Innovative Joints In Bamboo Construction*, โดย Andry Widyowijatnoko, 2012, Germany.

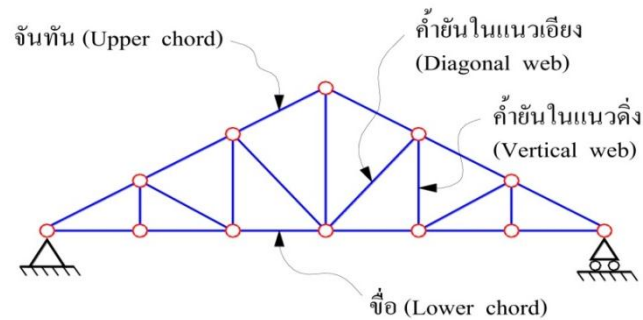
2.4 ความหมายและส่วนประกอบของโครงถัก

โครงถักเป็นโครงสร้างที่เกิดขึ้นจากการนำชิ้นส่วนหรือองค์อาคารมาประกอบเข้าด้วยกันเป็นรูปทรงเรขาคณิต โดยการยึดปลายทั้งสองของชิ้นส่วนต่างๆ ให้ยึดติดกันและสามารถถ่ายแรงให้กันได้ด้วยการเชื่อม การใช้หมุดย้ำหรือการใช้สลักเกลียว เพื่อให้ได้โครงสร้างที่มีน้ำหนักเบา แต่สามารถรับน้ำหนักได้มากและวางพาดช่วงยาวๆ ได้ เช่น โครงสร้างหลังคาโรงงาน โรงอาหาร หอประชุม สะพาน ฯลฯ โครงถักโดยทั่วไปทำจากเหล็กรูปพรรณหรือไม่ ซึ่งในการออกแบบโครงถักจะต้องทราบแรงที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วนแต่ละชิ้นที่นำมาประกอบเป็นโครงถัก

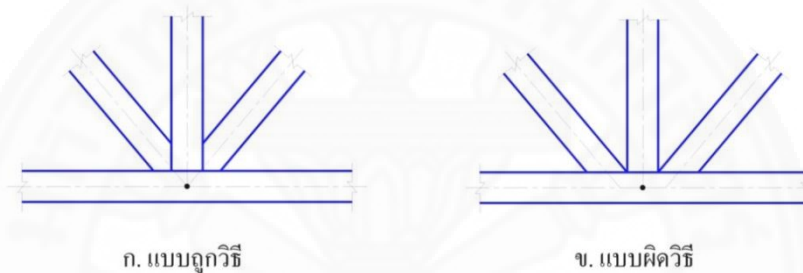
โดยรูปทรงพื้นฐานของโครงถัก คือ รูปสามเหลี่ยมที่ประกอบด้วยชิ้นส่วนอย่างน้อย 3 ชิ้น และยึดปลายของชิ้นส่วนด้วยหมุดย้ำ ซึ่งจะทำให้ได้รูปทรงสามเหลี่ยมที่ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้แม้ว่าจะมีแรงมากระทำต่อโครงถักนี้จัดได้ว่าเป็นโครงสร้างที่มีเสถียรภาพมาก โครงถักจะประกอบด้วยชิ้นส่วนหลายชิ้นมารวมกันเป็นโครงถักรูปแบบต่างๆ ซึ่งสามารถกำหนดชื่อเรียกส่วนประกอบต่างๆ ได้ 4 ชนิด คือ

- 1) จันทัน (Upper Chord)
- 2) ช่อ (Lower Chord)
- 3) ค้ำยันในแนวตั้ง (Vertical Web)
- 4) ค้ำยันในแนวเอียง (Diagonal Web)

การออกแบบโครงถักมีเกณฑ์ในการออกแบบหลักๆ คือ ชิ้นส่วนทุกชิ้นภายในโครงถักจะต้องมีความยาวเป็นเส้นตรง แนวเส้นทแยงของแต่ละชิ้นส่วนที่ต่อกันจะต้องพบกันที่จุดศูนย์กลางของข้อต่อของชิ้นส่วน น้ำหนักบรรทุกที่กระทำกับโครงถักจะเป็นน้ำหนักแบบน้ำหนักกระทำเป็นจุด (Point Load) ที่ตำแหน่งของข้อต่อเท่านั้น แต่ละชิ้นส่วนเป็น a two force member ดังนั้นแรงจึงเกิดที่ส่วนปลายของชิ้นส่วนเท่านั้น และทิศของแรงอยู่ในแนวชิ้นส่วนนั้น ถ้าแรงมีแนวโน้มยืดออกแสดงว่าเป็นแรงดึง (a tensile force) ถ้าแรงมีแนวโน้มสั้นลงแสดงว่าเป็นแรงกด (a compressive force) และชิ้นส่วนที่รับแรงกดควรมีความหนากว่าชิ้นส่วนที่รับแรงดึง เพื่อป้องกันการหักงอเมื่อรับแรงกด



ภาพที่ 2.6 ส่วนประกอบของโครงถัก. จาก *โครงถักหลังคา*, โดย ชาญชัย จารุจินดา, 2557.



ภาพที่ 2.7 แนวแรงของชิ้นส่วน. จาก *โครงถักหลังคา*, โดย ชาญชัย จารุจินดา, 2557.

ในเรื่องของการรับแรงและความประหยัด โครงถักที่สามารถรับแรงได้ดีที่สุดคือ โครงถักรูปแบบ FINK, HOWE, PRATT และ WARREN ตามลำดับ แต่ในเรื่องของความประหยัด พบว่า โครงถักที่ประหยัดที่สุดคือ PRATT, HOWE, FINK, WARREN ตามลำดับ (ระพีพงษ์ สุขใจ และคณะ, 2545) นอกจากนี้ ญฤทธิ์ ไชยศิริ (2547) ได้ศึกษาช่วงพาดยาวของโครงสร้างไม้ไผ่ โดยใช้ระบบ โครงถักเป็นโครงสร้างในอาคารสถาปัตยกรรม พบว่าในงานโครงสร้างไม้ไผ่การเชื่อมต่อไม้ไผ่นั้นเป็นสิ่งที่ ยากที่สุดสำหรับ เนื่องจากไม้ไผ่มีลักษณะเป็นท่อนกลมกลวง และเนื้อไม้ภายในไม่สม่ำเสมอ ผิวของ ไม้ไผ่มีลักษณะลื่นทำให้ยากต่อการยึดจับ ไม้ไผ่ไม่เหมาะที่จะรับแรงแบบ cross direction รวมไปถึง ไม้ไผ่เป็นวัสดุธรรมชาติทำให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่มาตรฐาน

2.5 มาตรฐานการทดสอบ

American Society for Testing and Materials หรือ ASTM เป็นสมาคมที่ใหญ่ที่สุดในโลกในด้านของการพัฒนามาตรฐานที่ใช้เรื่องของวัสดุ ผลิตภัณฑ์ การบริการ ระบบการใช้งาน ที่เชื่อถือได้สำหรับใช้ในการวิจัยและพัฒนา ทดสอบผลิตภัณฑ์ คุณภาพของระบบ และสำหรับการค้าทั่วโลก ซึ่งครอบคลุมวิชาการต่าง ๆ มากมาย มีความละเอียดลึกซึ้ง นอกจากนี้มาตรฐาน ASTM ยังได้รับการพิจารณา ทบทวน ปรับปรุง และแก้ไขเพิ่มเติมอยู่ตลอดเวลา ทำให้มีความทันสมัยอยู่เสมอ

ในงานวิจัยนี้เลือกใช้มาตรฐาน ASTM D198 Standard Methods of Static Test of Timbers in Structural Size ประกอบไปด้วยการทดสอบ

1. Compressive strength
2. Modulus of elasticity
3. Tensile strength
4. Shear modulus
5. Modulus of rupture (Bending strength)
6. Longitudinal shear strength (Horizontal shear)

2.6 มาตรฐานน้ำหนักที่กระทำกับโครงสร้างอาคาร

มาตรฐานวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (ว.ส.ท.) ได้ทำการแบ่งชนิดไม้และกำหนดหน่วยแรงที่ย่อมให้ของไม้ออกเป็น 5 ประเภท ได้แก่ ไม้เนื้ออ่อนมาก ไม้เนื้ออ่อน ไม้เนื้อปานกลาง ไม้เนื้อแข็ง และไม้เนื้อแข็งมาก โดยค่าหน่วยแรงที่ย่อมให้ของไม้ได้มาจากการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของไม้ตามมาตรฐานสากล ทหารด้วยค่าความปลอดภัยในตารางที่ 2.4 และ 2.5 จะได้ค่าหน่วยแรงที่ย่อมให้ของไม้ที่ภาวะรับน้ำหนักบรรทุกปกติและมีการใช้งานที่สภาวะแห้งตลอดเวลา ดังแสดงในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.4

ส่วนปลอดภัยของไม้ชั้น 1

ชนิดหน่วยแรงที่ยอมให้	ส่วนปลอดภัยสำหรับไม้ก่อสร้างชั้น 1		
	งานในร่ม	งานกลางแจ้ง	งานในที่เปียกชื้น
แรงดัดในคานและแรงดึงขนานเสี้ยน	7.6	9.36	10.53
แรงเฉือนตามเสี้ยน	10.53	10.53	10.53
แรงเฉือนตามแนวนอนในคาน	15.21	115.21	15.21
แรงอัดขนานเสี้ยน	6.72	7.60	9.08
แรงอัดตั้งฉากเสี้ยน	2.93	4.09	4.39

หมายเหตุ. จาก มาตรฐานวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย.

ตารางที่ 2.5

ส่วนปลอดภัยของไม้ชั้น 2

ชนิดหน่วยแรงที่ยอมให้	ส่วนปลอดภัยสำหรับไม้ก่อสร้างชั้น 2		
	งานในร่ม	งานกลางแจ้ง	งานในที่เปียกชื้น
แรงดัดในคานและแรงดึงขนานเสี้ยน	6.5	8	9
แรงเฉือนตามเสี้ยน	9	9	9
แรงเฉือนตามแนวนอนในคาน	13	13	13
แรงอัดขนานเสี้ยน	5.75	6.5	7.75
แรงอัดตั้งฉากเสี้ยน	2.5	3.5	3.75

หมายเหตุ. จาก มาตรฐานวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย.

ตารางที่ 2.6

หน่วยแรงที่ยอมให้ของไม้

ประเภทของไม้	หน่วยแรงคัตหรือแดงตั้ง ขนานเสี้ยน (กก./ตร.ชม.)	โมดูลัสแห่ง ความยืดหยุ่น โดยประมาณ (กก./ตร.ชม.)	หน่วยแรงอัด		หน่วยแรงเฉือน ขนานเสี้ยน (กก./ตร.ชม.)
			ขนานเสี้ยน (กก./ตร.ชม.)	ตั้งฉากเสี้ยน (กก./ตร.ชม.)	
ไม้เนื้ออ่อนมาก	60	78,900	45	12	6
ไม้เนื้ออ่อน	80	94,100	60	16	8
ไม้เนื้อปานกลาง	100	112,300	75	22	10
ไม้เนื้อแข็ง	120	136,300	90	30	12
ไม้เนื้อแข็งมาก	150	189,000	110	40	15

หมายเหตุ. จาก มาตรฐานวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย.

นอกจากนี้ยังมีแรงกระแทก (impact load) มากกระทำยังโครงสร้าง ทำให้ต้องเพิ่มน้ำหนักบรรทุกจรให้เพียงพอที่จะรับแรงกระแทกสำหรับโครงสร้างที่รับน้ำหนักบรรทุกจร ซึ่งมาตรฐาน ว.ส.ท. ได้กำหนดค่าที่เพิ่มสำหรับแรงกระแทกไว้ดังแสดงในตารางที่ 2.7 – ตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.7

น้ำหนักบรรทุกคงที่

ชนิดของวัสดุ	น้ำหนักบรรทุกคงที่
1. วัสดุทั่วไป	Kg/m ²
คอนกรีตเสริมเหล็ก	2,400
คอนกรีตล้วน	2,320
ไม้สัก	630
ไม้เนื้ออ่อน	500-1,000
ไม้เนื้อแข็ง	700-1,200
เหล็ก	7,850

ตารางที่ 2.7 (ต่อ)

น้ำหนักบรรทุกคงที่

ชนิดของวัสดุ	น้ำหนักบรรทุกคงที่
2. วัสดุผนังหลังคา	Kg/m ²
กระเบื้องลอนคู่	14
กระเบื้องลูกฟูกลอนเล็ก	12
กระเบื้องลูกฟูกลอนใหญ่	17
กระเบื้องราง	12
กระเบื้องซีแพ็คโมเนีย	50
สังกะสี	5
3. โครงหลังคา	10-30
4. แป้ไม้	5
5. พื้นไม้ 1" รวมตง	30-50
6. ฝ้า ฝา กำแพง	Kg/m ²
คร่าวไม้ 1½" @ 0.40	15
คร่าวไม้ 1½" @ 0.60	10
กระเบื้องแผ่นเรียบหนา 4 มม.	7
กระเบื้องแผ่นเรียบหนา 8 มม.	14
แผ่นแอสเบสโตล็กส์	4
ไม้อัดหนา 4 มม.	4
ฝ้าไม้ ½" รวมคร่าว	20
อิฐมอญหนา 10 ซม.	180
อิฐบล็อกหนา 10 ซม.	100
คอนกรีตบล็อกหนา 10 ซม.	100-150
คอนกรีตบล็อกหนา 15 ซม.	170-180
คอนกรีตบล็อกหนา 20 ซม.	220-240

หมายเหตุ. จาก กฎกระทรวง ฉบับที่ 6 (พ.ศ.2527) ข้อ 15 ออกความตามพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ.2522.

ตารางที่ 2.8

น้ำหนักบรรทุกจร

ประเภทและส่วนต่างๆ ของอาคาร	หน่วยน้ำหนักบรรทุกจร (kg/m ²)
1. หลังคา	30
2. กันสาดหรือหลังคาค อนกรีต	100
3. ที่พักอาศัย โรงเรียนอนุบาล ห้องน้ำ ห้องส้วม	150
4. ห้องแถว ตึกแถวที่พักอาศัย อาคารชุด หอพัก โรงแรม และที่พักคนไข้พิเศษของโรงพยาบาล	200
5. สำนักงาน ธนาคาร	250
6. (ก) อาคารพาณิชย์ ส่วนของห้องแถว ตึกแถวที่ใช้เพื่ออาคารพาณิชย์ มหาวิทยาลัย วิทยาลัย โรงเรียน และโรงพยาบาล	300
(ข) ห้องโถง บันได ช่องทางเดินของอาคารพาณิชย์ โรงแรม สำนักงาน และธนาคาร	300
7. (ก) ตลาด อาคารสรรพสินค้า หอประชุม โรงมหรสพ ภัตตาคาร ห้องประชุม ห้องสมุด หรือหอสมุด ที่จอดรถหรือเก็บรถยนต์นั่งหรือจอร์รถักจักรยานยนต์	400
(ข) ห้องโถง บันได ช่องทางเดินของอาคารพาณิชย์ มหาวิทยาลัย และโรงเรียน	400
8. (ก) คลังสินค้า โรงกีฬา พิพิธภัณฑ์ อัฒจันทร์ โรงงานอุตสาหกรรม โรงพิมพ์ ห้องถ่ายเอกสาร และพัสดุ	500
(ข) ห้องโถง บันได ช่องทางเดินของตลาด อาคารสรรพสินค้า ห้องประชุม หอประชุม โรงมหรสพ ภัตตาคาร ห้องสมุด และหอสมุด	500
9. ห้องเก็บหนังสือของห้องสมุดหรือหอสมุด	600
10. ที่จอดหรือเก็บรถยนต์บรรทุกเปล่า	800

หมายเหตุ. จาก กฎกระทรวง ฉบับที่ 6 (พ.ศ.2527) ข้อ 15 ออกความตามพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ.2522.

2.7 ศึกษาอาคารสถาปัตยกรรมไม้ไผ่ที่เป็นโครงสร้างช่วงพาดยาว

โรงเรียนปัญญาเด่น อำเภอหางดง จังหวัดเชียงใหม่ ออกแบบโดย 24H > architecture ใช้การสานกันของลำไผ่เป็นโครงสร้างช่วงพาดยาวและเชื่อมต่อบริเวณจุดต่อด้วยเชือกไนลอนและสลักเกลียว



ภาพที่ 2.8 โรงเรียนปัญญาเด่น. จาก www.creativemove.com, 2557.



ภาพที่ 2.9 โครงสร้างไม้ไผ่ของอาคารเรียนโรงเรียนปัญญาเด่น. จาก www.creativemove.com, 2557.

อาคาร The Dailai Conference Hall ที่รีสอร์ท Flamingo Dailai ประเทศเวียดนาม ออกแบบโดย Vo Trong Nghia เป็นอาคารใช้สำหรับจัดการประชุม งานแต่งงาน และงานแสดงต่างๆ พื้นที่ใช้สอยประกอบด้วยโถงต้อนรับ ร้านอาหาร และห้องประชุม ผนังอาคารเป็นผนังหิน โดยใช้โครงถักไม้ไผ่เป็นโครงสร้างรับหลังคา ใช้เชือกไนลอนและสลักเกลียวในการเชื่อมต่อชิ้นส่วนโครงถัก



ภาพที่ 2.10 The Dailai Conference Hall. จาก www.dezeen.com, 2557.



ภาพที่ 2.11 โครงถักไม้ไผ่สำหรับรับโครงสร้างหลังคา. จาก www.dezeen.com, 2557.

อาคาร Bamboo cathedral ใน Big Tree Farms Chocolate Factory บาห์ลี ประเทศอินโดนีเซีย เป็นอาคารสำนักงานขนาดใหญ่ที่สร้างด้วยไม้ไผ่ พื้นที่ใช้สอยประกอบด้วย สำนักงาน ห้องจัดเลี้ยง ร้านค้า ร้านอาหาร คลังสินค้า และโรงงานช็อกโกแลต มีโครงถักเป็น โครงสร้างรับหลังคา โดยการใช้การเชื่อมต่อชิ้นส่วนโครงถักด้วยสลักเกลียว



ภาพที่ 2.12 อาคาร Bamboo cathedral ใน Big Tree Farms Chocolate Factory. จาก www.bigtreefarms.com, 2557.



ภาพที่ 2.13 โครงถักรับหลังคาภายในอาคาร Bamboo cathedral. จาก www.bigtreefarms.com, 2557.

อาคาร PANACA Theme Park ประเทศคอสตาริกา เป็นอาคารการเรียนรู้เกี่ยวกับการเกษตร และเลี้ยงสัตว์ โดยอาคารทั้งหมดเป็นโครงสร้างไผ่ มีโครงถักไม้ไผ่เป็นโครงสร้างรับหลังคา ใช้สลักเกลียวในการประกอบชิ้นส่วนต่างๆ เข้าด้วยกัน



ภาพที่ 2.14 อาคาร PANACA Theme Park. จาก www.guaduaBamboo.com, 2557.



ภาพที่ 2.15 โครงถักไม้ไผ่รับโครงสร้างหลังคา. จาก www.guaduaBamboo.com, 2557.

อาคารเรียน Greenest School บาห์ลี ประเทศอินโดนีเซีย ภายในโรงเรียน ประกอบไปด้วยอาคารสถาปัตยกรรมไม้ไผ่หลายหลังสำหรับใช้เป็นอาคารสำนักงาน อาคารเรียน อาคารกิจกรรม และอื่นๆ โดยโครงสร้างอาคารส่วนใหญ่เป็นอาคารช่วงพาดยาว ใช้โครงถักเป็น โครงสร้างรับหลังคาและใช้การเชื่อมต่อโดยสลักเกลียว



ภาพที่ 2.16 อาคารเรียน Greenest School. จาก www.greenschool.org, 2557.



ภาพที่ 2.17 โครงสร้างภายในอาคารเรียน Greenest School. จาก www.greenschool.org, 2557.



ภาพที่ 2.18 สะพานไม้ไผ่ภายใน Greenest School. จาก www.greenschool.org, 2557.



ภาพที่ 2.19 โครงสร้างภายในสะพานไม้ไผ่ภายใน Greenest School. จาก www.greenschool.org, 2557.

จากการศึกษารูปแบบอาคารไม้ไผ่ที่มีโครงสร้างช่วงพาดยาว พบว่านิยมใช้โครงถักมาเป็นโครงสร้างในการรับหลังคาพาดช่วงยาว โดยส่วนใหญ่เป็นโครงถักแบบแพทท ใช้วิธีการรวบลำไผ่เพื่อทำเป็นชิ้นส่วนโครงถัก และใช้การเชื่อมต่อชิ้นส่วนโครงถักแต่ละชิ้นส่วนโดยวิธีมัดเชือกและการใช้สลักเกลียว

บทที่ 3

ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 ประเภทของการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง เพื่อศึกษารูปแบบข้อต่อที่เหมาะสมกับโครงถักไม้ไผ่เพื่อให้ประสิทธิภาพในการรับแรงของไม้ไผ่ดีขึ้น โดยเลือกทดสอบข้อต่อ 4 รูปแบบ คือ ข้อต่อแบบทอกลอง ข้อต่อแบบกรวย ข้อต่อแบบแผ่นเหล็ก และข้อต่อแบบแผ่นเหล็กตัวที่ พันธุ์ไม้ที่ใช้ในการศึกษาคือ ไม้ซางหม่น อายุ 3-4 ปี ที่ได้รับการถนอมเนื้อไม้แล้ว เนื่องจากเป็นพันธุ์ที่มีคุณสมบัติเชิงกลโดยรวมดีที่สุด โดยทำการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของเบื้องต้นไม้ชุดที่จะนำมาทดสอบโดยมาตรฐาน ISO 22157 Determination of physical and mechanical properties of bamboo นำข้อต่อทั้ง 4 รูปแบบมาประกอบกับไม้ไผ่เป็นชิ้นส่วนโครงถัก และนำไปทดสอบประสิทธิภาพการรับแรงตามมาตรฐาน ASTM D198 และนำค่าที่ได้จากการทดสอบมาสร้างหุ่นจำลองทางคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม SAP2000 เพื่อพิสูจน์ผลการทดสอบว่าสามารถนำมาใช้ในโครงสร้างอาคารพาดช่วงยาวได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยตัวแปรที่ทำการศึกษาคือ รูปแบบข้อต่อโครงถักไม้ไผ่ และวัสดุประสานที่เป็นตัวเชื่อมระหว่างไม้และข้อต่อ

3.2 ขั้นตอนการวิจัย

จากการศึกษาและทำการทดสอบผล สามารถแบ่งขั้นตอนการวิจัยได้เป็นส่วน ดังนี้

1. ขั้นตอนการศึกษาข้อมูล ประกอบด้วยการศึกษาที่มา แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง รวมถึงการศึกษาคุณสมบัติของเบื้องต้นของพันธุ์ไม้ที่จะนำมาใช้ในการศึกษา
2. การออกแบบข้อต่อโครงถัก โดยการวิเคราะห์รูปแบบโครงถักและข้อต่อที่มีความเหมาะสมกับวัสดุไม้
3. ขั้นตอนการทดสอบคุณสมบัติของข้อต่อโครงถัก ทั้งคุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติเชิงกล และประสิทธิภาพในการรับแรงของชิ้นส่วนโครงถัก
4. เปรียบเทียบคุณสมบัติของข้อต่อแต่ละประเภท สรุป วิเคราะห์และอภิปรายผลการทดลองและเสนอแนะแนวทางการนำไปใช้ในการออกแบบโครงสร้างทางสถาปัตยกรรม



ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการวิจัย

3.3 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องในงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ส่วน โดยแต่ละส่วน มีตัวแปรที่แตกต่างกัน ดังนี้ส่วนที่ 1 เป็นการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลเบื้องต้นของไม้ที่จะใช้ในการศึกษา ตามมาตรฐาน ISO 22157

1. ตัวแปรต้น

- 1.1 ไม้ซางหม่นบริเวณโคน
- 1.2 ไม้ซางหม่นบริเวณกลางลำ
- 1.3 ไม้ซางหม่นบริเวณปลาย

2. ตัวแปรตาม

- 2.1 ความชื้นและความหนาแน่นของเนื้อไม้
- 2.2 ความสามารถในการรับแรงอัด แรงดึง

3. ตัวแปรควบคุม

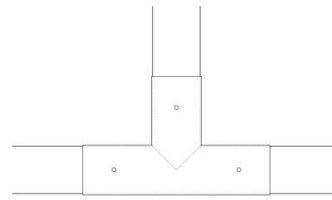
- 3.1 พันธุ์ที่ใช้คือ ไม้ซางหม่น
- 3.2 ขนาดและอายุไม้ ไม้ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 8-10 เซนติเมตร อายุ 3-4 ปี

ส่วนที่ 2 เป็นการทดสอบประสิทธิภาพในการรับแรงของข้อต่อ

1. ตัวแปรต้น

1.1 ประเภทของข้อต่อโครงถัก ได้แก่ ข้อต่อแบบท่อกวาง ข้อต่อแบบกรวย ไม่มีสลักเกลียว ข้อต่อแบบกรวยมีสลักเกลียว ข้อต่อแบบแผ่นเหล็ก และข้อต่อแผ่นเหล็กตัวที

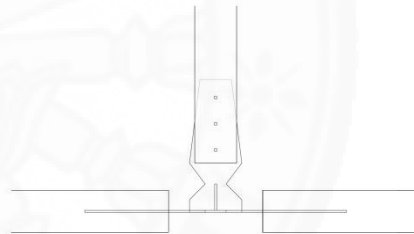
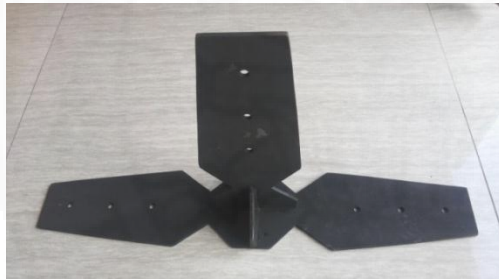
1.2 วัสดุประสาน ได้แก่ สลักเกลียว อีพ็อกซี(อีพ็อกซีสำหรับงานเสียบเหล็ก และเชื่อมประสานประเภทอิโซโทโรปิกชนิด 2 ส่วนผสม ยี่ห้อ Sika มีค่ากำลังรับแรงดึง: 15-20 นิวตัน/มม.² ค่ากำลังรับแรงอัด: 50-70 นิวตัน/มม.²) และอีพ็อกซีผสมทรายหยาบ



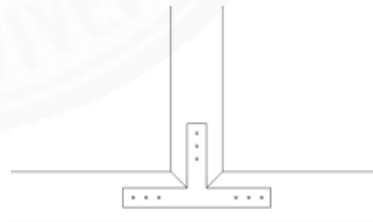
ภาพที่ 3.2 ข้อต่อแบบท่อ



ภาพที่ 3.3 ข้อต่อแบบกรวยมีสลักเกลียว และไม่มีสลักเกลียว



ภาพที่ 3.4 ข้อต่อแบบแผ่นเหล็ก



ภาพที่ 3.5 ข้อต่อแบบแผ่นเหล็กตัวที



ภาพที่ 3.6 อีพ็อกซี

2. ตัวแปรตาม

2.1 ความสามารถในการรับแรงตามมาตรฐาน ASTM D198

2.2 ลักษณะการวิบัติ

3. ตัวแปรควบคุม

3.1 พันธุ์ไม้ที่ใช้ในงานวิจัย คือ ไม้ซางหม่น (*Dendrocalamus sericeus*)

3.2 ขนาดและอายุไม้ ใช้ไม้ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 8-10 เซนติเมตร อายุ 3-4 ปี

ส่วนที่ 3 เป็นการสร้างหุ่นจำลองทางคอมพิวเตอร์

1. ตัวแปรต้น

1.1 ระยะพาด 8, 10 และ 12 เมตร

1.2 ความสามารถในการรับแรงของข้อต่อแบบต่างๆ

2. ตัวแปรตาม

2.1 ความสามารถในการรับน้ำหนักของโครงถัก

2.2 Deflection ของโครงถัก โดยที่จะต้องไม่เกิน $L/360$

3. ตัวแปรควบคุม

3.1 ประเภทของข้อต่อ

3.4 วัสดุและเครื่องมือในการวิจัย

1. วัสดุ

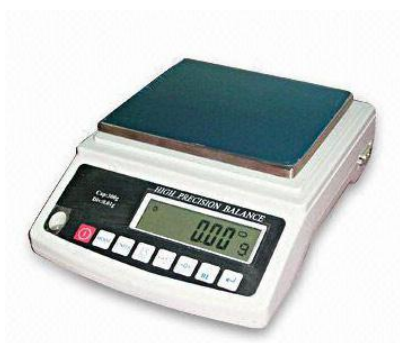
- 1.1 ไม้ฉากหม่น
- 1.2 ข้อต่อทั้ง 5 แบบ
- 1.3 สลักเกลียว
- 1.4 อีพ็อกซี

2. อุปกรณ์

- 2.1 เวอร์เนียคาลิเปอร์ (Vernier Caliper)
- 2.2 เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล (Digital Scale)
- 2.3 เครื่อง UTM (Universal Testing Machine)
- 2.4 เครื่องมือทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D198
- 2.5 เครื่องเลื่อยตัด
- 2.6 ตลับเมตร
- 2.7 โปรแกรม Autodesk Robot Structural Analysis Professional



ภาพที่ 3.7 เวอร์เนียคาลิเปอร์ (Vernier Caliper)



ภาพที่ 3.8 เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล (Digital Scale)



ภาพที่ 3.9 เครื่อง UTM (Universal Testing Machine)

3.5 สถานที่ทดสอบ

อาคารปฏิบัติการและทดสอบ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

3.6 ขั้นตอนการออกแบบและทดลอง

ขั้นตอนการทดลองจะแบ่งเป็น 3 ส่วนดังนี้

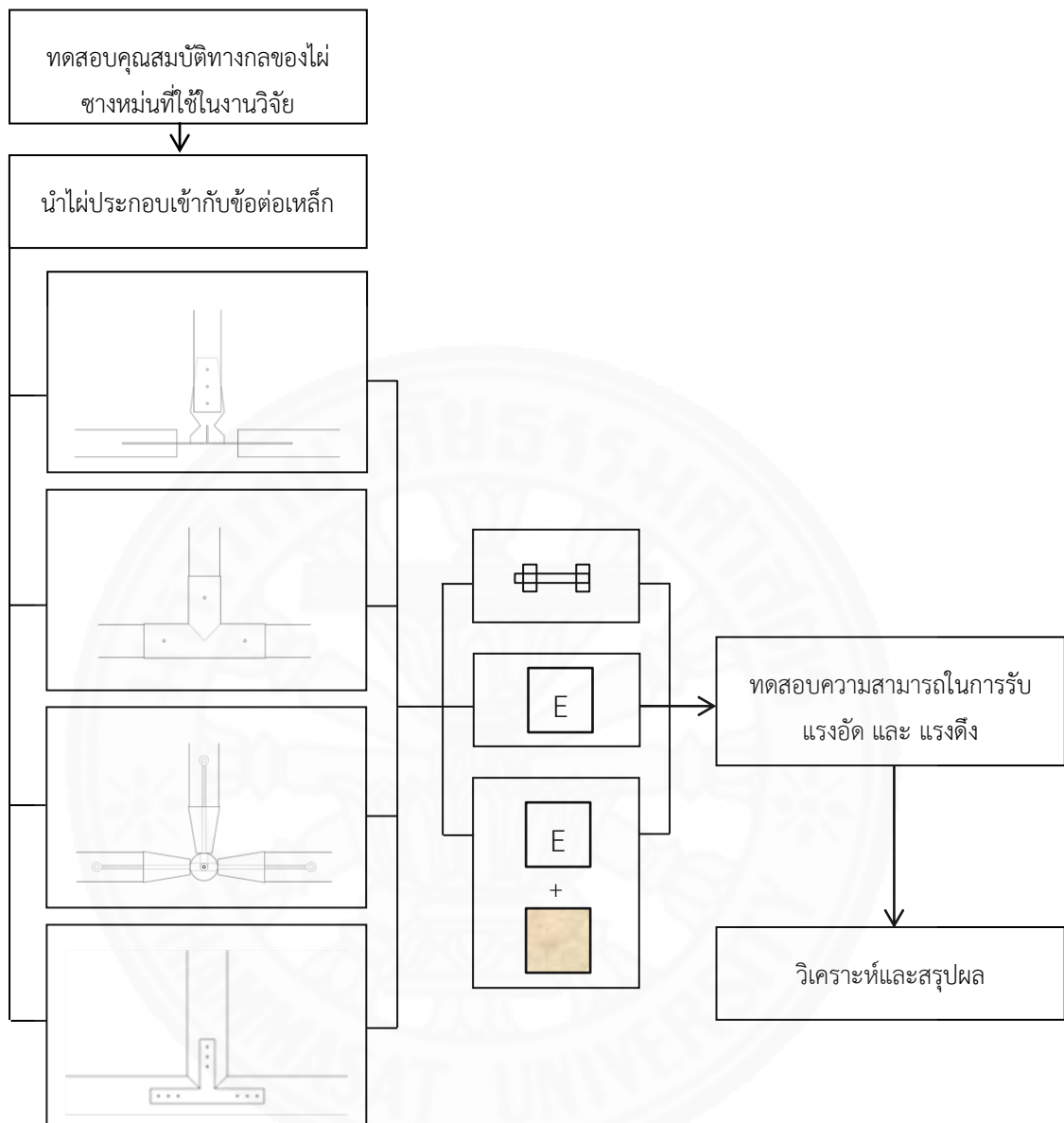
ส่วนที่ 1 เป็นการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลเบื้องต้นของไม้ที่จะใช้ในการศึกษา ตามมาตรฐาน ISO 22157

ส่วนที่ 2 เป็นการทดสอบประสิทธิภาพในการรับแรงของข้อต่อ โดยมีกระบวนการทำงานดังนี้




1. ออกแบบข้อต่อของโครงถัก เพื่อหารูปแบบที่มีประสิทธิภาพและมีความเหมาะสมสำหรับโครงถักไม้ไผ่ในรูปแบบต่างโดยใช้เหล็กที่มีความหนาเพียงพอ
2. ทดสอบความสามารถในการรับแรงตามมาตรฐาน ASTM
3. นำรูปแบบที่ดีที่สุดมาพัฒนา

ส่วนที่ 3 เป็นการพัฒนาข้อต่อและสร้างหุ่นจำลองทางคอมพิวเตอร์

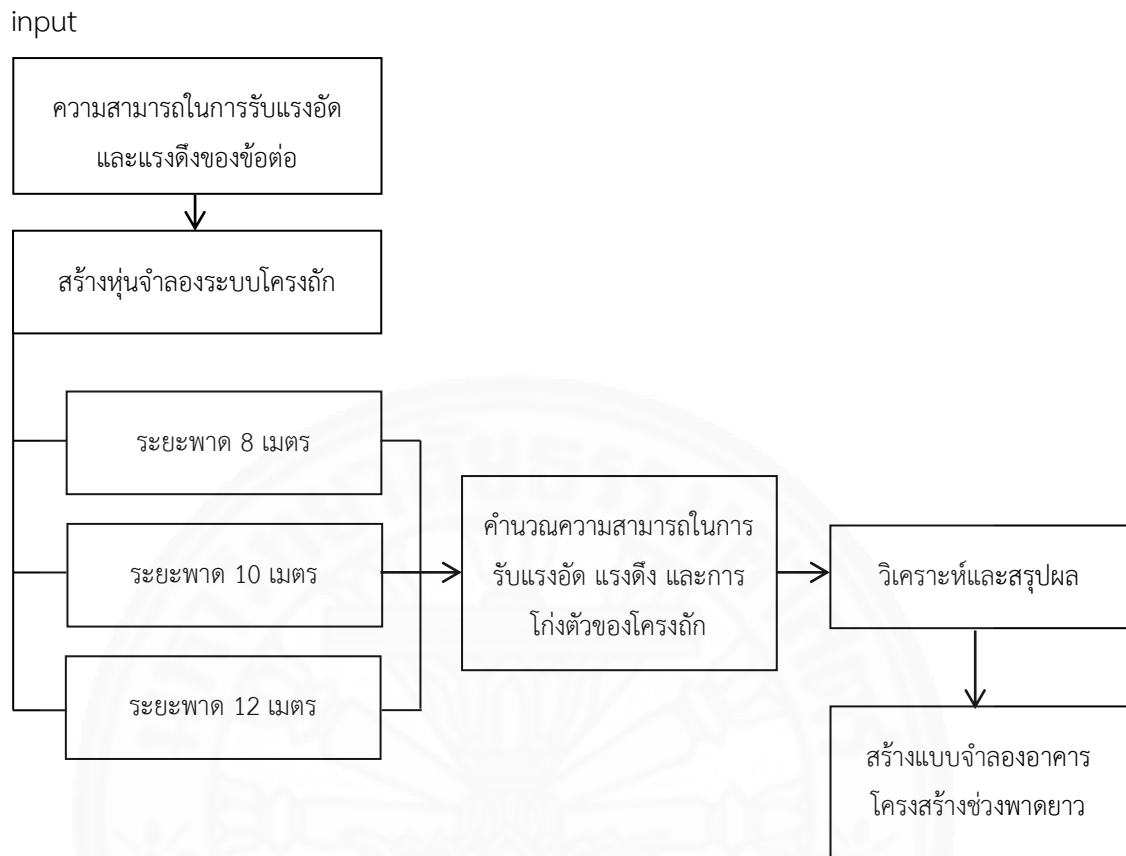
1. ออกแบบการเชื่อมต่อที่มีความเหมาะสมกับข้อต่อในแต่ละแบบ
2. ทดลองสร้างโครงถักไม้ไผ่ต้นแบบด้วยวิธีสร้างหุ่นจำลองทางคอมพิวเตอร์
3. นำหุ่นจำลองที่สร้างขึ้นมาไปทดสอบการรับแรงด้วยโปรแกรม SAP2000



โดยที่

	= อีพ็อกซี
	= ทรายหยาบ
	= สลักเกลียว

ภาพที่ 3.10 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการทดสอบประสิทธิภาพในการรับแรงของข้อต่อ



ภาพที่ 3.11 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการคำนวณหุ่นจำลองทางคอมพิวเตอร์

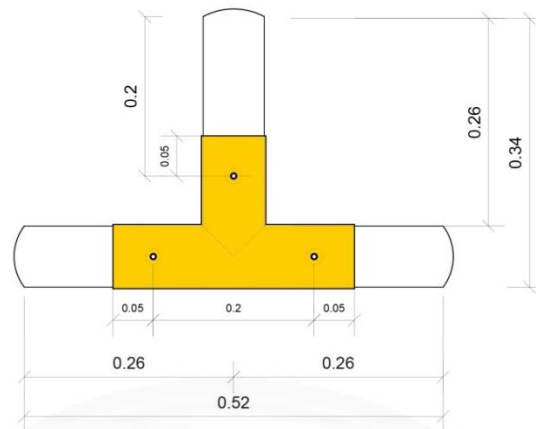
3.7 การเตรียมการทดสอบ

3.7.1 การทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของข้อต่อแบบท่อ

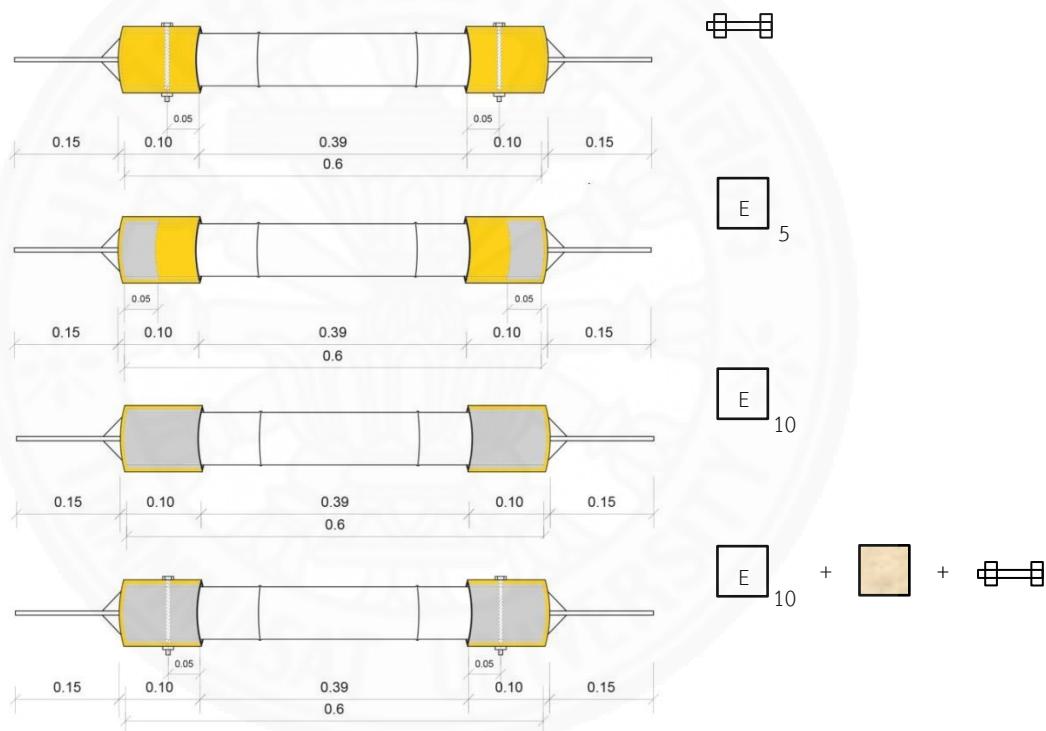
1. เตรียมไม้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8-10 เซนติเมตร ความยาวลำละ 0.26 เมตร และขนาด 0.50 เมตร จำนวน 36 ลำ และ 15 ลำ ตามลำดับ
2. เตรียมสลักเกลียวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.50 เซนติเมตร ความยาว 10 เซนติเมตร จำนวน 66 ตัว
3. เตรียมอีพ็อกซีปริมาณ 20 กิโลกรัม และทรายหยาบเบอร์ 50 อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ปริมาณ 1 กิโลกรัม
4. นำวัสดุที่เตรียมไว้มาประกอบเป็นตัวอย่างทดสอบ โดยวิธีการดังนี้
 - 4.1. การทดสอบแรงอัด แบ่งออกเป็น
 - 4.1.1. ใช้สลักเกลียวเป็นตัวเชื่อมต่อไม้กับข้อต่อ
 - 4.1.2 ใช้อีพ็อกซีเป็นวัสดุประสานระหว่างไม้กับข้อต่อ โดย
 1. ใช้อีพ็อกซีเพียงอย่างเดียว
 2. ใช้อีพ็อกซี + สลักเกลียว
 3. ใช้อีพ็อกซี + ทรายหยาบเบอร์ 50 + สลักเกลียว

ประเภทละ 3 ตัวอย่าง รวมจำนวนตัวอย่างทดสอบแรงอัดทั้งหมด 12 ตัวอย่าง
 - 4.2. การทดสอบแรงดึง แบ่งออกเป็น
 - 4.1.1. ใช้สลักเกลียวเป็นตัวเชื่อมต่อไม้กับข้อต่อ
 - 4.1.2 ใช้อีพ็อกซีเป็นวัสดุประสานระหว่างไม้กับข้อต่อ โดย
 1. ใช้อีพ็อกซีเพียงอย่างเดียว มีระยะสัมผัสระหว่างอีพ็อกซี ไม้ และข้อต่อเป็นระยะ 5 และ 10 เซนติเมตร
 2. ใช้อีพ็อกซี + ทรายหยาบ
 3. ใช้อีพ็อกซี + ทรายหยาบเบอร์ 50 + สลักเกลียว


ประเภทละ 3 ตัวอย่าง รวมจำนวนตัวอย่างทดสอบแรงอัดทั้งหมด 15 ตัวอย่าง




ภาพที่ 3.12 ตัวอย่างทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดของข้อต่อแบบท่อโดยใช้สลักเกลียว



โดยที่ E_n = อีพ็อกซี, n = ระยะสัมผัสระหว่างผืน อีพ็อกซี และข้อต่อ (เซนติเมตร)

 = ทราฮายาบ

 = สลักเกลียว

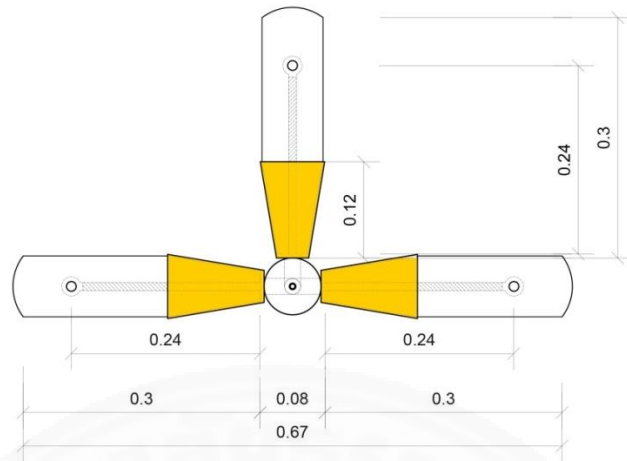
ภาพที่ 3.13 ตัวอย่างทดสอบความสามารถในการรับแรงดึงของข้อต่อแบบท่อโดยใช้การเชื่อมต่อระหว่างผืนกับข้อต่อด้วยวิธีที่แตกต่างกัน

3.7.2 การทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของข้อต่อแบบกรวย

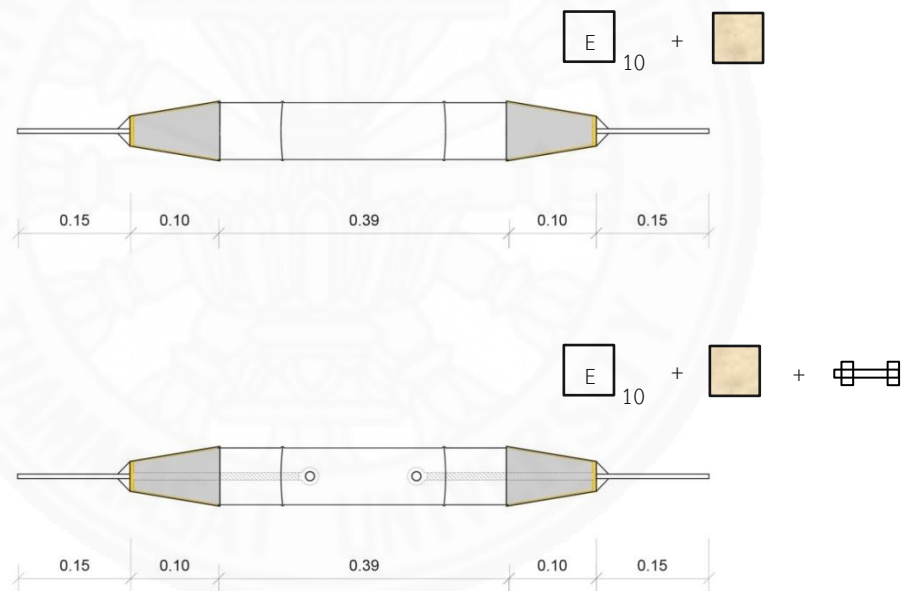
1. เตรียมไม้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8-10 เซนติเมตร ความยาวลำละ 0.26 เมตร และขนาด 0.50 เมตร จำนวน 36 ลำ และ 6 ลำ ตามลำดับ
2. เตรียมสลักเกลียวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.50 เซนติเมตร ความยาว 10 เซนติเมตร จำนวน 24 ตัว
3. เตรียมอีพ็อกซีปริมาณ 8 กิโลกรัม และทรายหยาบเบอร์ 50 อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ปริมาณ 0.5 กิโลกรัม
4. นำวัสดุที่เตรียมไว้มาประกอบเป็นตัวอย่างทดสอบ โดยวิธีการดังนี้
 - 4.1. การทดสอบแรงอัด แบ่งออกเป็น
 - 4.1.1. ใช้สลักเกลียวเป็นตัวเชื่อมต่อไม้กับข้อต่อ
 - 4.1.2. ใช้อีพ็อกซีเป็นวัสดุประสานระหว่างไม้กับข้อต่อ โดย
 1. ใช้อีพ็อกซีเพียงอย่างเดียว
 2. ใช้อีพ็อกซี + สลักเกลียว

ประเภทละ 3 ตัวอย่าง รวมจำนวนตัวอย่างทดสอบแรงอัดทั้งหมด 12 ตัวอย่าง
 - 4.2. การทดสอบแรงดึง โดยใช้อีพ็อกซีผสมทรายหยาบเบอร์ 50 เป็นวัสดุประสานระหว่างไม้กับข้อต่อ แบ่งออกเป็น
 - 4.1.1. ใช้อีพ็อกซี + ทรายหยาบเบอร์ 50
 - 4.1.2. ใช้อีพ็อกซี + ทรายหยาบเบอร์ 50 + สลักเกลียว


ประเภทละ 3 ตัวอย่าง รวมจำนวนตัวอย่างทดสอบแรงอัดทั้งหมด 6 ตัวอย่าง




ภาพที่ 3.14 ตัวอย่างทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดของข้อต่อแบบกรวยโดยใช้การเชื่อมต่อระหว่างไฟกับข้อต่อด้วยวิธีที่แตกต่างกัน



โดยที่ E_n = อีพ็อกซี, n = ระยะสัมผัสระหว่างไฟ อีพ็อกซี และข้อต่อ (เซนติเมตร)

 = ทราฮายาบ

 = สลักเกลียว

ภาพที่ 3.15 ตัวอย่างทดสอบความสามารถในการรับแรงดึงของข้อต่อแบบกรวยโดยใช้การเชื่อมต่อระหว่างไฟกับข้อต่อด้วยวิธีที่แตกต่างกัน

3.7.3 การทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของข้อต่อแบบแผ่นเหล็ก

1. เตรียมไม้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8-10 เซนติเมตร ความยาวลำละ 0.26 เมตร จำนวน 27 ลำ

2. เตรียมสลักเกลียวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.50 เซนติเมตร ความยาว 10 เซนติเมตร จำนวน 81 ตัว

3. เตรียมอิพ็อกซี่ปริมาณ 18 กิโลกรัม

4. นำวัสดุที่เตรียมไว้มาประกอบเป็นตัวอย่างทดสอบ โดยวิธีการดังนี้

4.1. การทดสอบแรงอัด แบ่งออกเป็น

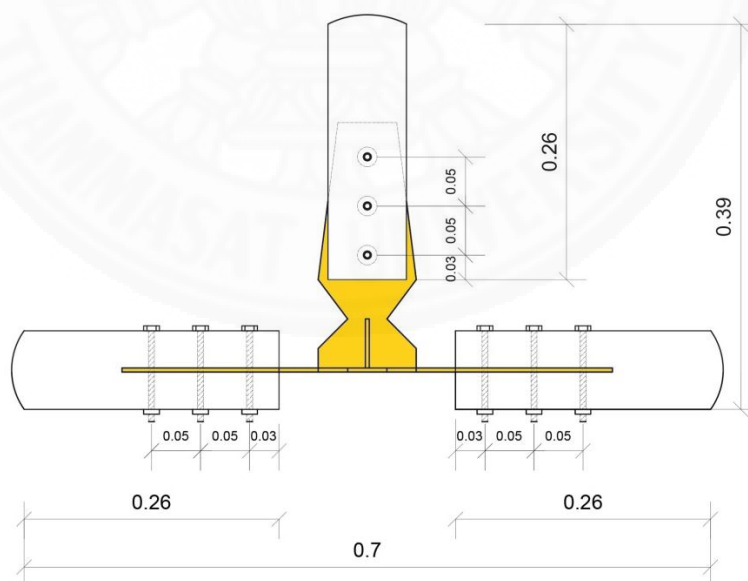
4.1.1. ใช้สลักเกลียวเป็นตัวเชื่อมต่อไม้กับข้อต่อ

4.1.2 ใช้อิพ็อกซี่เป็นวัสดุประสานระหว่างไม้กับข้อต่อ โดย

1. ใช้อิพ็อกซี่เพียงอย่างเดียว

2. ใช้อิพ็อกซี่ + สลักเกลียว

ประเภทละ 3 ตัวอย่าง รวมจำนวนตัวอย่างทดสอบแรงอัดทั้งหมด 9 ตัวอย่าง



ภาพที่ 3.16 ตัวอย่างทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดของข้อต่อแบบแผ่นเหล็กโดยใช้การเชื่อมต่อระหว่างไม้กับข้อต่อด้วยวิธีที่แตกต่างกัน

3.7.4 การทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของข้อต่อแบบแผ่นเหล็กตัวที

1. เตรียมไม้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8-10 เซนติเมตร ความยาวลำละ 0.26 เมตร และ 0.52 เมตร จำนวนอย่างละ 6 ลำ

2. เตรียมสลักเกลียวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.50 เซนติเมตร ความยาว 10 เซนติเมตร จำนวน 54 ตัว

3. เตรียมอีพ็อกซีปริมาณ 6 กิโลกรัม

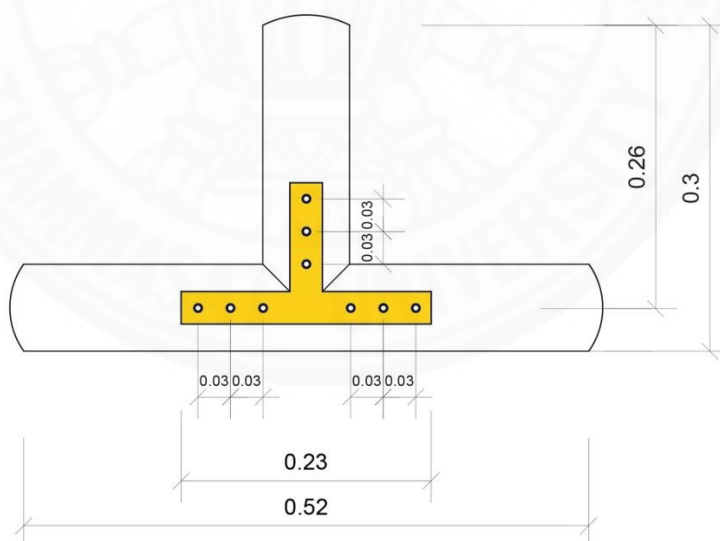
4. นำวัสดุที่เตรียมไว้มาประกอบเป็นตัวอย่างทดสอบ โดยวิธีการดังนี้

4.1. การทดสอบแรงอัด แบ่งออกเป็น

4.1.1. ใช้สลักเกลียวเป็นตัวเชื่อมต่อไม้กับข้อต่อ

4.1.2 ใช้อีพ็อกซี + สลักเกลียวเป็นวัสดุประสานระหว่างไม้กับข้อต่อ

ประเภทละ 3 ตัวอย่าง รวมจำนวนตัวอย่างทดสอบแรงอัดทั้งหมด 6 ตัวอย่าง



ภาพที่ 3.17 ตัวอย่างทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดของข้อต่อแบบแผ่นเหล็กตัวทีโดยใช้การเชื่อมต่อระหว่างไม้กับข้อต่อด้วยวิธีที่แตกต่างกัน

3.8 ขั้นตอนการทดสอบ

แบ่งการทดสอบเป็นสามส่วน ดังนี้

3.8.1 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไม้ที่ใช้ในการวิจัย มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. การทดสอบปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ตามมาตรฐาน ISO 22157

ทำการทดสอบโดยนำชิ้นตัวอย่างขนาดความหนาเท่ากับความหนาชิ้นส่วนทดสอบ แล้วนำไปชั่งน้ำหนักก่อนและหลังการอบ ด้วยอุณหภูมิ 130 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และวัดขนาดขึ้นตัวอย่างเพื่อคำนวณหาปริมาตร

$$MC = \left(\frac{m - m_0}{m_0} \right) \times 100$$

สมการที่ 1

เมื่อ MC = ความชื้นสัมพัทธ์ (%)

m = มวลก่อนการอบแห้ง (กรัม)

m_0 = มวลหลังการอบแห้ง (กรัม)

2. การทดสอบความหนาแน่นและความถ่วงจำเพาะตามมาตรฐาน ISO 22157

ทดสอบโดยการนำชิ้นตัวอย่างจากข้อ 3.6.1 ที่ทำการอบแห้งแล้วไปชั่งน้ำหนักแล้วเทียบกับปริมาตรก่อนการอบแห้ง

$$\rho = \left(\frac{m}{v} \right) \times 10^6$$

สมการที่ 2

เมื่อ ρ = ความหนาแน่น (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)

m = มวลก่อนการอบแห้ง (กรัม)

v = ปริมาตรของชิ้นทดสอบก่อนการอบแห้ง (ลูกบาศก์มิลลิเมตร)

3. การทดสอบกำลังรับแรงดึง

นำชิ้นตัวอย่างมาหาค่ากำลังรับแรงดึงสูงสุด (Ultimate tensile stress) โดยยอมให้ผิดพลาดได้ไม่เกินร้อยละ 0.3 ของมิติที่วัด วางชิ้นส่วนตัวอย่างโดยใช้อุปกรณ์ยึด หลังจากนั้นให้แรงดึงกระทำอย่างต่อเนื่องด้วยความเร็วประมาณ 2.5 มิลลิเมตร/นาที จนกระทั่งชิ้นส่วนตัวอย่างเริ่มแตก

$$\sigma_{ult} = \frac{F_{ult}}{A} \quad \text{สมการที่ 3}$$

เมื่อ σ_{ult} = กำลังรับแรงดึงสูงสุด (กิโลกรัม/ตารางมิลลิเมตร)

F_{ult} = แรงดึงสูงสุด (กิโลกรัม)

A = พื้นที่หน้าตัด (ตารางเมตร)

4. การทดสอบกำลังรับแรงอัด

นำตัวอย่างการทดสอบที่มีความสูงเท่ากับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกชิ้นตัวอย่างทดสอบมาหาค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุดตามมาตรฐาน ISO 22157

$$\sigma_{ult} = \frac{F_{ult}}{A} \quad \text{สมการที่ 4}$$

เมื่อ σ_{ult} = กำลังรับแรงดึงสูงสุด (กิโลกรัม/ตารางมิลลิเมตร)

F_{ult} = แรงดึงสูงสุด (กิโลกรัม)

A = พื้นที่หน้าตัด (ตารางเมตร)

3.8.2 ทดสอบคุณสมบัติการรับแรงของข้อต่อโครงถักไม้ไผ่ตามมาตรฐาน ASTM

D1988

1. การทดสอบกำลังรับแรงดึง

2. การทดสอบกำลังรับแรงอัด

3.7.3 คำนวณการรับแรงตามแนวแกนของระบบโครงถักที่ได้จากการสร้าง

แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม SAP2000

3.9 ขั้นตอนการเก็บข้อมูล

1. เก็บข้อมูลในส่วนของการทดสอบข้อต่อทั้งหมด 3 รูปแบบ แบบละ 3 ครั้ง แล้วนำค่ามาหาค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดสอบแต่ละข้อต่อ
2. นำค่าที่ได้จากการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของข้อต่อทั้ง 3 รูปแบบ มาคำนวณค่าการรับน้ำหนักโดยใช้มาตรฐาน ASTM D198 เพื่อนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบและกำหนดค่าการทดลอง
3. นำค่าที่ได้จากการทดสอบและการคำนวณการรับน้ำหนักมาเป็นตัวกำหนดการออกแบบหุ่นจำลองทางคอมพิวเตอร์โดยโปรแกรม SAP2000

3.10 ขั้นตอนการวิเคราะห์ผล

นำค่าที่ได้จากผลการทดสอบข้อต่อทั้ง 5 แบบมาเปรียบเทียบกับผลทดสอบจากงานวิจัยที่ได้ศึกษามา เพื่อนำไปใช้ในการออกแบบโครงสร้างทางสถาปัตยกรรม โดยการนำค่าที่ได้จากการทดสอบมาใช้ในการคำนวณแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์โดยโปรแกรม SAP2000 และนำผลการวิเคราะห์การจำลองการรับแรงของโครงถักในหุ่นจำลองทางคอมพิวเตอร์มาออกแบบอาคารช่วงพาดยาว

บทที่ 4 ผลการวิจัย

4.1 คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกล

จากการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไม้ไผ่ โดยแบ่งเป็นส่วนปลาย กลาง และโคน ปรากฏว่าส่วนโคนของลำไม้ไผ่มีคุณสมบัติเชิงกลที่สูงกว่าส่วนอื่นๆ เนื่องจากความหนาของเนื้อไม้บริเวณโคนมีมากกว่า รายละเอียดแสดงไว้ในภาคผนวกตารางที่ ก-1 – ตารางที่ ก-3

เมื่อพิจารณาโดยภาพรวมแล้วเนื้อไม้ไผ่บริเวณโคนแม้จะมีความหนาและแข็งแรงมากกว่าส่วนอื่นๆ แต่ความหนาของเนื้อไม้ไม่มีความสม่ำเสมอทำให้ยากต่อการนำไปใช้งาน จึงได้นำผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของลำไม้ไผ่บริเวณกลางลำและโคนมาเปรียบเทียบกัน พบว่ามีความสามารถในการรับแรงดึงและแรงอัดไม่ต่างกันมาก ในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ไม้ไผ่บริเวณกลางลำที่มีความหนาของเนื้อไม้สม่ำเสมอต่อการควบคุมคุณภาพในการทดสอบ



ภาพที่ 4.1 ลักษณะการวิบัติของลำไม้

ตารางที่ 4.1

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกล

รายละเอียด		หน่วย	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	เฉลี่ย
1.ขนาดของไม้ ตัวอย่าง	เส้นผ่านศูนย์กลาง	มม.	88.1	82.4	86.6	85.7
	ความหนา	มม.	12.9	15.2	15.2	14.43
	ความยาว	มม.	200	200	200	200
	พื้นที่ (A)	ตร.มม.	3,047.59	3,208.95	3,409.51	3,222.02
2.น้ำหนักของไม้ตัวอย่างก่อนอบแห้ง (m)		กรัม	35.5	64.5	51.4	50.47
3.น้ำหนักของไม้ตัวอย่างหลังอบแห้ง (m ₀)		กรัม	33.5	59.8	47.9	47.07
4.ปริมาตรของชิ้นส่วนทดสอบก่อนการ อบแห้ง		ลบ.มม.	19,350	22,800	22,800	21,650
5.ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ (MC)		ร้อยละ	5.97	7.86	7.31	7.05
6.ความหนาแน่น (ρ_0)		กก./ลบ.ม.	183.46	282.89	225.44	230.59
7.ความถ่วงจำเพาะ (SG)		ร้อยละ	1.83	2.83	2.25	2.30
8.แรงอัดสูงสุด(Fult)		กก.	20,517	17,843	18,943	19,101
9.หน่วยแรงอัดสูงสุด		กก./ตร.ซม.	673	556	556	595
10.แรงดึงสูงสุด		กก.	2,949	2,420	2,803	2,724
11.หน่วยแรงดึงสูงสุด		กก./ตร.ซม.	97	75	82	85

4.2 ผลการทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดของข้อต่อแบบต่างๆ

ผลการทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดนี้ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D198 โดยทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดที่ได้จากการประกอบลำไม้ไผ่เข้ากับข้อต่อเหล็กรูปแบบต่างกัน 5 แบบ ได้แก่ ข้อต่อแบบท่อ ข้อต่อแบบกรวยไม่มีสลักเกลียว ข้อต่อแบบกรวยมีสลักเกลียว ข้อต่อแบบแผ่นเหล็ก และข้อต่อแผ่นเหล็กรูปตัวที ได้ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 4.2 – ตารางที่ 4.14 และลักษณะการวิบัติของข้อต่อแบบต่างๆ ดังภาพที่ 4.2 – ภาพที่ 4.8

ตารางที่ 4.2

ผลการทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดของข้อต่อแบบท่อ

รายละเอียด		หน่วย	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	เฉลี่ย
ขนาดของไม้ตัวอย่าง	เส้นผ่านศูนย์กลาง ภายนอก	มม.	88.20	91.20	88.40	89.27
	ความหนา	มม.	13.8	15.0	12.8	13.87
	ความยาว	มม.	260	260	260	260
พื้นที่ (A) = $\pi/4 (D^2 - (D-2t)^2)$		ตร.มม.	3,226.83	3,592.28	3,041.3	3,286.8
แรงอัดสูงสุด (Fult)		กก.	1,793	2,169	1,928	1,963.33
หน่วยแรงอัดสูงสุด (σ_{ult}) = F _{ult} /A		กก./ตร.ซม.	56	60	63	60
น้ำหนักของไม้ตัวอย่างก่อนอบแห้ง (m)		กรัม	34.8	34.8	31.5	33.7
น้ำหนักของไม้ตัวอย่างหลังอบแห้ง (m ₀)		กรัม	31.29	32.8	26.3	30.13
ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ (MC)		ร้อยละ	11.22	6.10	19.77	12.36



ภาพที่ 4.2 ลักษณะการวิบัติของข้อต่อแบบท่อ

จากตารางที่ 4.2 พบว่าความสามารถในการรับแรงอัดของข้อต่อแบบท่อกับหน่วยแรงอัดสูงสุดเฉลี่ย 60 กก./ตร.ซม. ซึ่งมีค่าน้อยกว่ากำลังรับแรงอัดของไม้ลำเดี่ยวมาก และมีลักษณะการวิบัติของลำไม้บริเวณที่มีการเชื่อมต่อกับสลักเกลียวเนื่องจากหน่วยแรงเฉือนขนาดใหญ่ทำให้วัสดุไม้เกิดการเสียรูปและเสียความสามารถในการรับแรง โดยสลักเกลียวที่อยู่ใกล้กับบริเวณที่มีแรงมากจะทำให้เกิดการเสียรูปก่อนแล้วจึงค่อยถ่ายแรงไปยังสลักเกลียวตัวที่อยู่ถัดมา ดังแสดงในภาพที่ 4.2

ตารางที่ 4.3

ผลการทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดของข้อต่อแบบกรวยไม่มีสลักเกลียว

รายละเอียด		หน่วย	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	เฉลี่ย
ขนาดของไม้ตัวอย่าง	เส้นผ่านศูนย์กลาง ภายนอก	มม.	81.80	81.50	82.40	81.90
	ความหนา	มม.	12.50	12.30	12.60	12.47
	ความยาว	มม.	260	260	260	260
พื้นที่ (A) = $\pi/4 (D^2 - (D-2t)^2)$		ตร.มม.	2,722.50	2,675.07	2,764.08	2,720.55
แรงอัดสูงสุด (F _{ult})		กก.	6,674	6,194	6,940	6,602.67
หน่วยแรงอัดสูงสุด (σ_{ult}) = F _{ult} / A		กก./ตร.ซม.	245	232	251	243
น้ำหนักของไม้ตัวอย่างก่อนอบแห้ง (m)		กรัม	27.20	20.50	32.60	26.77
น้ำหนักของไม้ตัวอย่างหลังอบแห้ง (m _o)		กรัม	25.20	18.49	29.10	24.26
ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ (MC)		ร้อยละ	7.94	10.87	12.03	10.28



ภาพที่ 4.3 ลักษณะการวิบัติของข้อต่อแบบกรวยไม่มีสลักเกลียว

จากตารางที่ 4.3 พบว่าความสามารถในการรับแรงอัดของข้อต่อแบบกรวยแบบไม่มีสลักเกลียวมีหน่วยแรงอัดสูงสุดเฉลี่ย 243 กก./ตร.ซม. เนื่องจากเมื่อมีแรงมากระทำลำไผ่จะกดอัดเข้าไปในข้อต่อกรวยจนเนื้อไผ่ภายในข้อต่อกรวยอัดแน่น ทำให้สามารถรับแรงได้มาก โดยมีลักษณะการวิบัติบริเวณลำไผ่ด้านบนใกล้กับพื้นที่ที่มีแรงมากระทำ เป็นการวิบัติแบบ crushing ดังที่แสดงในภาพที่ 4.3

ตารางที่ 4.4

ผลการทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดของข้อต่อแบบกรวยมีสลักเกลียว

รายละเอียด		หน่วย	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	เฉลี่ย
ขนาดของไม้ตัวอย่าง	เส้นผ่านศูนย์กลาง ภายนอก	มม.	80.60	80.30	80.20	80.25
	ความหนา	มม.	12.50	12.60	12.00	12.30
	ความยาว	มม.	260	260	260	260
พื้นที่ (A) = $\pi/4 (D^2 - (D-2t)^2)$		ตร.มม.	2,675.38	2,680.92	2,572.11	2,628.01
แรงอัดสูงสุด (Fult)		กก.	1,140	2,257	2,460	2,358.50
หน่วยแรงอัดสูงสุด (σ_{ult}) = F_{ult}/A		กก./ตร.ซม.	43	84	96	90
น้ำหนักของไม้ตัวอย่างก่อนอบแห้ง (m)		กรัม	25.20	18.60	25.50	22.05
น้ำหนักของไม้ตัวอย่างหลังอบแห้ง (m ₀)		กรัม	26.20	16.70	22.80	19.75
ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ (MC)		ร้อยละ	12.59	11.38	11.84	11.61



ภาพที่ 4.4 ลักษณะการวิบัติของข้อต่อแบบกรวยมีสลักเกลียว

จากตารางที่ 4.4 พบว่าความสามารถในการรับแรงอัดของข้อต่อแบบกรวยมีสลักเกลียวมีหน่วยแรงอัดสูงสุดเฉลี่ยเพียง 90 กก./ตร.ซม. ซึ่งแรงอัดที่ได้นั้นน้อยกว่าข้อต่อแบบกรวยไม่มีสลักเกลียวถึง 2.7 เท่า โดยการวิบัติเกิดขึ้นบริเวณที่มีการเชื่อมต่อข้อต่อกับลำไผ่ด้วยสลักเกลียว ทำให้ลำไผ่เกิดการฉีกขาดเนื่องจากหน่วยแรงเฉือนขนานเส้นใย เป็นการวิบัติแบบ splitting และสลักเกลียวมีการเสีรูบเนื่องจากแรงกดของลำไผ่ที่พยายามดันเข้าไปในข้อต่อดังที่แสดงในภาพที่ 4.4

ตารางที่ 4.5

ผลการทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดของข้อต่อแบบแผ่นเหล็ก

รายละเอียด		หน่วย	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	เฉลี่ย
ขนาดของไม้ตัวอย่าง	เส้นผ่านศูนย์กลาง ภายนอก	มม.	81.90	80.70	80.30	80.97
	ความหนา	มม.	12.50	15.10	13.10	14.43
	ความยาว	มม.	260	260	260	260
พื้นที่ (A) = $\pi/4 (D^2 - (D-2t)^2)$		ตร.มม.	2,726.43	3,113.19	2,766.72	2,868.78
แรงอัดสูงสุด (F _{ult})		กก.	582.01	698.55	584.77	622.44
หน่วยแรงอัดสูงสุด (σ_{ult}) = F _{ult} / A		กก./ตร.ซม.	21	22	21	21
น้ำหนักของไม้ตัวอย่างก่อนอบแห้ง (m)		กรัม	18.80	20.50	10.30	16.53
น้ำหนักของไม้ตัวอย่างหลังอบแห้ง (m ₀)		กรัม	14.80	19.00	9.30	14.37
ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ (MC)		ร้อยละ	27	7.90	10.75	15.22



ภาพที่ 4.5 ลักษณะการวิบัติของข้อต่อแบบแผ่นเหล็ก

จากตารางที่ 4.5 ทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดของข้อต่อแบบแผ่นเหล็ก พบว่าวัสดุไม่เกิดการวิบัติแบบ splitting อย่างรวดเร็วด้วยหน่วยแรงเฉือนขนานเสี้ยนเนื่องจากการเจาะรูเพื่อใส่สลักเกลียวที่เจาะอยู่ในแนวระนาบเดียวกันทำให้ความสามารถในการรับแรงของวัสดุไผ่ลดลง และสลักเกลียวมีการโก่งงอและหักเนื่องมาจากแรงกดจากไผ่ดังแสดงในภาพที่ 4.5 โดยที่ข้อต่อแบบแผ่นเหล็กนี้สามารถรับแรงอัดเฉลี่ยได้เพียง 21 กก./ตร.ซม. ซึ่งรับแรงได้น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับข้อต่อชนิดอื่น

ตารางที่ 4.6

ผลการทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดของข้อต่อแบบแผ่นเหล็กตัวที่

รายละเอียด		หน่วย	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	เฉลี่ย
ขนาดของไม้ตัวอย่าง	เส้นผ่านศูนย์กลาง ภายนอก	มม.	85.50	88.90	82.80	85.73
	ความหนา	มม.	11.50	12.10	11.60	11.73
	ความยาว	มม.	260	260	260	260
พื้นที่ (A) = $\pi/4 (D^2 - (D-2t)^2)$		ตร.มม.	2,680.83	2,921.70	2,606.66	2,736.40
แรงอัดสูงสุด (F _{ult})		กก.	2,471.15	3,537.00	3,201.03	3,069.73
หน่วยแรงอัดสูงสุด (σ_{ult}) = F _{ult} / A		กก./ตร.ซม.	92	121	123	112
น้ำหนักของไม้ตัวอย่างก่อนอบแห้ง (m)		กรัม	10.47	12.29	9.28	10.68
น้ำหนักของไม้ตัวอย่างหลังอบแห้ง (m ₀)		กรัม	9.28	10.83	8.19	9.61
ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ (MC)		ร้อยละ	12.82	13.48	13.31	11.13



ภาพที่ 4.6 ลักษณะการวิบัติของข้อต่อแบบแผ่นเหล็กตัวที่

จากตารางที่ 4.6 พบว่าข้อต่อแบบแผ่นเหล็กตัวที่มีหน่วยแรงอัดสูงสุดเฉลี่ย 112 กก./ตร.ซม. โดยเกิดการวิบัติแบบ Bending ที่บริเวณข้อต่อเหล็ก และเกิดการวิบัติแบบ splitting ที่บริเวณลำไม้ท่อนล่างเนื่องจากหน่วยแรงเฉือนขนานเส้นระหว่างสลักเกลียวและไม้ ดังแสดงในภาพที่ 4.6

ตารางที่ 4.7

ผลการทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดของข้อต่อแบบต่างๆ

รายละเอียด		หน่วย	ข้อต่อ แบบท่อ	ข้อต่อ แบบกรวย ไม่มีสลัก เกลียว	ข้อต่อ แบบกรวย มีสลัก เกลียว	ข้อต่อ แบบแผ่น เหล็ก	ข้อต่อ แบบแผ่น เหล็กตัวที
ขนาดของไม้ ตัวอย่าง	เส้นผ่านศูนย์กลาง ภายนอก	มม.	89.27	81.90	80.25	80.97	85.73
	ความหนา	มม.	13.87	12.47	12.30	14.43	11.76
	ความยาว	มม.	260	260	260	260	260
พื้นที่ (A) = $\pi/4 (D^2 - (D-2t)^2)$		ตร.มม.	3,286.80	2,720.55	2,628.01	2,868.78	2,736.40
แรงอัดสูงสุด (F _{ult})		กก.	1,963.33	6,602.67	2,358.50	622.44	3,069.73
หน่วยแรงอัดสูงสุด (σ_{ult}) = F _{ult} / A		กก./ตร. ซม.	60	243	90	21	112
น้ำหนักของไม้ตัวอย่างก่อนอบแห้ง (m)		กรัม	33.70	26.77	22.05	16.53	10.68
น้ำหนักของไม้ตัวอย่างหลังอบแห้ง (m ₀)		กรัม	30.13	24.26	19.75	14.37	9.61
ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ (MC)		ร้อยละ	12.36	10.28	11.61	15.22	11.13

จากการทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดของข้อต่อแบบต่างๆ ตามตารางที่ 4.7 พบว่าข้อต่อแบบกรวยที่ไม่มีสลักเกลียวสามารถรับแรงอัดได้มากที่สุด มีแรงอัดสูงสุด 6,602.67 กก. และหน่วยแรงอัดสูงสุด 243 กก./ตร.ซม. โดยลักษณะการวิบัติเป็นการวิบัติแบบ crushing เกิดขึ้นบริเวณปลายลำไม้ ในขณะที่ข้อต่อแบบแผ่นเหล็กสามารถรับแรงอัดได้น้อยที่สุด มีแรงอัดสูงสุดเพียง 622.44 กก. และหน่วยแรงอัดสูงสุด 21 กก./ตร.ซม. มีลักษณะการวิบัติเนื่องจากหน่วยแรงเฉือนขนานเส้นที่บริเวณจุดที่มีการเชื่อมต่อกับสลักเกลียว ซึ่งเมื่อพิจารณาลักษณะการวิบัติของข้อต่อทั้งหมดพบว่าลักษณะการวิบัติของข้อต่อทั้งหมดเกิดขึ้นบริเวณจุดที่มีการเชื่อมต่อกับสลักเกลียว

เนื่องจากการใช้สลักเกลียวทำให้วัสดุไม้ได้รับความเสียหายเนื่องจากหน่วยแรงเฉือนขนานเส้นที่ เกิดขึ้นระหว่างสลักเกลียวและวัสดุไม้ โดยความสามารถในการรับแรงอัดจะแปรผกผันกับจำนวนสลัก เกลียว กล่าวคือ ถ้ามีการใช้สลักเกลียวมาก ก็จะทำให้ความสามารถในการรับแรงอัดของลำไม้ลดลง มากขึ้นตามไปด้วย

เมื่อนำผลการทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดของข้อต่อแบบต่างๆ มา เปรียบเทียบกับความสามารถในการรับแรงอัดของไม้ไม้แล้วพบว่าปริมาณแรงอัดที่ได้นั้นมีค่าน้อยกว่า มากเนื่องจากการใช้สลักเกลียว ทำให้วัสดุไม้เสียความสามารถในการรับแรง จึงได้นำอีพ็อกซีเข้ามา ช่วยเป็นตัวประสานระหว่างวัสดุไม้กับข้อต่อเพื่อเพิ่มกำลังในการรับแรงของข้อต่อ โดยการใส่อีพ็อกซี นั้นแบ่งเป็น การใส่อีพ็อกซีเพียงอย่างเดียว ใส่อีพ็อกซีและใช้สลักเกลียว ใส่อีพ็อกซีผสมทรายหยาบ เบอร์ 50 อัตราส่วน และ 1:2 ใส่อีพ็อกซีผสมทรายหยาบและใช้สลักเกลียว เนื่องจากไม้มีผิวที่มี ลักษณะลื่นทำให้การยึดจับระหว่างอีพ็อกซีกับเนื้อไม้ทำได้ยาก เมื่อมีการใช้สลักเกลียวเข้ามาช่วยทำ ให้สามารถลดแรงเฉือนที่เกิดขึ้นระหว่างผิวอีพ็อกซีกับผิวของลำไม้ได้ นอกจากนี้การทำผิวไม้ให้มี ความขรุขระโดยการขูดผิวไม้ด้านนอกออกหรือการผสมทรายหยาบเข้ากับอีพ็อกซีจะสามารถทำให้ การยึดเกาะระหว่างลำไม้กับอีพ็อกซีทำได้ดีขึ้น

ตารางที่ 4.8

ผลการทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดของข้อต่อแบบท่อโดยมีการใส่ฮีฟ็อกซี

รายละเอียด		หน่วย	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	เฉลี่ย
ขนาดของไม้ ตัวอย่าง	เส้นผ่านศูนย์กลาง ภายนอก	มม.	85.10	84.40	83.80	84.43
	ความหนา	มม.	10.97	11.52	11.11	11.20
	ความยาว	มม.	260	260	260	260
พื้นที่ (A) = $\pi/4 (D^2 - (D-2t)^2)$		ตร.มม.	2,557.52	2,639.06	2,540.59	2,579.06
พื้นที่ผิวสัมผัสฮีฟ็อกซี		ตร.มม.	26,760.09	26,527.61	26,357.96	26,546.46
แรงอัดสูงสุด (Fult)		กก.	1,889.52	1,760.03	1,794.37	1,814.64
หน่วยแรงอัดสูงสุด (σ_{ult}) = F_{ult} / A		กก./ตร.ซม.	74	67	71	70
น้ำหนักของไม้ตัวอย่างก่อนอบแห้ง (m)		กรัม	54.28	52.62	53.00	53.30
น้ำหนักของไม้ตัวอย่างหลังอบแห้ง (m ₀)		กรัม	48.30	46.90	47.60	47.60
ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ (MC)		ร้อยละ	12.38	12.20	11.34	11.97



ภาพที่ 4.7 ลักษณะการวิบัติของข้อต่อแบบท่อโดยมีการใส่ฮีฟ็อกซี

จากตารางที่ 4.8 พบว่าข้อต่อแบบท่อโดยมีการใส่ฮีฟอกซี โดยฮีฟอกซีมีความหนา 0.5 ซม. ระยะสัมผัสระหว่างข้อต่อกับไม้ไผ่ยาว 10 ซม. มีหน่วยแรงอัดสูงสุดเฉลี่ย 70 กก./ตร.ซม. ซึ่งมีความมากกว่าข้อต่อแบบท่อที่ไม่ใส่ฮีฟอกซีประมาณร้อยละ 16.67 โดยการวิบัติเกิดจากแรงเฉือนที่เกิดขึ้นระหว่างฮีฟอกซีและวัสดุไม้ เนื่องจากผิวของไม้มีความมันและลื่นทำให้การยึดเกาะกับฮีฟอกซีทำได้ยาก เมื่อไม้หลุดจากฮีฟอกซีไปได้ระยะหนึ่งจนถึงบริเวณข้อไม้ ไม้จะเกิดการบีบอัดเข้าไปในข้อต่อเหล็กจนเริ่มมีรอยแตกทำให้วัสดุไม้เสียความสามารถในการรับแรง

ตารางที่ 4.9

ผลการทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดของข้อต่อแบบท่อโดยมีการใส่ฮีฟอกซีและสลักเกลียว

รายละเอียด		หน่วย	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	เฉลี่ย
ขนาดของไม้ ตัวอย่าง	เส้นผ่านศูนย์กลาง	มม.	83.40	84.60	84.50	84.19
	ภายนอก					
	ความหนา	มม.	11.32	11.16	11.48	11.32
	ความยาว	มม.	260	260	260	260
พื้นที่ (A) = $\pi/4 (D^2 - (D-2t)^2)$		ตร.มม.	2,563.37	2,577.62	2,634.22	2,649.56
พื้นที่ผิวสัมผัสฮีฟอกซี		ตร.มม.	13,100.44	13,301.50	13,276.37	13,226.11
แรงอัดสูงสุด (F _{ult})		กก.	4,096.83	4,270.48	3,964.97	4,110.76
หน่วยแรงอัดสูงสุด (σ_{ult}) = F _{ult} / A		กก./ตร.ซม.	159	166	151	155
น้ำหนักของไม้ตัวอย่างก่อนอบแห้ง (m)		กรัม	30.69	29.17	28.94	29.60
น้ำหนักของไม้ตัวอย่างหลังอบแห้ง (m ₀)		กรัม	27.40	25.80	26.10	26.43
ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ (MC)		ร้อยละ	12.01	13.06	10.88	11.98



ภาพที่ 4.8 ลักษณะการวิบัติของข้อต่อแบบท่อโดยมีการใส่ฮีฟ็อกซีและสลักเกลียว

จากตารางที่ 4.9 พบว่าข้อต่อแบบท่อโดยมีการใส่ฮีฟ็อกซีและสลักเกลียว โดยฮีฟ็อกซีที่มีความหนา 0.5 ซม. ระยะสัมผัสระหว่างข้อต่อกับไม้ไผ่ยาว 10 ซม. มีหน่วยแรงอัดสูงสุดเฉลี่ย 155 กก./ตร.ซม. ซึ่งมากกว่าข้อต่อแบบท่อที่ไม่ใส่ฮีฟ็อกซี 1.58 เท่า และมากกว่าข้อต่อแบบท่อที่ใส่ฮีฟ็อกซีเพียงอย่างเดียว 1.21 เท่า โดยการวิบัติของข้อต่อนี้เกิดจากหน่วยแรงเฉือนขนานเส้นระหว่างวัสดุไผ่กับสลักเกลียว และแรงเฉือนระหว่างฮีฟ็อกซีกับวัสดุไฟที่มีความลื่นทำให้การยึดเกาะระหว่างพื้นผิวทำได้ยาก

ตารางที่ 4.10

ผลการทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดของข้อต่อแบบท่อโดยมีการใส่ฮีฟ็อกซีผสมทรายหยาบและสลักเกลียว (1)

รายละเอียด		หน่วย	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	เฉลี่ย
ขนาดของไม้ตัวอย่าง	เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก	มม.	81.60	84.30	82.90	82.93
	ความหนา	มม.	12.30	11.90	12.10	12.10
	ความยาว	มม.	260	260	260	260
พื้นที่ (A) = $\pi/4 (D^2 - (D-2t)^2)$		ตร.มม.	2,677.86	2,706.67	2,691.34	2,691.96
พื้นที่ผิวสัมผัสฮีฟ็อกซี		ตร.มม.	12,817.69	13,241.81	13,021.90	13,027.13
แรงอัดสูงสุด (F _{ult})		กก.	7,344.2	7611.80	7,696.40	7,550.80
หน่วยแรงอัดสูงสุด (σ_{ult}) = F _{ult} / A		กก./ตร.ซม.	274.26	281.22	285.97	280.48
น้ำหนักของไม้ตัวอย่างก่อนอบแห้ง (m)		กรัม	47.30	40.50	42.60	43.47
น้ำหนักของไม้ตัวอย่างหลังอบแห้ง (m ₀)		กรัม	42.10	36.40	38.10	38.87
ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ (MC)		ร้อยละ	12.35	11.26	11.81	11.81



ภาพที่ 4.9 ลักษณะการวิบัติของข้อต่อแบบท่อโดยมีการใส่ฮีฟ็อกซีผสมทรายหยาบและสลักเกลียว

จากตารางที่ 4.10 พบว่าข้อต่อแบบท่อโดยมีการใส่ฮีฟ็อกซี่ผสมทรายหยาบเบอร์ 50 ในอัตราส่วน 1:2 และใส่สลักเกลียว เพิ่มขึ้นร้อยละ 81 จากข้อต่อแบบท่อใส่ฮีฟ็อกซี่และสลักเกลียว เพียงอย่างเดียว โดยการวิบัติเกิดขึ้นที่ลำไผ่ด้านล่างเนื่องจากแรงกดของไผ่ลำบนและข้อต่อเหล็กทำให้ ชิ้นส่วนไผ่ด้านล่างแตกที่หน่วยแรงอัดสูงสุดเฉลี่ย 280.48 กก./ตร.ซม. หลังจากนั้นได้ทำการทดสอบ กำลังรับแรงอัดต่อจนถึงจุดวิบัติของข้อต่อเพื่อหากำลังรับแรงสูงสุดที่ข้อต่อสามารถรับได้ ดังแสดงใน ตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11

ผลการทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดของข้อต่อแบบท่อโดยมีการใส่ฮีฟ็อกซี่ผสมทรายหยาบ และสลักเกลียว (2)

รายละเอียด		หน่วย	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	เฉลี่ย
ขนาดของไม้ ตัวอย่าง	เส้นผ่านศูนย์กลาง ภายนอก	มม.	81.60	84.30	82.90	82.93
	ความหนา	มม.	12.30	11.90	12.10	12.10
	ความยาว	มม.	260	260	260	260
พื้นที่ (A) = $\pi/4 (D^2 - (D-2t)^2)$		ตร.มม.	2,677.86	2,706.67	2,691.34	2,691.96
พื้นที่ผิวสัมผัสฮีฟ็อกซี่		ตร.มม.	12,817.69	13,241.81	13,021.90	13,027.13
แรงอัดสูงสุด (F _{ult})		กก.	11,909.40	12,178.20	12,030.10	12,039.23
หน่วยแรงอัดสูงสุด (σ_{ult}) = F _{ult} / A		กก./ตร.ซม.	444.74	449.93	446.99	447.22
น้ำหนักของไม้ตัวอย่างก่อนอบแห้ง (m)		กรัม	47.30	40.50	42.60	43.47
น้ำหนักของไม้ตัวอย่างหลังอบแห้ง (m ₀)		กรัม	42.10	36.40	38.10	38.87
ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ (MC)		ร้อยละ	12.35	11.26	11.81	11.81



ภาพที่ 4.10 ลักษณะการวิบัติของข้อต่อแบบท่อโดยมีการใส่ฮีฟ็อกซีผสมทรายหยาบและสลักเกลียว

จากตารางที่ 4.11 เป็นการทดสอบกำลังรับแรงอัดของข้อต่อแบบท่อเนื่องจากการทดสอบในตารางที่ 4.10 เพื่อหาหน่วยแรงอัดสูงสุดของข้อต่อแบบท่อที่สามารถรับได้จนกระทั่งข้อต่อเหล็กวิบัติ พบว่าหน่วยแรงอัดสูงสุดเฉลี่ยของข้อต่อแบบท่อที่มีการใส่ฮีฟ็อกซีผสมทรายหยาบเฉลี่ยเท่ากับ 447.22 กก./ตร.ซม. ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับหน่วยแรงอัดสูงสุดของไผ่ลำเดี่ยว โดยการวิบัติเกิดจากการที่แรงกดของชิ้นส่วนข้อต่อส่วนบนที่มากดทับชิ้นส่วนด้านล่างจนเสียรูป ดังแสดงในภาพที่ 4.10

ตารางที่ 4.12

ผลการทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดของข้อต่อแบบกรวยโดยมีการใส่ฮีฟ็อกซี

รายละเอียด		หน่วย	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	เฉลี่ย
ขนาดของไม้ ตัวอย่าง	เส้นผ่านศูนย์กลาง ภายใน	มม.	65.40	66.90	67.10	66.47
	ความหนา	มม.	11.40	11.50	11.70	11.53
	ความยาว	มม.	260	260	260	260
พื้นที่ (A) = $\pi/4 (D^2 - (D-2t)^2)$		ตร.มม.	1,933.96	2,001.51	2,036.32	1,990.59
พื้นที่ผิวสัมผัสฮีฟ็อกซี		ตร.มม.	15,409.51	15,762.94	15,810.06	15,660.84
แรงอัดสูงสุด (Fult)		กก.	3,014.85	2,849.83	3,229.33	3,031.34
หน่วยแรงอัดสูงสุด (σ_{ult}) = F_{ult}/A		กก./ตร.ซม.	156	142	158	152
น้ำหนักของไม้ตัวอย่างก่อนอบแห้ง (m)		กรัม	25.90	27.20	26.20	26.43
น้ำหนักของไม้ตัวอย่างหลังอบแห้ง (m ₀)		กรัม	21.90	24.10	23.00	23.00
ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ (MC)		ร้อยละ	13.69	12.86	13.91	13.49

จากตารางที่ 4.12 พบว่าข้อต่อแบบกรวยไม้มีสลักเกลียวใส่ฮีฟ็อกซี โดยฮีฟ็อกซีมีความหนา 0.5 ซม. ระยะสัมผัสระหว่างข้อต่อกับไม้ไผ่ยาว 15 ซม. มีหน่วยแรงอัดสูงสุดเฉลี่ย 152 กก./ตร.ซม. ลดลง 0.37 เท่าของข้อต่อแบบกรวยไม้สลักเกลียวที่ไม่ใส่ฮีฟ็อกซี ซึ่งเกิดจากการวิบัติของลำไผ่ที่กดอัดลงมายังข้อต่อเกิดการแตกร้าวด้วยกำลังต้านทานแรงอัดของฮีฟ็อกซีที่อัดแน่นอยู่ภายในข้อต่อ

ตารางที่ 4.13

ผลการทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดของข้อต่อแบบกรวยมีสลักเกลียวโดยมีการใส่ฮีฟ็อกซี

รายละเอียด		หน่วย	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	เฉลี่ย
ขนาดของไม้ ตัวอย่าง	เส้นผ่านศูนย์กลาง ภายนอก	มม.	66.40	65.30	66.20	65.97
	ความหนา	มม.	11.60	11.50	10.80	11.30
	ความยาว	มม.	260	260	260	260
พื้นที่ (A) = $\pi/4 (D^2 - (D-2t)^2)$		ตร.มม.	1,997.05	1,943.70	1,879.68	1,940.14
พื้นที่ผิวสัมผัสฮีฟ็อกซี		ตร.มม.	15,645.13	15,385.95	15,598.01	15,541.46
แรงอัดสูงสุด (Fult)		กก.	2,893.77	2,975.60	2,746.76	2,872.04
หน่วยแรงอัดสูงสุด (σ_{ult}) = F_{ult}/A		กก./ตร.ซม.	145	153	146	148
น้ำหนักของไม้ตัวอย่างก่อนอบแห้ง (m)		กรัม	24.90	23.73	25.28	24.64
น้ำหนักของไม้ตัวอย่างหลังอบแห้ง (m ₀)		กรัม	22.10	21.20	22.38	21.89
ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ (MC)		ร้อยละ	12.67	11.93	12.95	12.52

จากตารางที่ 4.13 พบว่าข้อต่อแบบกรวยมีสลักเกลียวซึ่งมีการใส่ฮีฟ็อกซีมีหน่วยแรงอัดสูงสุดเฉลี่ย 148 กก./ตร.ซม. ซึ่งเพิ่มขึ้นจากเดิม 0.64 เท่า การวิบัติเกิดขึ้นบริเวณที่มีการเชื่อมต่อกับสลักเกลียว เมื่อมีแรงกดมากกระทำที่ใฝ่ทำให้ใฝ่พยายามจะดันตัวลงไปภายในข้อต่อ แต่เนื่องจากมีสลักเกลียวเป็นตัวยึดใฝ่อยู่ดังนั้นแรงที่มากกระทำที่ใฝ่จึงถูกถ่ายมายังสลักเกลียวทำให้สลักเกลียวงอและขาดก่อนที่ใฝ่จะดันตัวเองลงไปอัดแน่นภายในข้อต่อ

ตารางที่ 4.14

ผลการทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดของข้อต่อแบบแผ่นเหล็กโดยมีการใส่ฮีฟ็อกซี

รายละเอียด		หน่วย	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	เฉลี่ย
ขนาดของไม้ ตัวอย่าง	เส้นผ่านศูนย์กลาง ภายนอก	มม.	80.90	81.70	80.53	81.04
	ความหนา	มม.	13.20	12.14	12.31	12.55
	ความยาว	มม.	260	260	260	260
พื้นที่ (A) = $\pi/4 (D^2 - (D-2t)^2)$		ตร.มม.	2,807.45	2,652.94	2,638.66	2,699.68
พื้นที่ผิวสัมผัสฮีฟ็อกซี		ตร.มม.	17,787.69	18,039.03	17,561.50	17,796.07
แรงอัดสูงสุด (Fult)		กก.	1,028.55	1,158.95	1,074.87	1,087.46
หน่วยแรงอัดสูงสุด (σ_{ult}) = F_{ult}/A		กก./ตร.ซม.	37	44	41	41
น้ำหนักของไม้ตัวอย่างก่อนอบแห้ง (m)		กรัม	16.80	17.25	15.73	16.59
น้ำหนักของไม้ตัวอย่างหลังอบแห้ง (m ₀)		กรัม	14.97	15.45	14.22	14.88
ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ (MC)		ร้อยละ	12.75	11.65	10.62	11.67

จากตารางที่ 4.14 ทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดของข้อต่อแบบแผ่นเหล็ก โดยมีการใส่ฮีฟ็อกซีพบว่าข้อต่อสามารถรับแรงอัดได้มากขึ้น โดยมีหน่วยแรงอัดสูงสุดเฉลี่ย 41 กก./ตร.ซม. ซึ่งเพิ่มขึ้น 0.95 เท่าจากข้อต่อแบบแผ่นเหล็กที่ไม่มีการใส่ฮีฟ็อกซี การวิบัติเกิดจากการที่แรงกดมายังไม้แล้วไม้หลุดออกจากฮีฟ็อกซีเนื่องจากแรงเฉือนและความลื่นของเนื้อไม้ทำให้การยึดเกาะระหว่างไม้กับฮีฟ็อกซีทำได้ยาก

ตารางที่ 4.15

ผลการทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดของข้อต่อแผ่นเหล็กโดยมีการใส่ฮีฟ็อกซีและสลักเกลียว

รายละเอียด		หน่วย	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	เฉลี่ย
ขนาดของไม้ ตัวอย่าง	เส้นผ่านศูนย์กลาง ภายนอก	มม.	81.79	80.58	81.46	81.28
	ความหนา	มม.	12.16	11.90	12.20	12.09
	ความยาว	มม.	260	260	260	260
พื้นที่ (A) = $\pi/4 (D^2 - (D-2t)^2)$		ตร.มม.	2,659.61	2,567.59	2,654.56	2,627.25
พื้นที่ผิวสัมผัสฮีฟ็อกซี		ตร.มม.	18,051.59	17,837.96	17,925.93	17,938.49
แรงอัดสูงสุด (Fult)		กก.	1,823.64	1,775.89	1,966.50	1,855.34
หน่วยแรงอัดสูงสุด (σ_{ult}) = F_{ult}/A		กก./ตร.ซม.	68	69	74	70
น้ำหนักของไม้ตัวอย่างก่อนอบแห้ง (m)		กรัม	15.48	14.93	15.20	15.20
น้ำหนักของไม้ตัวอย่างหลังอบแห้ง (m ₀)		กรัม	13.89	13.27	13.43	13.53
ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ (MC)		ร้อยละ	11.45	12.51	13.18	12.38

จากตารางที่ 4.15 พบว่าข้อต่อแบบแผ่นเหล็กโดยมีการใส่ฮีฟ็อกซีและสลักเกลียวมีหน่วยแรงอัดสูงสุดเพิ่มขึ้นจากการใช้ฮีฟ็อกซีโดยไม่มีสลักเกลียว 2.33 เท่า คือมีแรงอัดสูงสุดเฉลี่ย 70 กก./ตร.ซม. การวิบัติเกิดจากการที่แรงกดมายังไม้แล้วไม้หลุดออกจากฮีฟ็อกซีเนื่องจากแรงเฉือนทำให้สลักเกลียวทำหน้าที่ในการรับแรงอัดแทน จึงเกิดหน่วยแรงเฉือนขนานเพิ่มขึ้นระหว่างวัสดุไม้กับสลักเกลียวจนสลักเกลียวโค้งงอและหักขาดในที่สุด

ตารางที่ 4.16

ผลการทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดของข้อต่อแบบแผ่นเหล็กตัวที่โดยมีการใส่ฮีพ็อกซีและสลักเกลียว

รายละเอียด		หน่วย	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	เฉลี่ย
ขนาดของไม้ ตัวอย่าง	เส้นผ่านศูนย์กลาง ภายนอก	มม.	86.98	85.57	88.24	86.99
	ความหนา	มม.	11.94	11.97	12.18	12.03
	ความยาว	มม.	260	260	260	260
พื้นที่ (A) = $\pi/4 (D^2 - (D-2t)^2)$		ตร.มม.	2,814.79	2,779.38	2,910.41	2,834.86
พื้นที่ผิวสัมผัสฮีพ็อกซี		ตร.มม.	19,823.45	19,459.02	20,068.49	19,783.65
แรงอัดสูงสุด (F _{ult})		กก.	3,541.51	4,553.21	4,121.38	4,072.03
หน่วยแรงอัดสูงสุด (σ_{ult}) = F _{ult} / A		กก./ตร.ซม.	126	164	142	143
น้ำหนักของไม้ตัวอย่างก่อนอบแห้ง (m)		กรัม	14.08	12.59	14.74	13.80
น้ำหนักของไม้ตัวอย่างหลังอบแห้ง (m ₀)		กรัม	12.46	11.30	13.19	12.32
ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ (MC)		ร้อยละ	13.00	11.41	11.75	12.05

จากตารางที่ 4.16 การทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดของข้อต่อแบบแผ่นเหล็กตัวที่โดยมีการใส่ฮีพ็อกซีและสลักเกลียวพบว่า มีหน่วยแรงอัดสูงสุดเฉลี่ย 143 กก./ตร.ซม. เพิ่มขึ้น 0.28 เท่าของข้อต่อแผ่นเหล็กตัวที่ที่ไม่ใส่ฮีพ็อกซี เกิดการวิบัติแบบ bending ที่บริเวณข้อต่อเหล็กเนื่องจากแรงที่กดลงมาจากไผ่ลำบน เกิดการแตกร้าวบริเวณไผ่ลำล่างและไผ่ลำบนที่อยู่เหนือบริเวณที่มีการใส่ฮีพ็อกซีทำให้ไม้เสียรูปและเสียความสามารถในการรับแรง

ตารางที่ 4.17

ผลการทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดของข้อต่อแบบต่างๆ โดยมีการไล่อีพ็อกซี

รายละเอียด		หน่วย	แบบท่อ	แบบท่อมี สลักเกลียว	แบบท่อ+ ทรายหยาบ	แบบกรวย	แบบกรวยมี สลักเกลียว	แบบแผ่น เหล็ก	แผ่นเหล็กมี สลักเกลียว	แผ่นเหล็ก ตัวที่
ขนาดของไม้ ตัวอย่าง	เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก	มม.	84.50	84.20	82.93	66.47	65.97	81.04	81.28	86.99
	ความหนา	มม.	11.20	11.32	12.10	11.53	11.30	12.55	12.09	12.03
	ความยาว	มม.	260	260	260	260	260	260	260	260
พื้นที่ (A) = $\pi/4 (D^2 - (D-2t)^2)$		ตร.มม.	2,579.06	2,649.56	2,691.96	1,990.59	1,940.14	2,699.68	2,627.25	2,834.86
พื้นที่ผิวสัมผัสอีพ็อกซี		ตร.มม.	26,546.46	13,226.11	13,027.13	15,660.84	15,541.46	17,796.07	17,938.49	19,783.65
แรงอัดสูงสุด (F _{ult})		กก.	1,814.64	4,110.76	7,550.80	3,031.34	2,872.04	1,087.46	1,855.34	4,072.03
หน่วยแรงอัดสูงสุด (σ_{ult}) = F _{ult} /A		กก./ตร.ซม.	70	155	280.48	152	148	41	70	143
น้ำหนักของไม้ตัวอย่างก่อนอบแห้ง (m)		กรัม	53.30	29.60	43.47	26.43	24.64	16.59	15.20	13.80
น้ำหนักของไม้ตัวอย่างหลังอบแห้ง (m ₀)		กรัม	47.60	26.43	38.87	23.00	21.89	14.88	13.53	12.32
ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ (MC)		ร้อยละ	11.97	11.98	11.81	13.49	12.52	11.67	12.38	12.05

จากการทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดของข้อต่อประเภทต่างๆ โดยการใส่ อีพ็อกซีเข้าไปเป็นตัวช่วยรับน้ำหนัก ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.17 ปรากฏว่าข้อต่อทุกประเภทมี หน่วยแรงอัดเพิ่มขึ้นจากเดิม โดยข้อต่อแบบท่อใส่ทรายหยาบมีหน่วยแรงอัดสูงสุดมากที่สุด คือ 280.48 กก./ตร.ซม. ในขณะที่ข้อต่อแบบแผ่นเหล็กที่ไม่มีสลักเกลียวมีหน่วยแรงอัดสูงสุดน้อยที่สุด เพียง 41 กก./ตร.ซม. เมื่อพิจารณาแล้วพบว่า การใส่สลักเกลียวเพิ่มเข้าไปในข้อต่อที่มีการใส่อีพ็อกซี จะช่วยในการถ่ายแรงของข้อต่อ เนื่องจากปัญหาเรื่องการยึดเกาะกันระหว่างอีพ็อกซีกับไม้ที่มี ผิวสัมผัสที่ลื่นทำได้ยาก การใส่สลักเกลียวเข้าไปจึงช่วยลดแรงเฉือนระหว่างอีพ็อกซีกับไม้ซึ่งต่างจากการใช้สลักเกลียวในข้อต่อที่ไม่ใส่อีพ็อกซีที่จะทำให้วัสดุไม้เสียรูปเนื่องจากหน่วยแรงเฉือนขนานเส้นใย ที่เกิดขึ้นระหว่างสลักเกลียวกับวัสดุไม้

ตารางที่ 4.18

ผลการทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดของข้อต่อแบบต่างๆ

รายละเอียด		หน่วย	ไม้ใสื่อพ็อกซี่					ใสื่อพ็อกซี่								
			ท่อ	กรวยไม่มี สลักเกลียว	กรวยมีสลัก เกลียว	แผ่นเหล็ก	แผ่นเหล็ก ตัวที่	ท่อ	ท่อมีสลัก เกลียว	ท่อมีสลัก เกลียว+ ทรายหยาบ (1)	ท่อมีสลัก เกลียว+ ทรายหยาบ (2)	กรวย	กรวยมีสลัก เกลียว	แผ่นเหล็ก	แผ่นเหล็กมี สลักเกลียว	แผ่นเหล็ก ตัวที่
ขนาดของไม้ตัวอย่าง	เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก	มม.	89.27	81.9	80.25	80.97	85.78	84.50	84.20	82.93	82.93	66.47	65.97	81.04	81.28	86.99
	ความหนา	มม.	13.87	12.47	12.30	14.43	11.76	11.20	11.32	12.10	12.10	11.53	11.30	12.55	12.09	12.03
	ความยาว	มม.	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260
พื้นที่ (A) = $\pi/4 (D^2 - (D-2t)^2)$		ตร.มม.	3,286.80	2,720.55	2,628.01	2,868.78	2,736.40	2,579.06	2,649.56	2,691.96	2,691.96	1,990.59	1,940.14	2,699.68	2,627.25	2,834.86
พื้นที่ผิวสัมผัสใสื่อพ็อกซี่		ตร.มม.	-	-	-	-	-	26,546.46	13,226.11	13,027.13	13,027.13	15,660.84	15,541.46	17,796.07	17,938.49	19,783.65
แรงอัดสูงสุด (F _{ult})		กก.	1,963.33	6,602.67	2,358.50	622.44	3,069.73	1,814.64	4,110.76	7,550.80	12,039.23	3,031.34	2,872.04	1,087.46	1,855.34	4,072.03
หน่วยแรงอัดสูงสุด (σ_{ult}) = F _{ult} / A		กก./ตร.ซม.	60	243	90	21	112	70	155	280.48	447.22	152	148	41	70	143
น้ำหนักของไม้ตัวอย่างก่อนอบแห้ง (m)		กรัม	33.70	26.77	22.05	16.53	10.68	53.30	29.60	43.47	43.47	26.43	24.64	16.59	15.20	13.80
น้ำหนักของไม้ตัวอย่างหลังอบแห้ง (m ₀)		กรัม	30.13	24.26	19.75	14.37	9.61	47.60	26.43	38.87	38.87	23.00	21.89	14.88	13.53	12.32
ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ (MC)		%	12.36%	10.28%	11.61%	15.22%	11.13%	11.97%	11.98%	11.81%	11.81%	13.49%	12.52%	11.67%	12.38%	12.05%

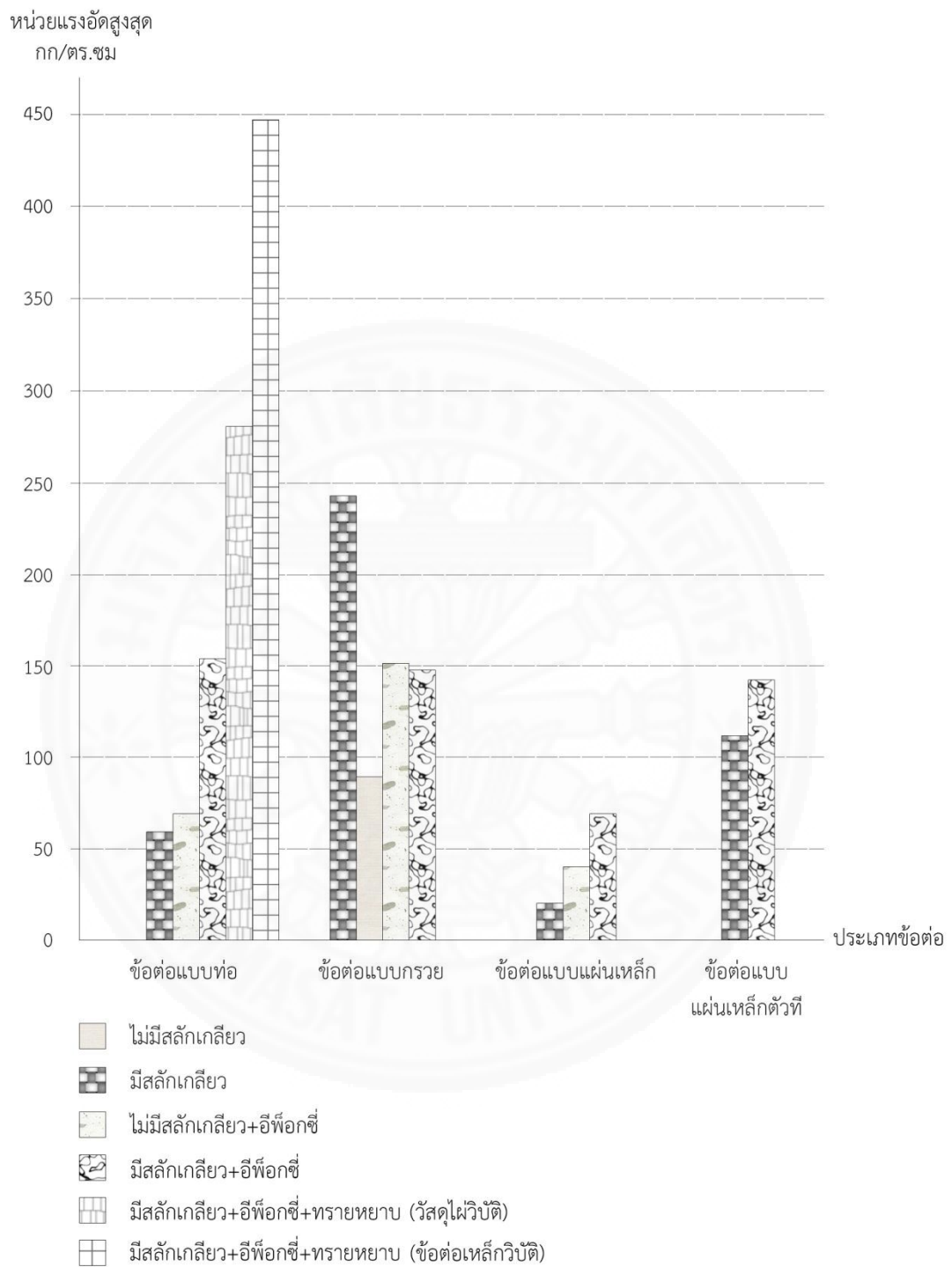
ที่มา: ผู้วิจัย

จากผลการทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดของข้อต่อประเภทต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.18 สามารถสรุปได้ ดังนี้

1. ข้อต่อที่มีหน่วยแรงอัดสูงสุดมากที่สุด 3 ลำดับแรก ได้แก่ ข้อต่อแบบท่อมีสลักเกลียวใส่อีพ็อกซีผสมทรายหยาบ ข้อต่อแบบกรวย ข้อต่อแบบท่อมีสลักเกลียวใส่อีพ็อกซีและมีสลักเกลียว ข้อต่อซึ่งโดยมีหน่วยแรงอัดสูงสุด 280.48 โดยวิบัติที่วัสดุใส่ , 243 และ 155 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ สำหรับข้อต่อแบบท่อมีสลักเกลียวใส่อีพ็อกซีผสมทรายหยาบเมื่อทดสอบต่อไปจนข้อต่อเหล็กวิบัติจะได้หน่วยแรงอัดสูงสุดเพิ่มขึ้นเป็น 447.22 กก./ตร.ซม.

2. เมื่อพิจารณาตามตารางที่ 4.18 แล้วจะพบว่าการใส่อีพ็อกซีเข้าไปในข้อต่อนั้นสามารถทำให้ข้อต่อสามารถรับแรงอัดได้มากขึ้น อีกทั้งการทำผิวใส่ให้มีความขรุขระโดยการลอกผิวด้านนอกของใส่ออกในบริเวณที่จะมีการยึดติดกับอีพ็อกซีและผสมทรายหยาบเข้าไป จะทำให้การยึดเกาะกันระหว่างอีพ็อกซีกับใส่ดีขึ้น ในเรื่องของการใส่สลักเกลียว หากมีการใส่สลักเกลียวกับข้อต่อที่ไมใส่อีพ็อกซี สลักเกลียวจะเป็นตัวทำให้เกิดแรงเฉือนขนานใส่ระหว่างตัวสลักเกลียวกับวัสดุใส่ ทำให้วัสดุใส่เสียรูปและความสามารถในการรับแรงลดลง ในขณะที่การใส่สลักเกลียวกับข้อต่อที่มีการใส่อีพ็อกซี สลักเกลียวจะเป็นตัวช่วยกระจายแรงและลดแรงเฉือนที่จะเกิดขึ้นระหว่างใส่กับอีพ็อกซี ทำให้ข้อต่อสามารถรับแรงอัดได้มากขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 4.11

3. ความสามารถในการรับแรงของข้อต่อแปรผันตามพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างใส่ ข้อต่อและอีพ็อกซี



ภาพที่ 4.11 ความสามารถในการรับแรงอัดของข้อต่อแต่ละประเภท

4.3 ผลการทดสอบความสามารถในการรับแรงดึงของข้อต่อแบบต่างๆ

ผลการทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดนี้ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D198 โดยทดสอบความสามารถในการรับแรงดึงที่ได้จากการประกอบลำไม้ไม่เข้ากับข้อต่อเหล็ก โดยการทดสอบความสามารถในการรับแรงดึงสามารถทดสอบได้เพียงแค่ข้อต่อ 2 ประเภท ได้แก่ ข้อต่อแบบ ท่อ และข้อต่อแบบกรวยเท่านั้นเนื่องจากข้อจำกัดทางเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ ได้ผลการทดสอบ ดังแสดงในตารางที่ 4.19 – ตารางที่ 4.22

ตารางที่ 4.19

ผลการทดสอบความสามารถในการรับแรงดึงของข้อต่อแบบท่อโดยใช้สลักเกลียว

รายละเอียด		หน่วย	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	เฉลี่ย
ขนาดของไม้ ตัวอย่าง	เส้นผ่านศูนย์กลาง ภายใน	มม.	92.38	90.29	94.86	92.51
	ความหนา	มม.	12.37	12.30	12.81	12.49
	ความยาว	มม.	500	500	500	500
พื้นที่ (A) = $\pi/4 (D^2 - (D-2t)^2)$		ตร.มม.	3,109.31	3,014.04	3,302.00	3,141.78
พื้นที่ผิวสัมผัสสี่เหลี่ยม		ตร.มม.	-	-	-	-
แรงดึงสูงสุด (F _{ult})		กก.	833.15	827.17	844.43	834.91
หน่วยแรงดึงสูงสุด (σ_{ult}) = F _{ult} / A		กก./ตร.ซม.	27	27	25	26
น้ำหนักของไม้ตัวอย่างก่อนอบแห้ง (m)		กรัม	65.70	68.20	65.90	66.60
น้ำหนักของไม้ตัวอย่างหลังอบแห้ง (m ₀)		กรัม	58.30	61.10	58.40	59.27
ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ (MC)		ร้อยละ	12.69	11.62	12.84	12.38



ภาพที่ 4.12 ลักษณะการวิบัติของข้อต่อแบบท่อโดยใช้สลักเกลียว

ตารางที่ 4.19 พบว่าข้อต่อแบบท่อที่ใช้สลักเกลียวมีหน่วยแรงดึงสูงสุดเฉลี่ยเพียง 26 กก./ตร.ซม. ซึ่งน้อยกว่าหน่วยแรงอัดถึง 0.57 เท่า การวิบัติเกิดขึ้นบริเวณที่มีการเชื่อมต่อกับสลักเกลียวด้วยหน่วยแรงเฉือนขนานเส้นระหว่างสลักเกลียวและวัสดุไฟ ทำให้ไฟเสียรูปและความสามารถในการรับแรงลดลง และสลักเกลียวมีการหักงอจนขาดเนื่องมาจากการถ่ายแรงของข้อต่อเหล็กมายังสลักเกลียว

ตารางที่ 4.20

ผลการทดสอบความสามารถในการรับแรงดึงของข้อต่อแบบท่อโดยมีการใส่ฮีฟ็อกซี 5 เซนติเมตร

รายละเอียด		หน่วย	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	เฉลี่ย
ขนาดของไม้ ตัวอย่าง	เส้นผ่านศูนย์กลาง ภายนอก	มม.	85.20	87.70	86.60	86.50
	ความหนา	มม.	12.14	12.90	12.76	12.6
	ความยาว	มม.	500	500	500	500
พื้นที่ (A) = $\pi/4 (D^2 - (D-2t)^2)$		ตร.มม.	2,786.43	3,031.38	2,960.00	2,925.94
พื้นที่ผิวสัมผัสฮีฟ็อกซี		ตร.มม.	13,383.18	13,775.88	13,603.10	13,587.39
แรงดึงสูงสุด (F _{ult})		กก.	1,125.20	1,345.17	1,298.65	1,256.34
หน่วยแรงดึงสูงสุด (σ_{ult}) = F _{ult} / A		กก./ตร.ซม.	40	44	44	43
น้ำหนักของไม้ตัวอย่างก่อนอบแห้ง (m)		กรัม	78.6	83.7	82.5	81.6
น้ำหนักของไม้ตัวอย่างหลังอบแห้ง (m ₀)		กรัม	68.6	73.6	73.2	71.8
ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ (MC)		ร้อยละ	14.57	13.72	12.70	13.65



ภาพที่ 4.13 ลักษณะการวิบัติของข้อต่อแบบท่อโดยมีการใส่ฮีฟ็อกซี 5 เซนติเมตร

จากตารางที่ 4.20 พบว่าเมื่อมีการใส่ฮีฟ็อกซี่เข้าไปในข้อต่อเพื่อเป็นตัวประสานระหว่างข้อต่อเหล็กกับไม้ โดยฮีฟ็อกซี่มีความหนา 1 เซนติเมตร ระยะสัมผัสระหว่างข้อต่อเหล็กกับไม้ 5 เซนติเมตร หน่วยแรงดึงสูงสุดเพิ่มขึ้น 0.4 เท่าจากการเชื่อมต่อโดยใช้สลักเกลียว แต่เนื่องจากผิวนอกของไม้มีความมันและลื่นทำให้การยึดเกาะกับฮีฟ็อกซี่ทำได้ไม่ดี เมื่อมีแรงดึงมากระทำที่บริเวณข้อต่อทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างฮีฟ็อกซี่และไม้สูญเสียไปโดยง่าย ไม้จึงหลุดออกจากข้อต่อ

ตารางที่ 4.21

ผลการทดสอบความสามารถในการรับแรงดึงของข้อต่อแบบท่อโดยมีการใส่ฮีฟ็อกซี่ 10 เซนติเมตร

รายละเอียด		หน่วย	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	เฉลี่ย
ขนาดของไม้ ตัวอย่าง	เส้นผ่านศูนย์กลาง ภายนอก	มม.	87.71	86.92	87.80	87.48
	ความหนา	มม.	12.14	11.81	12.00	11.98
	ความยาว	มม.	500	500	500	500
พื้นที่ (A) = $\pi/4 (D^2 - (D-2t)^2)$		ตร.มม.	2,881.77	2,786.75	2,857.59	2,842.04
พื้นที่ผิวสัมผัสฮีฟ็อกซี่		ตร.มม.	27,551.77	27,306.72	27,583.18	27,480.56
แรงดึงสูงสุด (F _{ult})		กก.	2,126.03	1,905.60	2,072.33	2,034.65
หน่วยแรงดึงสูงสุด (σ_{ult}) = F _{ult} / A		กก./ตร.ซม.	74	68	72	71
น้ำหนักของไม้ตัวอย่างก่อนอบแห้ง (m)		กรัม	13.02	14.10	13.66	13.59
น้ำหนักของไม้ตัวอย่างหลังอบแห้ง (m ₀)		กรัม	11.70	12.50	12.30	12.17
ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ (MC)		ร้อยละ	11.28	12.80	11.10	11.73

จากผลการทดสอบแรงดึงจากตารางที่ 4.20 จึงได้ทำการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสสี่พ็อกซี่ระหว่างไม้และข้อต่อเหล็กเป็น 10 เซนติเมตร ปรากฏว่าหน่วยแรงดึงสูงสุดที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย คือเพิ่มขึ้นมาเพียงร้อยละ 39 ของการใส่สี่พ็อกซี่ 5 เซนติเมตร โดยมีหน่วยแรงดึงสูงสุดเฉลี่ย 71 กก./ตร.ซม. ดังแสดงในตารางที่ 4.21 เนื่องจากผิวสัมผัสของไม้ยังมีความลื่นจึงเกิดแรงเฉือนขึ้นระหว่างผิวสัมผัสของไม้กับสี่พ็อกซี่ ทำให้ไม้หลุดออกจากข้อต่อเมื่อมีแรงดึงมากกระทำ

ตารางที่ 4.22

ผลการทดสอบความสามารถในการรับแรงดึงของข้อต่อแบบท่อโดยมีการใส่สี่พ็อกซี่ 10 เซนติเมตร ผลพบกับทรายหยาบเบอร์ 50 ในอัตราส่วน 1:2 และทำผิวไม้ขรุขระ

รายละเอียด		หน่วย	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	เฉลี่ย
ขนาดของไม้ ตัวอย่าง	เส้นผ่านศูนย์กลาง ภายนอก	มม.	88.27	89.46	88.60	88.78
	ความหนา	มม.	12.03	12.70	11.92	12.22
	ความยาว	มม.	500	500	500	500
พื้นที่ (A) = $\pi/4 (D^2 - (D-2t)^2)$		ตร.มม.	2,880.98	3,062.58	2,932.25	2,958.60
พื้นที่ผิวสัมผัสสี่พ็อกซี่		ตร.มม.	27,727.69	28,104.69	27,834.51	27,888.96
แรงดึงสูงสุด (F _{ult})		กก.	4,013.37	4,344.02	4,101.66	4,153.02
หน่วยแรงดึงสูงสุด (σ_{ult}) = F _{ult} / A		กก./ตร.ซม.	139	142	140	140
น้ำหนักของไม้ตัวอย่างก่อนอบแห้ง (m)		กรัม	42.11	39.50	47.02	42.88
น้ำหนักของไม้ตัวอย่างหลังอบแห้ง (m ₀)		กรัม	37.60	35.50	41.60	38.23
ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ (MC)		ร้อยละ	11.99	11.27	13.02	12.09



ภาพที่ 4.14 ลักษณะการวิบัติของข้อต่อแบบท่อโดยมีการใส่ฮีฟ็อกซี่ 10 เซนติเมตร ผสมกับทราย หยาบเบอร์ 50 และทำผิวไม้ขรุขระ

จากผลการทดสอบแรงดึงตามตารางที่ 4.20 - 4.21 จะเห็นว่าพื้นผิวของฮีฟ็อกซี่ และวัสดุไม้มีความลื่นด้วยกันทั้งคู่ ดังนั้นเมื่อนำฮีฟ็อกซี่มาเป็นตัวประสานระหว่างไม้กับข้อต่อเหล็กจึงเกิดแรงเฉือนขึ้นระหว่างไม้และฮีฟ็อกซี่ทำให้ไม้ไม่สามารถยึดติดกับข้อต่อเหล็กได้ ดังนั้นจึงได้นำทราย หยาบเบอร์ 50 มาผสมเข้ากับฮีฟ็อกซี่ในอัตราส่วน 1:2 เพื่อเพิ่มการยึดเกาะระหว่างฮีฟ็อกซี่และไม้ โดยที่บริเวณผิวไม้ก็ได้ทำการลอกผิวที่มันลื่นภายนอกออกเพื่อให้ผิวไม้มีความขรุขระและไม่ลื่นทำให้ การยึดเกาะกับฮีฟ็อกซี่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ซึ่งหน่วยแรงดึงสูงสุดเฉลี่ยเพิ่มขึ้นร้อยละ 97 จากข้อ ต่อแบบใช้ฮีฟ็อกซี่ที่ไม่ผสมทรายหยาบ ดังแสดงในตารางที่ 4.22

ตารางที่ 4.23

ผลการทดสอบความสามารถในการรับแรงดึงของข้อต่อแบบท่อโดยมีการใส่ฮีฟ็อกซี 10 เซนติเมตร ผสมกับทรายหยาบเบอร์ 50 ทำผิวไม้ขรุขระและใส่สลักเกลียว

รายละเอียด		หน่วย	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	เฉลี่ย
ขนาดของไม้ ตัวอย่าง	เส้นผ่านศูนย์กลาง ภายใน	มม.	90.70	90.30	91.10	90.70
	ความหนา	มม.	12.30	11.90	12.10	12.10
	ความยาว	มม.	500	500	500	500
พื้นที่ (A) = $\pi/4 (D^2 - (D-2t)^2)$		ตร.มม.	3,029.50	2,930.98	3,003.05	2,987.84
พื้นที่ผิวสัมผัสฮีฟ็อกซี		ตร.มม.	28,494.25	28,368.58	28,619.91	28,494.25
แรงดึงสูงสุด (F _{ult})		กก.	8,936.30	8,550.80	9,097.40	8,861.50
หน่วยแรงดึงสูงสุด (σ_{ult}) = F _{ult} / A		กก./ตร.ซม.	294.98	291.74	302.94	296.55
น้ำหนักของไม้ตัวอย่างก่อนอบแห้ง		กรัม	62.10	65.80	64.40	64.10
น้ำหนักของไม้ตัวอย่างหลังอบแห้ง		กรัม	55.30	58.70	57.60	57.20
ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ (MC)		ร้อยละ	12.29	12.10	11.81	12.06



ภาพที่ 4.15 ลักษณะการวิบัติของข้อต่อแบบท่อโดยมีการใส่ฮีฟ็อกซี 10 เซนติเมตร ผสมกับทรายหยาบเบอร์ 50 และทำผิวไม้ขรุขระและใส่สลักเกลียว

จากผลการทดสอบแรงดึงของข้อต่อแบบท่อโดยใส่ฮีฟ็อกซี่ผสมทรายหยาบตาม ตารางที่ 4.22 ได้ทำการใส่สลักเกลียวเข้าไปเป็นตัวช่วยรับแรงให้กับข้อต่อ ผลการทดสอบพบว่า ความสามารถในการรับแรงดึงของข้อต่อเพิ่มขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 4.23 โดยมีหน่วยแรงดึงสูงสุด เฉลี่ยเท่ากับ 296.55 กก./ตร.ซม. การวิบัติเกิดจากสลักเกลียวฉีกขาดและวัสดุไม้หลุดออกจากฮีฟ็อกซี่

ตารางที่ 4.24

ผลการทดสอบความสามารถในการรับแรงดึงของข้อต่อแบบกรวยไม่มีสลักเกลียวโดยมีการใส่ฮีฟ็อกซี่ ผลมกับทรายหยาบเบอร์ 50 ในอัตราส่วน 1:2 และทำผิวไม้ขรุขระ

รายละเอียด		หน่วย	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	เฉลี่ย
ขนาดของไม้ ตัวอย่าง	เส้นผ่านศูนย์กลาง ภายนอก	มม.	82.70	84.32	81.47	82.83
	ความหนา	มม.	11.39	12.02	11.55	11.65
	ความยาว	มม.	500	500	500	500
พื้นที่ (A) = $\pi/4 (D^2 - (D-2t)^2)$		ตร.มม.	2,551.67	2,730.19	2,537.44	2,606.43
พื้นที่ผิวสัมผัสฮีฟ็อกซี่		ตร.มม.	19,485.73	19,867.43	19,198.27	19,517.14
แรงดึงสูงสุด (F _{ult})		กก.	688.04	720.81	659.35	689.40
หน่วยแรงดึงสูงสุด (σ_{ult}) = F _{ult} / A		กก./ตร.ซม.	26.96	26.40	25.98	26.47
น้ำหนักของไม้ตัวอย่างก่อนอบแห้ง (m)		กรัม	42.20	49.60	38.10	43.30
น้ำหนักของไม้ตัวอย่างหลังอบแห้ง (m ₀)		กรัม	37.40	43.90	33.2	38.17
ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ (MC)		ร้อยละ	12.83	12.98	14.76	13.52

จากตารางที่ 4.24 พบว่าข้อต่อแบบกรวยไม่มีสลักเกลียวมีหน่วยแรงดึงสูงสุดเฉลี่ยเพียง 26.47 กก./ตร.ซม. ถึงแม้ว่าจะมีการใส่ฮีฟอกซีเป็นตัวช่วยในการรับแรงและชุดผิวไม้ที่มีความลื่นออกหมดแล้วก็ตาม แต่เนื่องจากมีพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างฮีฟอกซีกับข้อต่อเหล็กและใฝ่น้อย อีกทั้งปัจจัยทางด้านรูปทรงของข้อต่อที่เป็นรูปทรงกรวยทำให้ตัวข้อต่อเองไม่มีความสามารถในการรับแรงดึงในขณะที่สามารถรับแรงอัดได้ดี

ตารางที่ 4.25

ผลการทดสอบความสามารถในการรับแรงดึงของข้อต่อแบบกรวยมีสลักเกลียวโดยมีการใส่ฮีฟอกซีผสมกับทรายหยาบเบอร์ 50 ในอัตราส่วน 1:2 และทำผิวไม้ขรุขระ

รายละเอียด		หน่วย	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	เฉลี่ย
ขนาดของไม้ ตัวอย่าง	เส้นผ่านศูนย์กลาง ภายนอก	มม.	86.24	84.90	84.71	85.28
	ความหนา	มม.	12.40	11.57	11.82	11.93
	ความยาว	มม.	500	500	500	500
พื้นที่ (A) = $\pi/4 (D^2 - (D-2t)^2)$		ตร.มม.	2,876.49	2,665.42	2,707.04	2,749.65
พื้นที่ผิวสัมผัสฮีฟอกซี		ตร.มม.	20,319.82	20,004.09	19,961.68	20,095.20
แรงดึงสูงสุด (F _{ult})		กก.	843.77	802.94	811.06	819.26
หน่วยแรงดึงสูงสุด (σ_{ult}) = F _{ult} / A		กก./ตร.ซม.	29.93	30.01	30.02	29.99
น้ำหนักของไม้ตัวอย่างก่อนอบแห้ง (m)		กรัม	63.10	54.80	56.60	58.17
น้ำหนักของไม้ตัวอย่างหลังอบแห้ง (m ₀)		กรัม	55.60	48.70	49.30	51.20
ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ (MC)		ร้อยละ	13.48	12.48	14.81	13.59

จากตารางที่ 4.25 เมื่อมีการใส่ฮีฟ็อกซีผสมทรายหยาบเข้าไปเป็นตัวช่วยรับแรงดึง ในข้อต่อแบบกรวยมีสลักเกลียวพบว่าหน่วยแรงดึงสูงสุดที่ได้คือ 29.99 กก./ตร.ซม. มากกว่าข้อต่อแบบกรวยไม่มีสลักเกลียวที่ใส่ฮีฟ็อกซีเพียงร้อยละ 13.29 ซึ่งถือว่ารับแรงดึงได้น้อยมากเมื่อเทียบกับข้อต่อแบบท่อ โดยการวิบัติเกิดขึ้นจากวัสดุไม้หลุดออกจากข้อต่อเนื่องมาจากแรงดึงและยังเกิดแรงเฉือนขนานเส้นที่บริเวณรอยต่อระหว่างสลักเกลียวกับวัสดุไม้อีกด้วย



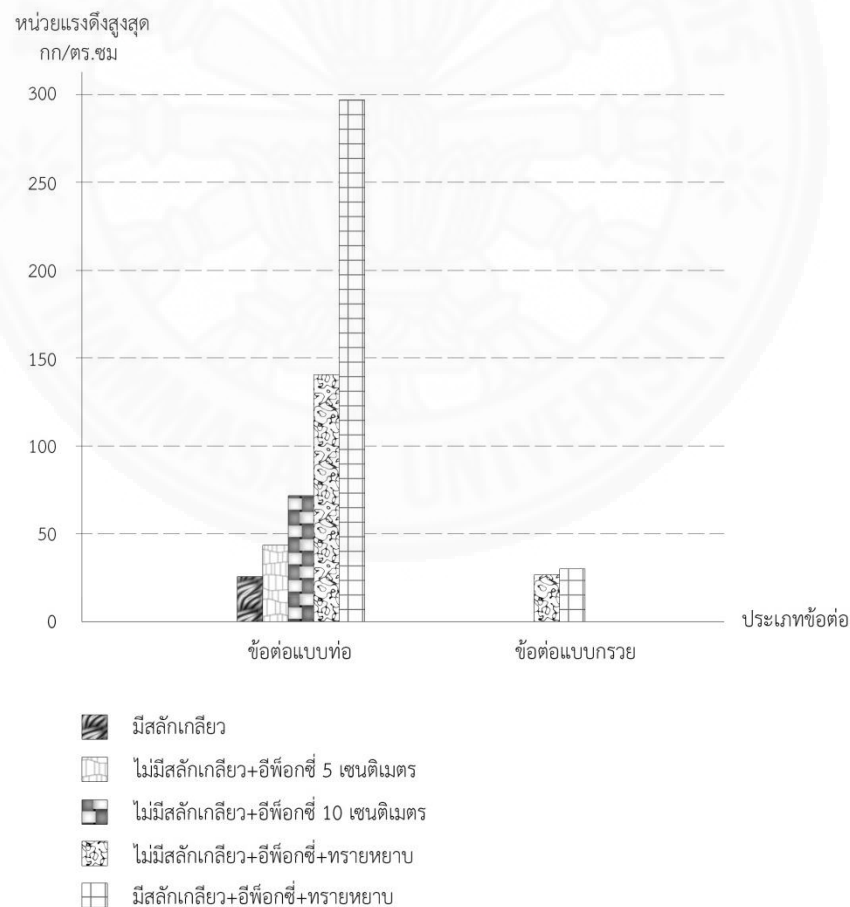
ตารางที่ 4.26

ผลการทดสอบความสามารถในการรับแรงดึงของข้อต่อแบบต่างๆ

รายละเอียด		หน่วย	ข้อต่อแบบท่อ				ข้อต่อแบบกรวย		
			สลักเกลียว	อีพ็อกซี่			อีพ็อกซี่ + ทราฮายาบ		
				5 ซม.	10 ซม.	10 ซม. + ทราฮายาบ	ทราฮายาบ + สลักเกลียว	ไม่มีสลัก เกลียว	มีสลักเกลียว
ขนาดของไม้ตัวอย่าง	เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก	มม.	92.51	86.50	87.48	88.78	90.70	82.83	85.28
	ความหนา	มม.	12.49	12.6	11.98	12.22	12.10	11.65	11.93
	ความยาว	มม.	780	500	500	500	500	500	500
พื้นที่ (A) = $\pi/4 (D^2 - (D-2t)^2)$		ตร.มม.	3,141.78	2,925.94	2,842.04	2,958.60	2,987.84	2,606.43	2,749.65
พื้นที่ผิวสัมผัสอีพ็อกซี่		ตร.มม.	-	13,587.39	27,480.56	27,888.96	28,494.25	19,517.14	20,095.20
แรงดึงสูงสุด (Fult)		กก.	834.91	1,256.34	2,034.65	4,153.02	8,861.50	689.40	819.26
หน่วยแรงดึงสูงสุด (σ_{ult}) = F_{ult}/A		กก./ตร.ซม.	26	43	71	140	296.55	26.47	29.99
น้ำหนักของไม้ตัวอย่างก่อนอบแห้ง (m)		กรัม	66.60	81.6	13.59	42.88	64.10	43.30	58.17
น้ำหนักของไม้ตัวอย่างหลังอบแห้ง (m ₀)		กรัม	59.27	71.8	12.17	38.23	57.20	38.17	51.20
ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ (MC)		ร้อยละ	12.38	13.65	11.73	12.09	12.06	13.52	13.59

จากการทดสอบความสามารถในการรับแรงดึงของข้อต่อพบว่า

1. การใส่ฮีฟ็อกซีเข้าไปในข้อต่อเพื่อเป็นตัวประสานระหว่างข้อต่อเหล็กและไม้ทำให้ความสามารถในการรับแรงดึงดีขึ้นเนื่องจากฮีฟ็อกซีทำหน้าที่เป็นตัวช่วยรับแรงเพิ่มขึ้น แต่เนื่องจากผิวฮีฟ็อกซีและวัสดุไม้มีความลื่น ดังนั้นการผสมทรายหยาบในฮีฟ็อกซีและทำลอกผิวไม้ด้านนอกที่มีความลื่นออกจะช่วยให้ฮีฟ็อกซีและวัสดุไม้ยึดติดกันดีขึ้น
2. ความสามารถในการรับแรงดึงแปรผันตามพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างข้อต่อและวัสดุไม้กับฮีฟ็อกซี
3. สลักเกลียวเมื่อใช้กับข้อต่อโดยที่ไม่มีฮีฟ็อกซีเป็นตัวช่วยรับแรงจะทำให้เกิดแรงเฉือนขนานเสี้ยนขึ้นระหว่างสลักเกลียวและวัสดุไม้ ทำให้ความสามารถในการรับแรงของวัสดุไม้ลดลง แต่เมื่อนำสลักเกลียวมาใช้กับฮีฟ็อกซี สลักเกลียวจะเป็นตัวช่วยฮีฟ็อกซีในการรับแรงทำให้ข้อต่อสามารถรับแรงได้มากขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 4.26 และภาพที่ 4.16

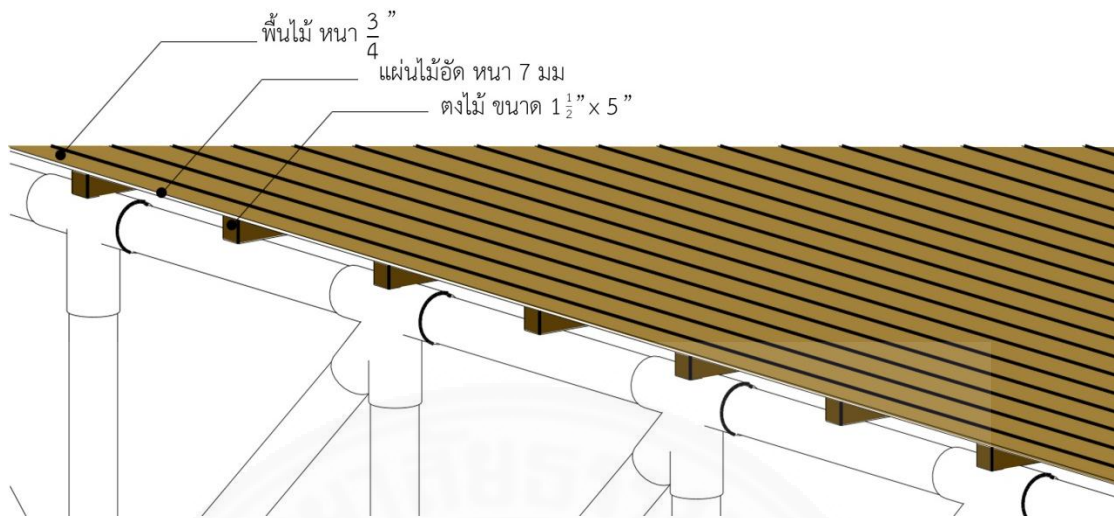


ภาพที่ 4.16 ความสามารถในการรับแรงดึงของข้อต่อแต่ละประเภท

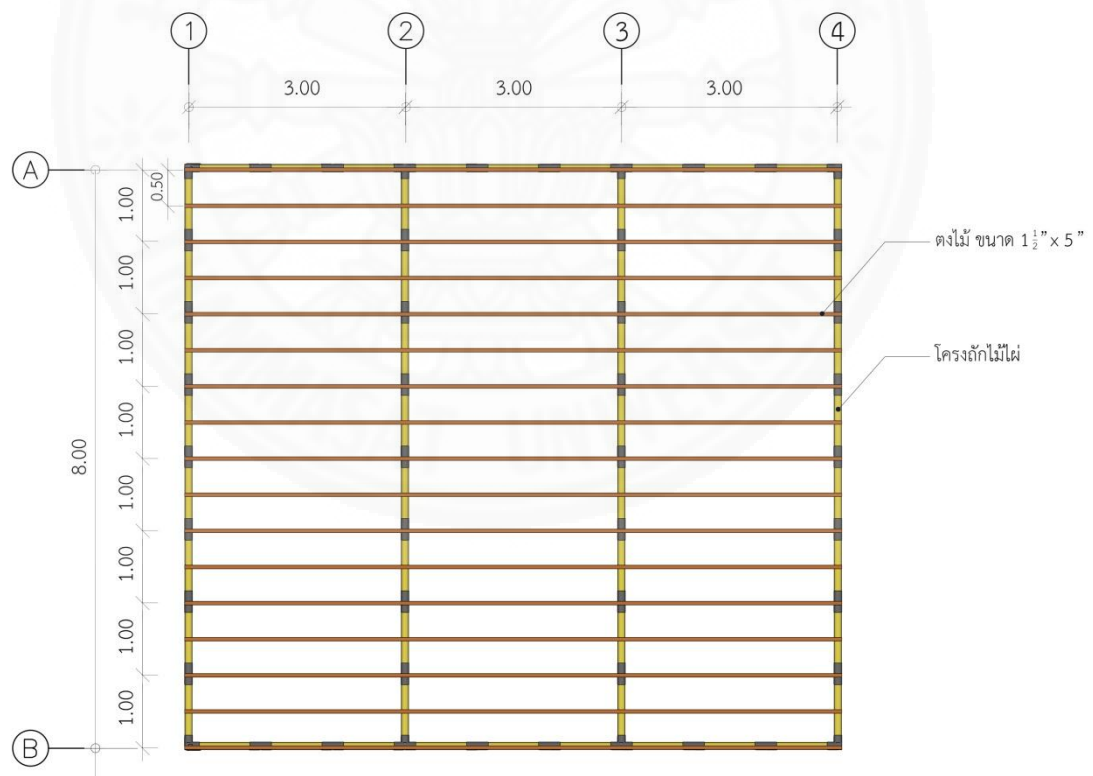
4.4 ผลการศึกษาแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์

ผลการจำลองอาคารสาธารณะขนาดเล็กโดยใช้โครงถักไม้ไผ่เป็นโครงสร้างรับหลังคาและพื้นในการออกแบบ มีข้อกำหนดในการจำลองแบบอาคารดังนี้

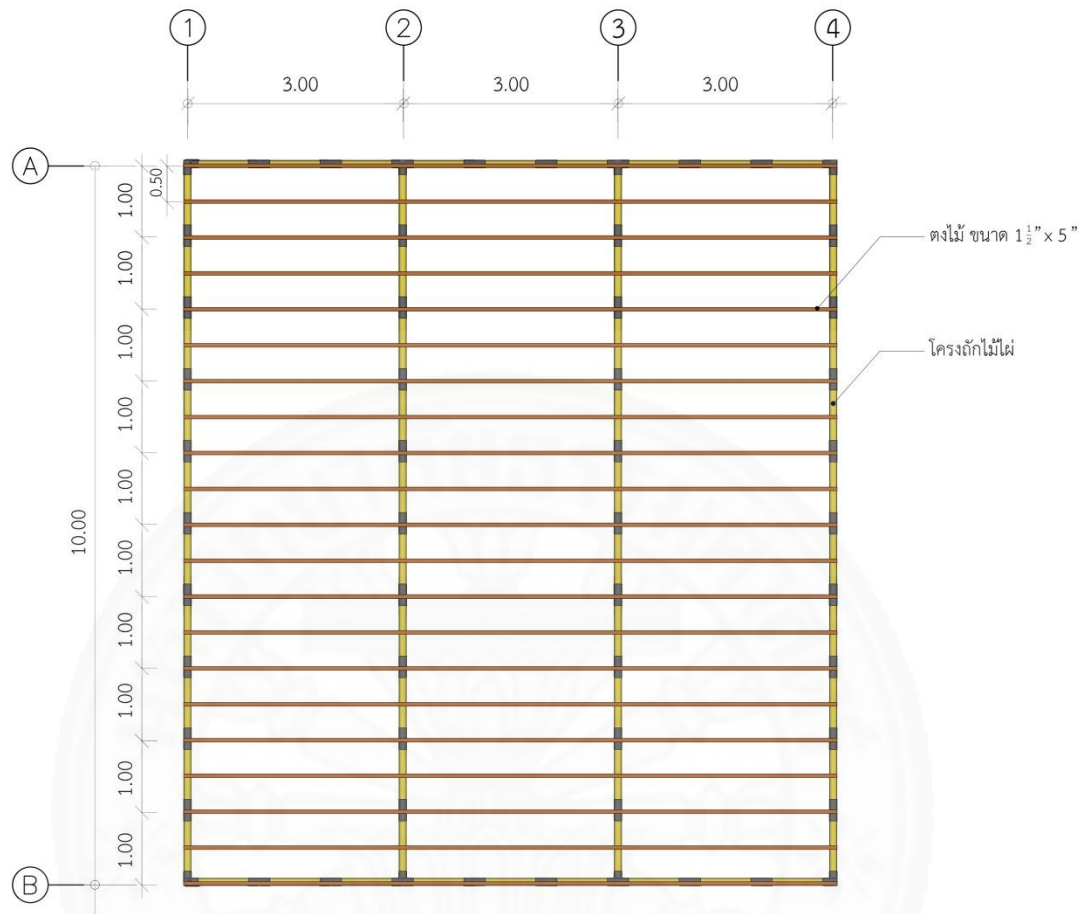
1. เป็นอาคารสาธารณะขนาดเล็ก มีลักษณะพื้นที่การใช้งานเป็นลานอเนกประสงค์
2. ระยะช่วงพาด 8x3, 10x3 และ 12x3 เมตร รายละเอียดตามแบบแปลนสถาปัตยกรรม ดังแสดงในภาพที่ 4.18- ภาพที่ 4.20
3. ความสูงของอาคารชั้นละ 3.5 เมตร
4. น้ำหนักบรรทุกจร สำหรับรับโครงสร้างหลังคา เท่ากับ 50 กก./ตร.ม.
สำหรับรับพื้น เท่ากับ 300 กก./ตร.ม.
5. น้ำหนักบรรทุกคงที่ สำหรับรับโครงสร้างหลังคา
หลังคาเมทัลชีต เท่ากับ 5 กก./ตร.ม.
แป้ไม้ เท่ากับ 5 กก./ตร.ม.
น้ำหนักไผ่ เท่ากับ 10 กก./ตร.ม.
สำหรับรับพื้น
พื้นไม้ ขนาด $3/4$ " รวมตง ดังแสดงในภาพที่ 4.17
เท่ากับ 30 กก./ตร.ม.
6. ค่าส่วนความปลอดภัยของไผ่ เท่ากับ 3



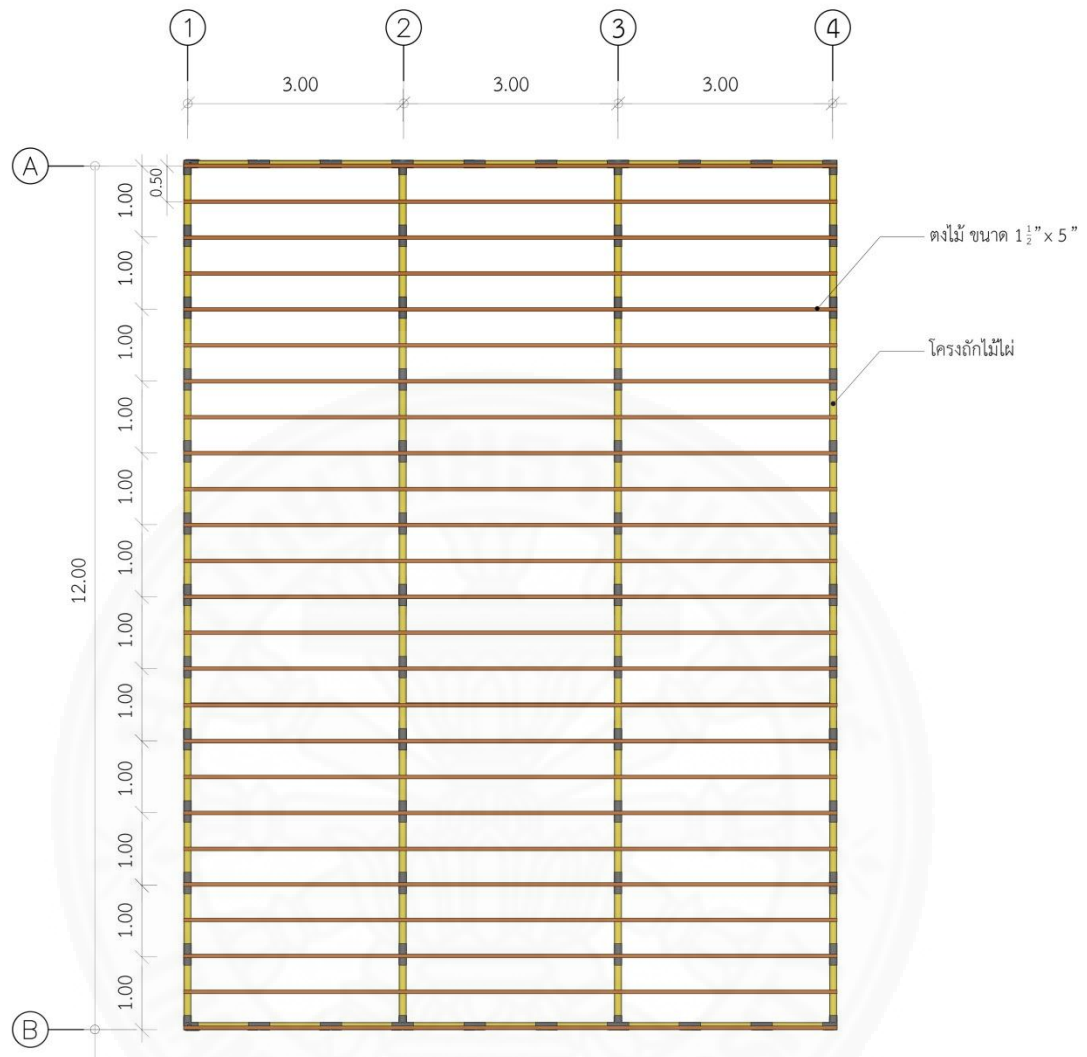
ภาพที่ 4.17 ไม้ลามิเนต



ภาพที่ 4.18 แบบแปลนสถาปัตยกรรมโครงถักไม้ไฟสำหรับรับพื้นและหลังคา ระยะช่วงพาด 8 เมตร



ภาพที่ 4.19 แบบแปลนสถาปัตยกรรมโครงถักไม้ไผ่สำหรับรับพื้นและหลังคา ระยะช่วงพาด 10 เมตร



ภาพที่ 4.20 แบบแปลนสถาปัตยกรรมโครงถักไม้ไผ่สำหรับรับพื้นและหลังคา ระยะช่วงพาด 12 เมตร

ตัวอย่างที่ 1 การออกแบบโครงสร้างรับหลังคา โดยใช้โครงถักแบบแฟลทแพท (Flat Pratt) ระยะพาด 8 เมตร รายละเอียดตามแบบแปลนสถาปัตยกรรมดังภาพที่ 4.18

การคำนวณน้ำหนักบรรทุก

น้ำหนักบรรทุกคงที่ ประกอบด้วย

$$\text{น้ำหนักหลังคา} = (3 \times 1) \times (5 + 5 + 10) = 60 \text{ กก.}$$

$$\text{น้ำหนักบรรทุกจร} = (3 \times 1) \times 50 = 150 \text{ กก.}$$

$$\text{รวมน้ำหนักบรรทุกคงที่และน้ำหนักบรรทุกจร} = 210 \text{ กก.}$$

แรงที่เกิดขึ้นในชิ้นส่วนหลังจากการคำนวณโดยแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์

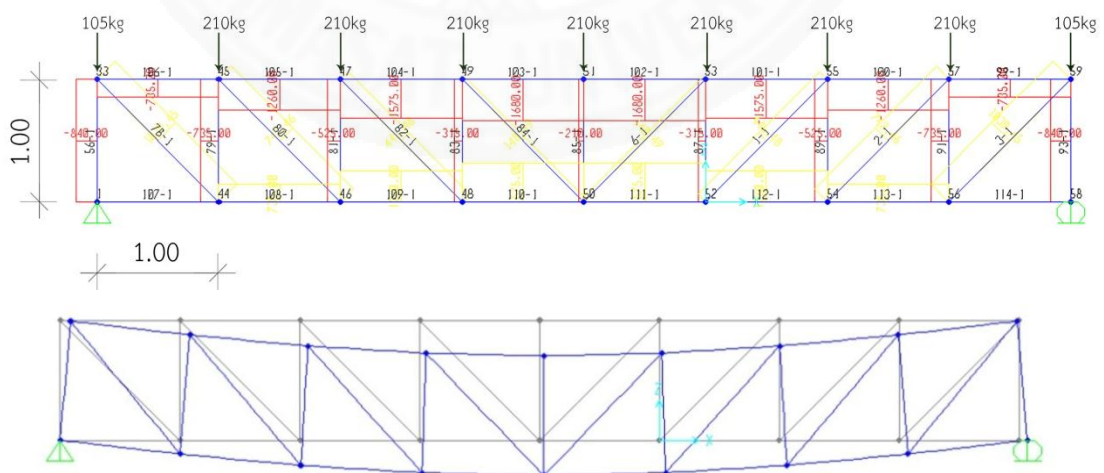
$$\text{แรงอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วน} = 1,680 \text{ กก.}$$

$$\text{แรงดึงสูงสุดที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วน} = 1,575 \text{ กก.}$$

ดังนั้นข้อต่อที่เหมาะสมกับโครงถักประเภทนี้ได้แก่

ข้อต่อแบบท่อ แบบกรวย และแบบแผ่นเหล็กตัวที่ สามารถรับแรงอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วนโครงถักนี้ได้

ข้อต่อแบบท่อ เป็นข้อต่อเพียงชนิดเดียวที่สามารถรับแรงดึงสูงสุดที่เกิดขึ้นภายในโครงถักนี้ แต่ต้องมีการใส่ฮีฟอกซีผสมทรายหยาบเป็นตัวเชื่อมต่อระหว่างใฝ่กับข้อต่อ



ภาพที่ 4.21 ลักษณะการเสียรูปของโครงถักแบบแฟลทแพทเมื่อมีแรงมากกระทำ

ตัวอย่างที่ 2 การออกแบบโครงสร้างรับหลังคา โดยใช้โครงล็กแบบวาร์เรน (Warren) ระยะพาด 8 เมตร รายละเอียดตามแบบแปลนสถาปัตยกรรมดังภาพที่ 4.18

การคำนวณน้ำหนักบรรทุก

น้ำหนักบรรทุกคงที่ ประกอบด้วย

น้ำหนักหลังคา = $(3 \times 1) \times (5 + 5 + 10) = 60$ กก.

น้ำหนักบรรทุกจร = $(3 \times 1) \times 50 = 150$ กก.

รวมน้ำหนักบรรทุกคงที่และน้ำหนักบรรทุกจร = 210 กก.

แรงที่เกิดขึ้นในชิ้นส่วนหลังจากการคำนวณโดยแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์

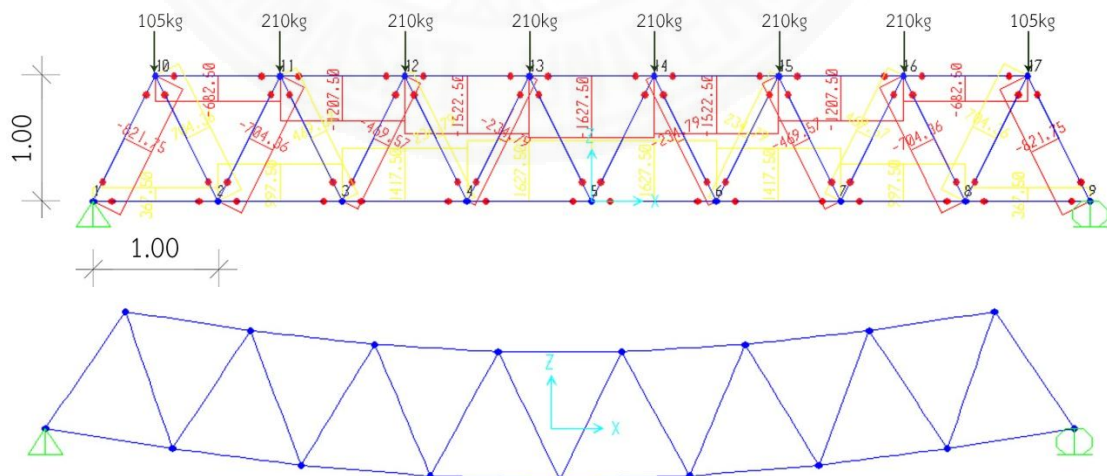
แรงอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วน = 1,627.5 กก.

แรงดึงสูงสุดที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วน = 1,627.5 กก.

ดังนั้นข้อต่อที่เหมาะสมกับโครงล็กประเภทนี้ ได้แก่

ข้อต่อแบบท่อน แบบกรวย และแบบแผ่นเหล็กตัวที่ สามารถรับแรงอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วนโครงล็กนี้ได้

ข้อต่อแบบท่อน เป็นข้อต่อเพียงชนิดเดียวที่สามารถรับแรงดึงสูงสุดที่เกิดขึ้นภายในโครงล็กนี้ แต่ต้องมีการใส่ฮีฟอกซีฟสมทราวยหยาบเป็นตัวเชื่อมต่อระหว่างใฝ่กับข้อต่อ



ภาพที่ 4.22 ลักษณะการเสียรูปของโครงล็กแบบวาร์เรนเมื่อมีแรงมากระทำ

ตัวอย่างที่ 3 การออกแบบโครงสร้างรับหลังคา โดยใช้โครงถักแบบแพรท (Pratt) ระยะพาด 8 เมตร รายละเอียดตามแบบแปลนสถาปัตยกรรมดังภาพที่ 4.18

การคำนวณน้ำหนักบรรทุก

น้ำหนักบรรทุกคงที่ ประกอบด้วย

$$\text{น้ำหนักหลังคา} = (3 \times 1) \times (5 + 5 + 10) = 60 \text{ กก.}$$

$$\text{น้ำหนักบรรทุกจร} = (3 \times 1) \times 50 = 150 \text{ กก.}$$

$$\text{รวมน้ำหนักบรรทุกคงที่และน้ำหนักบรรทุกจร} = 210 \text{ กก.}$$

แรงที่เกิดขึ้นในชิ้นส่วนหลังจากการคำนวณโดยแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์

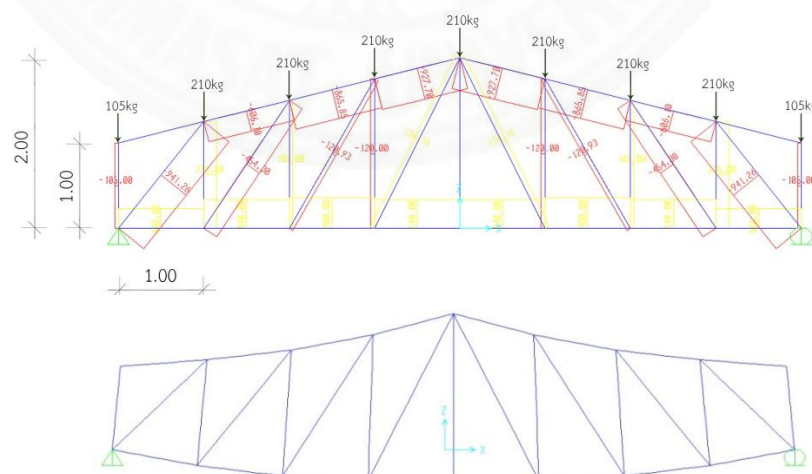
$$\text{แรงอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วน} = 941 \text{ กก.}$$

$$\text{แรงดึงสูงสุดที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วน} = 900 \text{ กก.}$$

ดังนั้นข้อต่อที่เหมาะสมกับโครงถักประเภทนี้ได้แก่

ข้อต่อแบบท่อ แบบกรวย ข้อต่อแบบแผ่นเหล็ก และแบบแผ่นเหล็กตัวที่สามารถรับแรงอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วนโครงถักนี้ได้

ข้อต่อแบบท่อ เป็นข้อต่อเพียงชนิดเดียวที่สามารถรับแรงดึงสูงสุดที่เกิดขึ้นภายในโครงถักนี้ แต่ต้องมีการใส่ฮีฟอกซีผสมทรายหยาบเป็นตัวเชื่อมต่อระหว่างใฝ่กับข้อต่อ



ภาพที่ 4.23 ลักษณะการเสียรูปของโครงถักแบบแพรทเมื่อมีแรงมากกระทำ

ตัวอย่างที่ 4 การออกแบบโครงสร้างรับหลังคา โดยใช้โครงถักแบบแฟลทแพทท (Flat Pratt) ระยะพาด 10 เมตร รายละเอียดตามแบบแปลนสถาปัตยกรรมดังภาพที่ 4.19

การคำนวณน้ำหนักบรรทุก

น้ำหนักบรรทุกคงที่ ประกอบด้วย

$$\text{น้ำหนักหลังคา} = (3 \times 1) \times (5 + 5 + 10) = 60 \text{ กก.}$$

$$\text{น้ำหนักบรรทุกจร} = (3 \times 1) \times 50 = 150 \text{ กก.}$$

$$\text{รวมน้ำหนักบรรทุกคงที่และน้ำหนักบรรทุกจร} = 210 \text{ กก.}$$

แรงที่เกิดขึ้นในชิ้นส่วนหลังจากการคำนวณโดยแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์

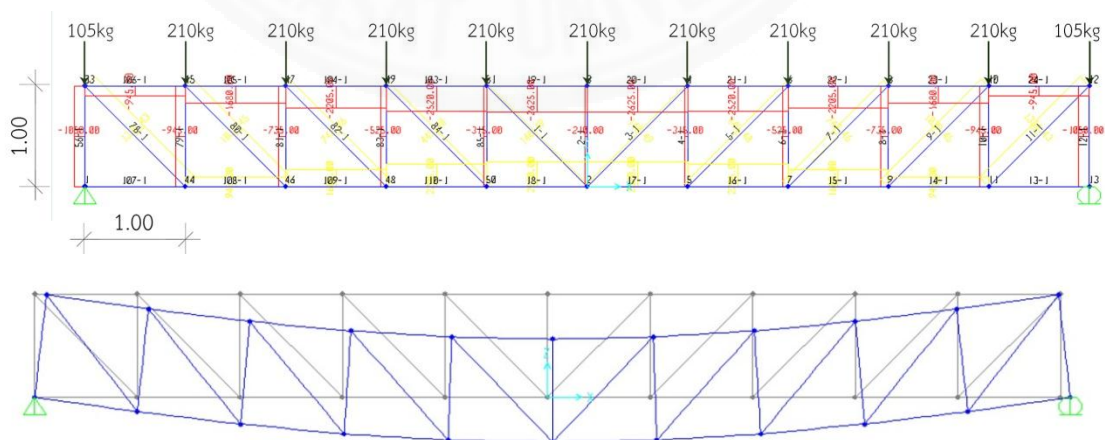
$$\text{แรงอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วน} = 2,625 \text{ กก.}$$

$$\text{แรงดึงสูงสุดที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วน} = 2,520 \text{ กก.}$$

ดังนั้นข้อต่อที่เหมาะสมกับโครงถักประเภทนี้ได้แก่

ข้อต่อแบบท่อ แบบกรวย และแบบแผ่นเหล็กตัวที่ สามารถรับแรงอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วนโครงถักนี้ได้ โดยที่ต้องมีการใส่ีพ็อกซี่เป็นตัวเชื่อมต่อระหว่างไม้กับข้อต่อ

ข้อต่อแบบท่อ เป็นข้อต่อเพียงชนิดเดียวที่สามารถรับแรงดึงสูงสุดที่เกิดขึ้นภายในโครงถักนี้ แต่ต้องมีการใส่ีพ็อกซี่ผสมทรายหยาบเป็นตัวเชื่อมต่อระหว่างไม้กับข้อต่อ



ภาพที่ 4.24 ลักษณะการเสียรูปของโครงถักแบบแฟลทแพททเมื่อมีแรงมากระทำ

ตัวอย่างที่ 5 การออกแบบโครงสร้างรับหลังคา โดยใช้โครงถักแบบวาร์เรน (Warren) ระยะพาด 10 เมตร รายละเอียดตามแบบแปลนสถาปัตยกรรมดังภาพที่ 4.19

การคำนวณน้ำหนักบรรทุก

น้ำหนักบรรทุกคงที่ ประกอบด้วย

$$\text{น้ำหนักหลังคา} = (3 \times 1) \times (5 + 5 + 10) = 60 \text{ กก.}$$

$$\text{น้ำหนักบรรทุกจร} = (3 \times 1) \times 50 = 150 \text{ กก.}$$

$$\text{รวมน้ำหนักบรรทุกคงที่และน้ำหนักบรรทุกจร} = 210 \text{ กก.}$$

แรงที่เกิดขึ้นในชิ้นส่วนหลังจากการคำนวณโดยแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์

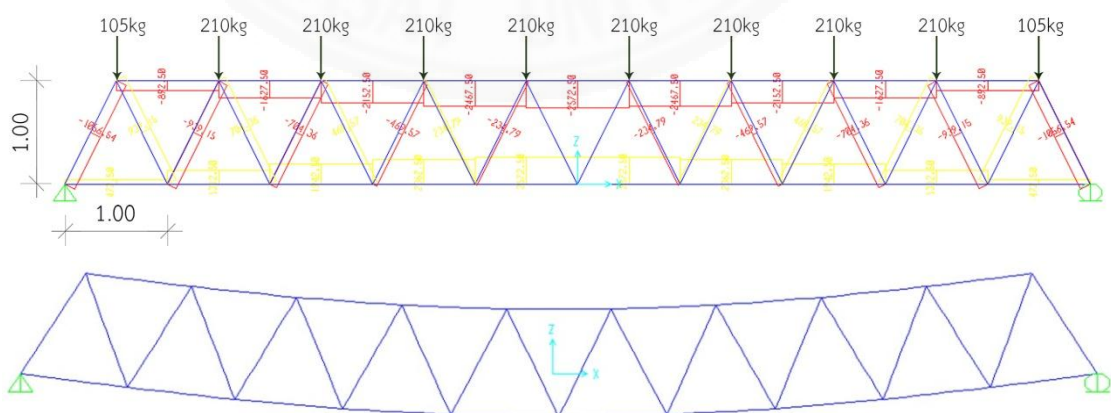
$$\text{แรงอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วน} = 2,573 \text{ กก.}$$

$$\text{แรงดึงสูงสุดที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วน} = 2,573 \text{ กก.}$$

ดังนั้นข้อต่อที่เหมาะสมกับโครงถักประเภทนี้ ได้แก่

ข้อต่อแบบท่อ แบบกรวย และแบบแผ่นเหล็กตัวที่ สามารถรับแรงอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วนโครงถักนี้ได้ โดยที่ ต้องมีการใส่ฮีฟอกซ์เป็นตัวเชื่อมต่อระหว่างไม้กับข้อต่อ

ข้อต่อแบบท่อ เป็นข้อต่อเพียงชนิดเดียวที่สามารถรับแรงดึงสูงสุดที่เกิดขึ้นภายในโครงถักนี้ แต่ต้องมีการใส่ฮีฟอกซ์ผสมทรายหยาบเป็นตัวเชื่อมต่อระหว่างไม้กับข้อต่อ



ภาพที่ 4.25 ลักษณะการเสียรูปของโครงถักแบบวาร์เรนเมื่อมีแรงมากระทำ

ตัวอย่างที่ 6 การออกแบบโครงสร้างรับหลังคา โดยใช้โครงถักแบบแพรท (Pratt) ระยะพาด 10 เมตร รายละเอียดตามแบบแปลนสถาปัตยกรรมดังภาพที่ 4.19

การคำนวณน้ำหนักบรรทุก

น้ำหนักบรรทุกคงที่ ประกอบด้วย

$$\text{น้ำหนักหลังคา} = (3 \times 1) \times (5 + 5 + 10) = 60 \text{ กก.}$$

$$\text{น้ำหนักบรรทุกจร} = (3 \times 1) \times 50 = 150 \text{ กก.}$$

$$\text{รวมน้ำหนักบรรทุกคงที่และน้ำหนักบรรทุกจร} = 210 \text{ กก.}$$

แรงที่เกิดขึ้นในชิ้นส่วนหลังจากการคำนวณโดยแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์

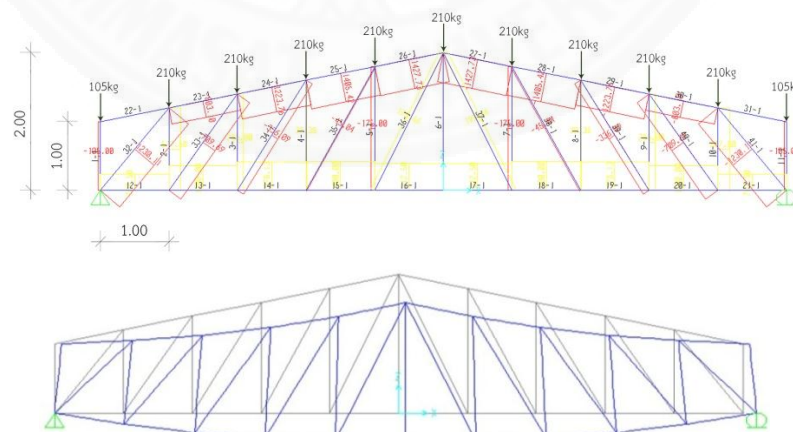
$$\text{แรงอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วน} = 1,428 \text{ กก.}$$

$$\text{แรงดึงสูงสุดที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วน} = 1,400 \text{ กก.}$$

ดังนั้นข้อต่อที่เหมาะสมกับโครงถักประเภทนี้ได้แก่

ข้อต่อแบบท่อ แบบกรวย ข้อต่อแบบแผ่นเหล็ก และแบบแผ่นเหล็กตัวที่สามารถรับแรงอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วนโครงถักนี้ได้

ข้อต่อแบบท่อ เป็นข้อต่อเพียงชนิดเดียวที่สามารถรับแรงดึงสูงสุดที่เกิดขึ้นภายในโครงถักนี้ แต่ต้องมีการใส่ฮีฟอกซีผสมทรายหยาบเป็นตัวเชื่อมต่อระหว่างใฝ่กับข้อต่อ



ภาพที่ 4.26 ลักษณะการเสีรูปร่างของโครงถักแบบแพรทเมื่อมีแรงมากกระทำ

ตัวอย่างที่ 7 การออกแบบโครงสร้างรับหลังคา โดยใช้โครงถักแบบแฟลทแพทท (Flat Pratt) ระยะพาด 12 เมตร รายละเอียดตามแบบแปลนสถาปัตยกรรมดังภาพที่ 4.20

การคำนวณน้ำหนักบรรทุก

น้ำหนักบรรทุกคงที่ ประกอบด้วย

$$\text{น้ำหนักหลังคา} = (3 \times 1) \times (5 + 5 + 10) = 60 \text{ กก.}$$

$$\text{น้ำหนักบรรทุกจร} = (3 \times 1) \times 50 = 150 \text{ กก.}$$

$$\text{รวมน้ำหนักบรรทุกคงที่และน้ำหนักบรรทุกจร} = 210 \text{ กก.}$$

แรงที่เกิดขึ้นในชิ้นส่วนหลังจากการคำนวณโดยแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์

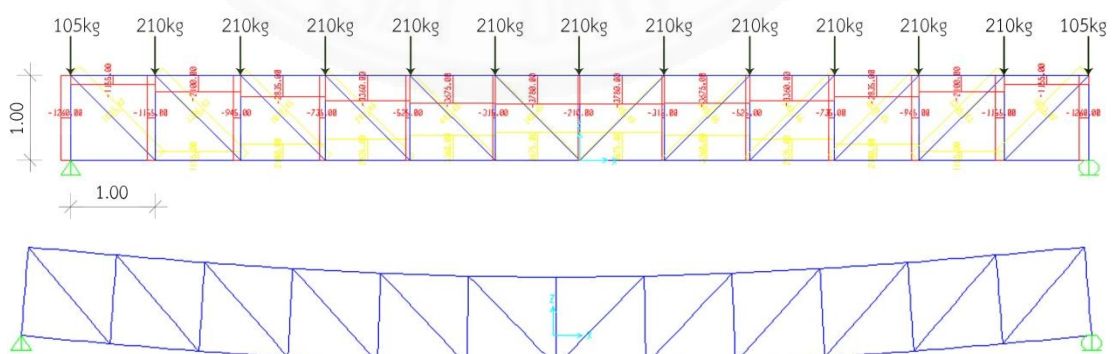
$$\text{แรงอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วน} = 3,780 \text{ กก.}$$

$$\text{แรงดึงสูงสุดที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วน} = 3,675 \text{ กก.}$$

ดังนั้นข้อต่อที่เหมาะสมกับโครงถักประเภทนี้ได้แก่

ข้อต่อแบบท่อน และแบบแผ่นเหล็กตัวที่ สามารถรับแรงอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วนโครงถักนี้ได้ โดยที่ต้องมีการใส่ฮีฟอกซีผสมทรายหยาบเป็นตัวเชื่อมต่อระหว่างไม้กับข้อต่อ

ข้อต่อแบบท่อน เป็นข้อต่อเพียงชนิดเดียวที่สามารถรับแรงดึงสูงสุดที่เกิดขึ้นภายในโครงถักนี้ แต่ต้องมีการใส่ฮีฟอกซีผสมทรายหยาบเป็นตัวเชื่อมต่อระหว่างไม้กับข้อต่อ



ภาพที่ 4.27 ลักษณะการเสีรูปของโครงถักแบบแฟลทแพททเมื่อมีแรงมากระทำ

ตัวอย่างที่ 8 การออกแบบโครงสร้างรับหลังคา โดยใช้โครงถักแบบวาร์เรน (Warren) ระยะพาด 12 เมตร รายละเอียดตามแบบแปลนสถาปัตยกรรมดังภาพที่ 4.20

การคำนวณน้ำหนักบรรทุก

น้ำหนักบรรทุกคงที่ ประกอบด้วย

$$\text{น้ำหนักหลังคา} = (3 \times 1) \times (5 + 5 + 10) = 60 \text{ กก.}$$

$$\text{น้ำหนักบรรทุกจร} = (3 \times 1) \times 50 = 150 \text{ กก.}$$

$$\text{รวมน้ำหนักบรรทุกคงที่และน้ำหนักบรรทุกจร} = 210 \text{ กก.}$$

แรงที่เกิดขึ้นในชิ้นส่วนหลังจากการคำนวณโดยแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์

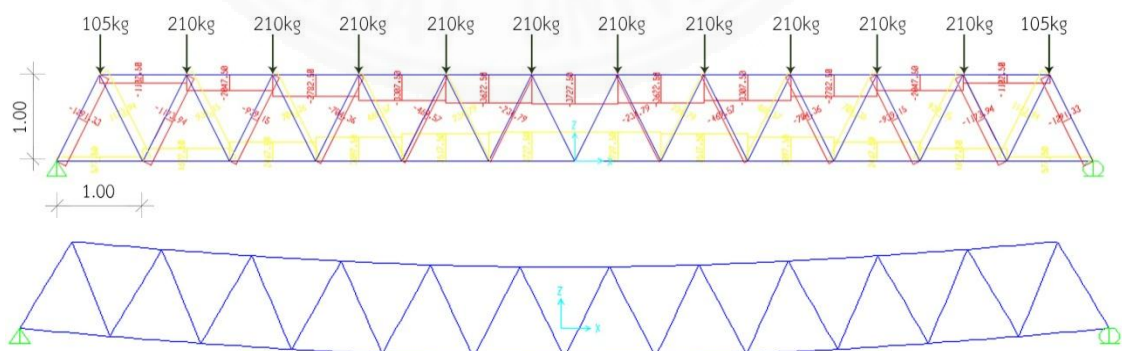
$$\text{แรงอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นในชิ้นส่วน} = 3,728 \text{ กก.}$$

$$\text{แรงดึงสูงสุดที่เกิดขึ้นในชิ้นส่วน} = 3,728 \text{ กก.}$$

ดังนั้นข้อต่อที่เหมาะสมกับโครงถักประเภทนี้ได้แก่

ข้อต่อแบบท่อน และแบบแผ่นเหล็กตัวที่ สามารถรับแรงอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วนโครงถักนี้ได้ โดยที่ ต้องมีการใส่ฮีฟอกซ์ผสมทรายหยาบเป็นตัวเชื่อมต่อระหว่างไม้กับข้อต่อ

ข้อต่อแบบท่อน เป็นข้อต่อเพียงชนิดเดียวที่สามารถรับแรงดึงสูงสุดที่เกิดขึ้นภายในโครงถักนี้ แต่ต้องมีการใส่ฮีฟอกซ์ผสมทรายหยาบเป็นตัวเชื่อมต่อระหว่างไม้กับข้อต่อ



ภาพที่ 4.28 ลักษณะการเสียรูปของโครงถักแบบวาร์เรนเมื่อมีแรงมากระทำ

ตัวอย่างที่ 9 การออกแบบโครงสร้างรับหลังคา โดยใช้โครงถักแบบแพรท (Pratt)
ระยะพาด 12 เมตร รายละเอียดตามแบบแปลนสถาปัตยกรรมดังภาพที่ 4.20

การคำนวณน้ำหนักบรรทุก

น้ำหนักบรรทุกคงที่ ประกอบด้วย

$$\text{น้ำหนักหลังคา} = (3 \times 1) \times (5 + 5 + 10) = 60 \text{ กก.}$$

$$\text{น้ำหนักบรรทุกจร} = (3 \times 1) \times 50 = 150 \text{ กก.}$$

$$\text{รวมน้ำหนักบรรทุกคงที่และน้ำหนักบรรทุกจร} = 210 \text{ กก.}$$

แรงที่เกิดขึ้นในชิ้นส่วนหลังจากการคำนวณโดยแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์

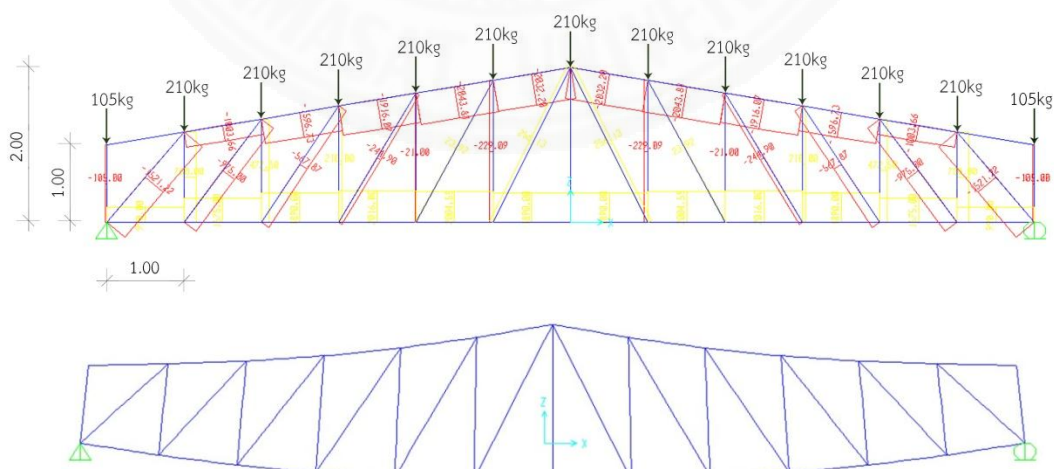
$$\text{แรงอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วน} = 2,044 \text{ กก.}$$

$$\text{แรงดึงสูงสุดที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วน} = 2,016 \text{ กก.}$$

ดังนั้นข้อต่อที่เหมาะสมกับโครงถักประเภทนี้ได้แก่

ข้อต่อแบบท่อ แบบกรวย และแบบแผ่นเหล็กตัวที่ สามารถรับแรงอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วนโครงถักนี้ได้

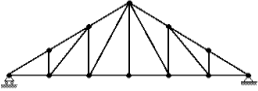
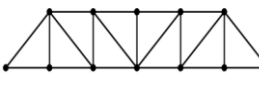
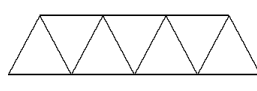
ข้อต่อแบบท่อ เป็นข้อต่อเพียงชนิดเดียวที่สามารถรับแรงดึงสูงสุดที่เกิดขึ้นภายในโครงถักนี้ แต่ต้องมีการใส่ฮีฟอกซีผสมทรายหยาบเป็นตัวเชื่อมต่อระหว่างใฝ่กับข้อต่อ



ภาพที่ 4.29 ลักษณะการเสียรูปของโครงถักแบบแพรทเมื่อมีแรงมากกระทำ

ตารางที่ 4.27

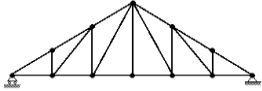
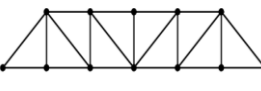
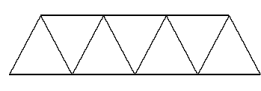
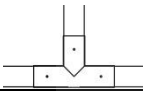
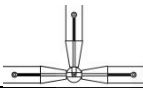
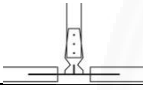
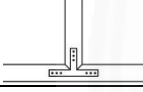
ผลการคำนวณแรงภายในชิ้นส่วนโครงถักสำหรับโครงหลังคาโดยหุ่นจำลองทางคอมพิวเตอร์

									
ระยะพาด (ม.)	8	10	12	8	10	12	8	10	12
แรงอัดสูงสุด (กก.)	941	1,428	2,044	1,680	2,625	3,780	1,628	2,573	3,728
แรงดึงสูงสุด (กก.)	900	1,400	2,016	1,575	2,520	3,675	1,628	2,573	3,728

จากตารางที่ 4.27 พบว่าเมื่อมีระยะช่วงพาดที่ยาวขึ้น แรงที่เกิดในชิ้นส่วนก็จะเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย โดยที่ในระยะช่วงพาดที่เท่ากันโครงถักแบบแฟลทแพรท (Flat pratt) มีแรงอัดที่เกิดขึ้นภายในแนวแกนชิ้นส่วนโครงถักมากกว่าโครงถักชนิดอื่นๆ และโครงถักแบบวาร์เรน (Warren) มีแรงดึงเกิดขึ้นภายในชิ้นส่วนมากกว่าโครงถักชนิดอื่นๆ และแรงดึงกับแรงอัดที่เกิดขึ้นในชิ้นส่วนชนิดนี้มีขนาดเท่ากัน ในขณะที่โครงถักแบบแพรท (Pratt) มีแรงที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วนน้อยกว่าโครงถักชนิดอื่นๆ ทั้งแรงอัดและแรงดึง

ตารางที่ 4.28

การเลือกใช้ข้อต่อที่เหมาะสมกับการรับแรงของโครงถักสำหรับโครงหลังคาแต่ละประเภท

																		
	แรงอัด			แรงดึง			แรงอัด			แรงดึง			แรงอัด			แรงดึง		
ระยะพาด (ม.)	8	10	12	8	10	12	8	10	12	8	10	12	8	10	12	8	10	12
	●	●	●	●	●	●	●	●	×	●	●	×	●	●	×	●	●	×
	○	○	○	×	×	×	○	○	×	×	×	×	○	×	×	×	×	×
	×	×	×	-	-	-	×	×	×	-	-	-	×	×	×	-	-	-
	●	●	×	-	-	-	×	×	×	-	-	-	×	×	×	-	-	-

โดยที่ ● = เหมาะสม , ○ = พอใช้ , × = ไม่เหมาะสม, - = ไม่สามารถระบุได้

จากตารางที่ 4.28 พบว่าเมื่อมีระยะช่วงพาดที่ยาวขึ้น แรงที่เกิดขึ้นในส่วนก็จะเพิ่มมากขึ้นตามด้วย โดยที่ในระยะช่วงพาดที่เท่ากันโครงถักแบบแฟลทแพรทมีแรงอัดที่เกิดขึ้นภายในแนวแกนชิ้นส่วนโครงถักมากกว่าโครงถักชนิดอื่นๆ และโครงถักแบบวาร์เรนมีแรงดึงเกิดขึ้นภายในชิ้นส่วนมากกว่าโครงถักชนิดอื่นๆ ในขณะที่โครงถักแบบแพรทมีแรงที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วนน้อยกว่าโครงถักชนิดอื่นๆ ทั้งแรงอัดและแรงดึง

เมื่อนำแรงที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วนโครงถักมาพิจารณาเปรียบเทียบกับความสามารถในการรับแรงของข้อต่อที่ได้ทดสอบไปแล้ว ดังแสดงในตารางที่ 4.18 และตารางที่ 4.26 สามารถสรุปได้ว่าข้อต่อแบบท่อนั้นเป็นข้อต่อที่มีคุณสมบัติเหมาะสมที่นำมาใช้กับโครงถักทุกประเภทที่ได้ศึกษา ยกเว้นโครงถักแบบแฟลทแพรทและวาร์เรนระยะพาด 12 เมตร ในขณะที่ข้อต่อแบบกรวยและข้อต่อแบบแผ่นเหล็กตัวที่สามารถนำมาใช้งานได้ในงานได้ในบางกรณีเท่านั้น

ตัวอย่างที่ 10 การออกแบบโครงสร้างรับพื้น โดยใช้โครงถักแบบแฟลทแพท (Flat Pratt) ระยะพาด 8 เมตร รายละเอียดตามแบบแปลนสถาปัตยกรรมดังภาพที่ 4.18

การคำนวณน้ำหนักบรรทุก

น้ำหนักบรรทุกคงที่ ประกอบด้วย

น้ำหนักพื้น = 30 กก.

น้ำหนักบรรทุกจร = 300 กก.

รวมน้ำหนักบรรทุกคงที่และน้ำหนักบรรทุกจร = 330 กก.

แรงที่เกิดขึ้นในชิ้นส่วนหลังจากการคำนวณโดยแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์

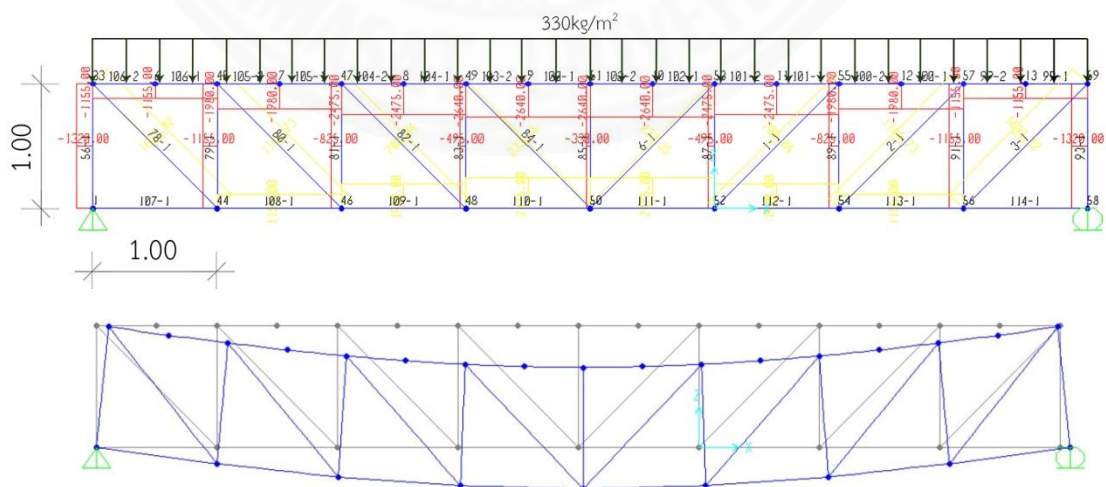
แรงอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วน = 2,640 กก.

แรงดึงสูงสุดที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วน = 2,475 กก.

ดังนั้นข้อต่อที่เหมาะสมกับโครงถักประเภทนี้ได้แก่

ข้อต่อแบบท่อ แบบกรวย และแบบแผ่นเหล็กตัวที่ สามารถรับแรงอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วนโครงถักนี้ได้

ข้อต่อแบบท่อ เป็นข้อต่อเพียงชนิดเดียวที่สามารถรับแรงดึงสูงสุดที่เกิดขึ้นภายในโครงถักนี้ แต่ต้องมีการใส่ฮีฟอกซีผสมทรายหยาบเป็นตัวเชื่อมต่อระหว่างใฝ่กับข้อต่อ



ภาพที่ 4.30 ลักษณะการเสีรูปของโครงถักแบบแฟลทแพทเมื่อมีแรงมากระทำ

ตัวอย่างที่ 11 การออกแบบโครงสร้างรับพื้น โดยใช้โครงถักแบบวาร์เรน (Warren) ระยะพาด 8 เมตร รายละเอียดตามแบบแปลนสถาปัตยกรรมดังภาพที่ 4.18

การคำนวณน้ำหนักบรรทุกทุก

น้ำหนักบรรทุกคงที่ ประกอบด้วย

น้ำหนักพื้น = 30 กก.

น้ำหนักบรรทุกจร = 300 กก.

รวมน้ำหนักบรรทุกคงที่และน้ำหนักบรรทุกจร = 330 กก.

แรงที่เกิดขึ้นในชิ้นส่วนหลังจากการคำนวณโดยแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์

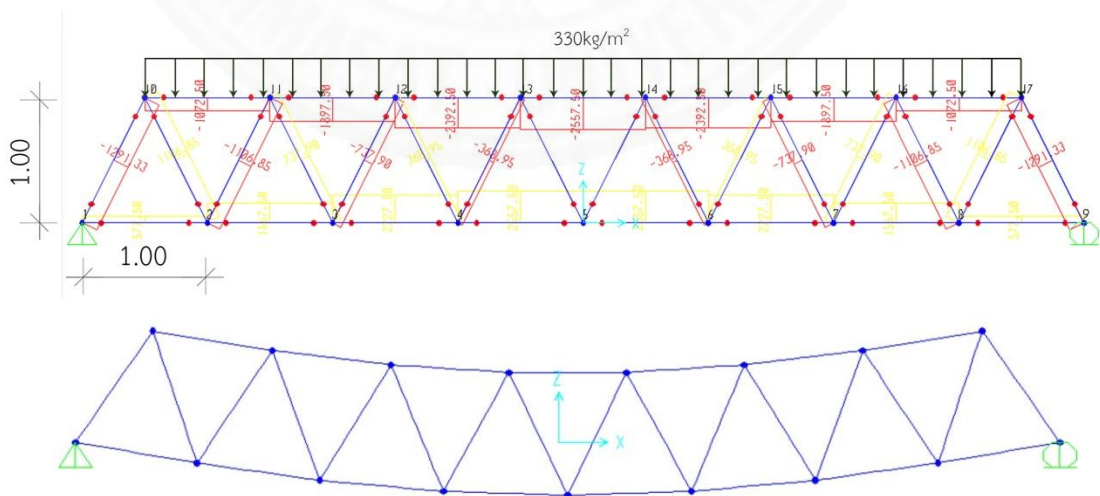
แรงอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วน = 2,558 กก.

แรงดึงสูงสุดที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วน = 2,558 กก.

ดังนั้นข้อต่อที่เหมาะสมกับโครงถักประเภทนี้ได้แก่

ข้อต่อแบบท่อน แบบกรวย และแบบแผ่นเหล็กตัวที่ สามารถรับแรงอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วนโครงถักนี้ได้

ข้อต่อแบบท่อน เป็นข้อต่อเพียงชนิดเดียวที่สามารถรับแรงดึงสูงสุดที่เกิดขึ้นภายในโครงถักนี้ แต่ต้องมีการใส่ฮีฟอกซีผสมทรายหยาบเป็นตัวเชื่อมต่อระหว่างใฝ่กับข้อต่อ



ภาพที่ 4.31 ลักษณะการเสียรูปของโครงถักแบบวาร์เรนเมื่อมีแรงมากระทำ

ตัวอย่างที่ 12 การออกแบบโครงสร้างรับพื้น โดยใช้โครงถักแบบแฟลทแพท (Flat Pratt) ระยะพาด 10 เมตร รายละเอียดตามแบบแปลนสถาปัตยกรรมดังภาพที่ 4.19

การคำนวณน้ำหนักบรรทุก

น้ำหนักบรรทุกคงที่ ประกอบด้วย

น้ำหนักพื้น = 30 กก.

น้ำหนักบรรทุกจร = 300 กก.

รวมน้ำหนักบรรทุกคงที่และน้ำหนักบรรทุกจร = 330 กก.

แรงที่เกิดขึ้นในส่วนหลังจากการคำนวณโดยแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์

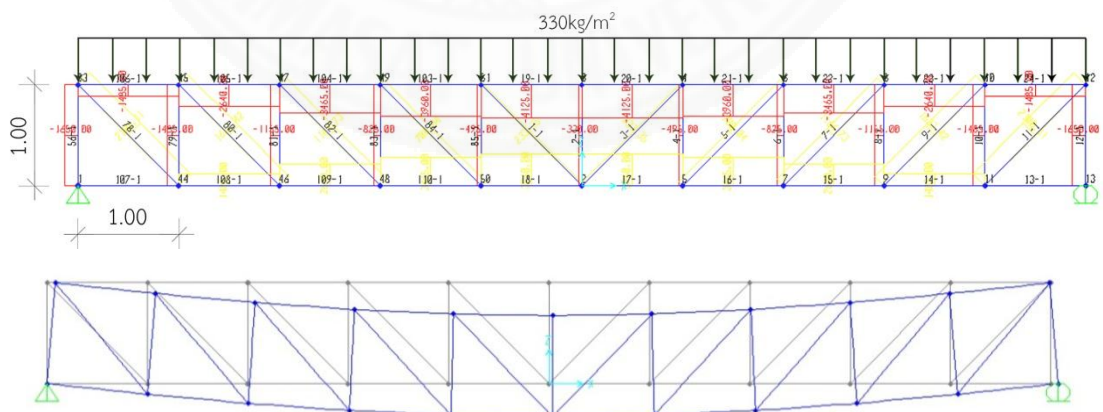
แรงอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วน = 4,125 กก.

แรงดึงสูงสุดที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วน = 3,960 กก.

ดังนั้นข้อต่อที่เหมาะสมกับโครงถักประเภทนี้ได้แก่

ข้อต่อแบบท่อนที่ใส่ีพ็อกซีผสมทรายหยาบ เป็นเพียงข้อต่อเดียวที่สามารถรับแรงอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วนโครงถักนี้ได้

ข้อต่อแบบท่อน เป็นข้อต่อเพียงชนิดเดียวที่สามารถรับแรงดึงสูงสุดที่เกิดขึ้นภายในโครงถักนี้ แต่ต้องมีการใส่ีพ็อกซีผสมทรายหยาบเป็นตัวเชื่อมต่อระหว่างใฝ่กับข้อต่อ



ภาพที่ 4.32 ลักษณะการเลือกรูปของโครงถักแบบแฟลทแพทเมื่อมีแรงมากกระทำ

ตัวอย่างที่ 13 การออกแบบโครงสร้างรับพื้น โดยใช้โครงถักแบบวาร์เรน (Warren) ระยะพาด 10 เมตร รายละเอียดตามแบบแปลนสถาปัตยกรรมดังภาพที่ 4.19

การคำนวณน้ำหนักบรรทุก

น้ำหนักบรรทุกคงที่ ประกอบด้วย

น้ำหนักพื้น = 30 กก.

น้ำหนักบรรทุกจร = 300 กก.

รวมน้ำหนักบรรทุกคงที่และน้ำหนักบรรทุกจร = 330 กก.

แรงที่เกิดขึ้นในส่วนหลังจากการคำนวณโดยแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์

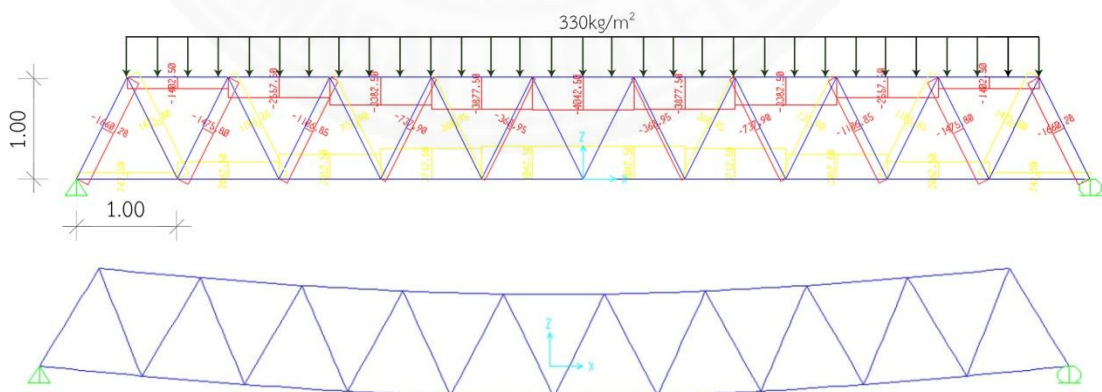
แรงอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วน = 4,043 กก.

แรงดึงสูงสุดที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วน = 4,043 กก.

ดังนั้นข้อต่อที่เหมาะสมกับโครงถักประเภทนี้ได้แก่

ข้อต่อแบบท่อนที่ใส่ฮีฟ็อกซีผสมทรายหยาบ เป็นเพียงข้อต่อเดียวที่สามารถรับแรงอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วนโครงถักนี้ได้

ข้อต่อแบบท่อน เป็นข้อต่อเพียงชนิดเดียวที่สามารถรับแรงดึงสูงสุดที่เกิดขึ้นภายในโครงถักนี้ แต่ต้องมีการใส่ฮีฟ็อกซีผสมทรายหยาบเป็นตัวเชื่อมต่อระหว่างใฝ่กับข้อต่อ



ภาพที่ 4.33 ลักษณะการเสียรูปของโครงถักแบบวาร์เรนเมื่อมีแรงมากระทำ

ตัวอย่างที่ 14 การออกแบบโครงสร้างรับพื้น โดยใช้โครงถักแบบแฟลทแพท (Flat Pratt) ระยะพาด 12 เมตร รายละเอียดตามแบบแปลนสถาปัตยกรรมดังภาพที่ 4.20

การคำนวณน้ำหนักบรรทุก

น้ำหนักบรรทุกคงที่ ประกอบด้วย

น้ำหนักพื้น = 30 กก.

น้ำหนักบรรทุกจร = 300 กก.

รวมน้ำหนักบรรทุกคงที่และน้ำหนักบรรทุกจร = 330 กก.

แรงที่เกิดขึ้นในชิ้นส่วนหลังจากการคำนวณโดยแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์

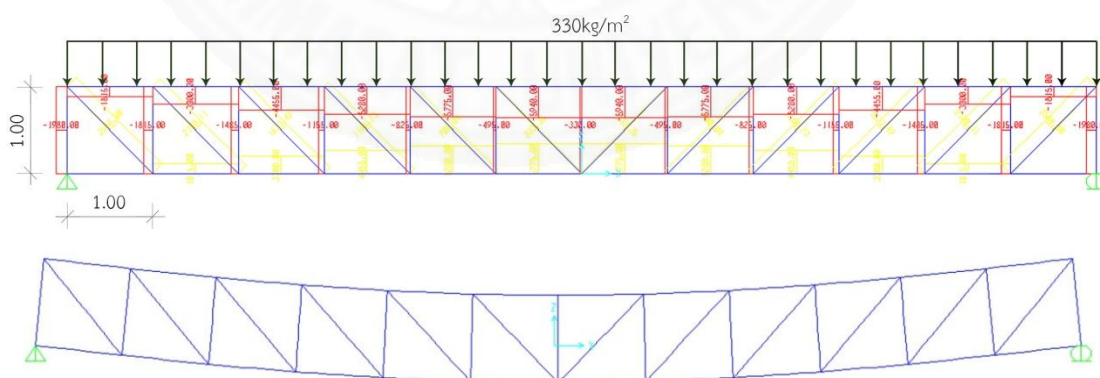
แรงอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วน = 5,940 กก.

แรงดึงสูงสุดที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วน = 5,775 กก.

ดังนั้นข้อต่อที่เหมาะสมกับโครงถักประเภทนี้ ได้แก่

ข้อต่อแบบท่อนที่ใส่ฮีฟ็อกซีผสมทรายหยาบ เป็นเพียงข้อต่อเดียวที่สามารถรับแรงอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วนโครงถักนี้ได้

ข้อต่อแบบท่อน เป็นข้อต่อเพียงชนิดเดียวที่สามารถรับแรงดึงสูงสุดที่เกิดขึ้นภายในโครงถักนี้ แต่ต้องมีการใส่ฮีฟ็อกซีผสมทรายหยาบเป็นตัวเชื่อมต่อระหว่างใฝ่กับข้อต่อ



ภาพที่ 4.34 ลักษณะการเสีรูรูปของโครงถักแบบแฟลทแพทเมื่อมีแรงมากระทำ

ตัวอย่างที่ 15 การออกแบบโครงสร้างรับพื้น โดยใช้โครงถักแบบวาร์เรน (Warren)
ระยะพาด 12 เมตร รายละเอียดตามแบบแปลนสถาปัตยกรรมดังภาพที่ 4.20

การคำนวณน้ำหนักบรรทุก

น้ำหนักบรรทุกคงที่ ประกอบด้วย

น้ำหนักพื้น = 30 กก.

น้ำหนักบรรทุกจร = 300 กก.

รวมน้ำหนักบรรทุกคงที่และน้ำหนักบรรทุกจร = 330 กก.

แรงที่เกิดขึ้นในส่วนหลังจากการคำนวณโดยแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์

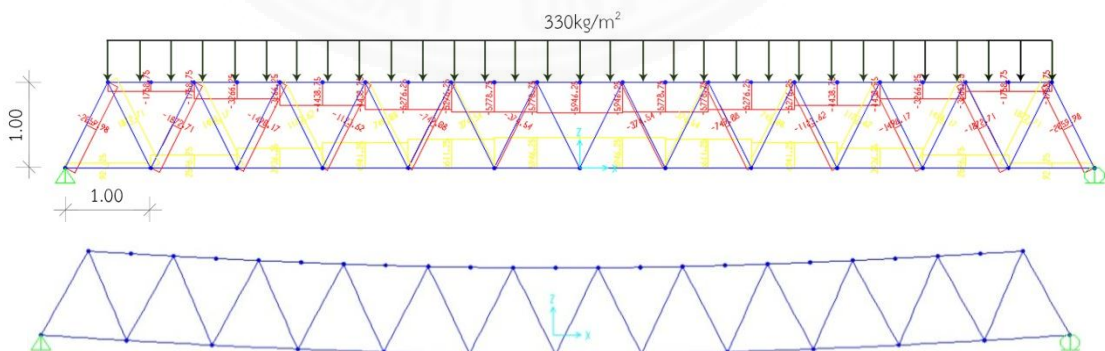
แรงอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วน = 5,946 กก.

แรงดึงสูงสุดที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วน = 5,946 กก.

ดังนั้นข้อต่อที่เหมาะสมกับโครงถักประเภทนี้ได้แก่

ข้อต่อแบบท่อนที่ใส่ฮีฟ็อกซีผสมทรายหยาบ เป็นเพียงข้อต่อเดียวที่สามารถ
รับแรงอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วนโครงถักนี้ได้

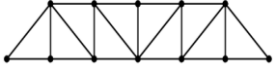
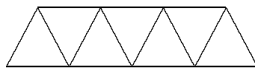
ข้อต่อแบบท่อน เป็นข้อต่อเพียงชนิดเดียวที่สามารถรับแรงดึงสูงสุดที่เกิดขึ้น
ภายในโครงถักนี้ แต่ต้องมีการใส่ฮีฟ็อกซีผสมทรายหยาบเป็นตัวเชื่อมต่อระหว่างใฝ่
กับข้อต่อ



ภาพที่ 4.35 ลักษณะการเสียรูปของโครงถักแบบวาร์เรนเมื่อมีแรงมากระทำ

ตารางที่ 4.29

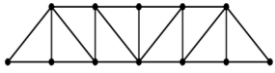
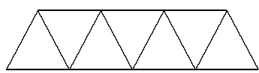
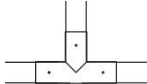
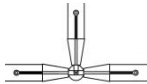
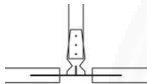

ผลการคำนวณแรงภายในชิ้นส่วนโครงถักสำหรับโครงสร้างรับพื้นโดยหุ่นจำลองทางคอมพิวเตอร์

						
ระยะพาด (ม.)	8	10	12	8	10	12
แรงอัดสูงสุด (กก.)	2,640	4,125	5,940	2,558	4,043	5,946
แรงดึงสูงสุด (กก.)	2,475	3,960	5,775	2,558	4,043	5,946

จากตารางที่ 4.29 พบว่าเมื่อระยะช่วงพาดเพิ่มขึ้น จะทำให้แรงในแนวแกนที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วนโครงถักเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เมื่อพิจารณาระยะช่วงพาดที่เท่ากันของโครงถักทั้งสองชนิด โครงถักแบบแฟลทแพทจะมีแรงอัดเกิดขึ้นภายในชิ้นส่วนเป็นปริมาณมากกว่าโครงถักแบบวาร์เรน ในขณะที่โครงถักแบบวาร์เรนมีแรงดึงเกิดขึ้นภายในชิ้นส่วนมากกว่า และมีปริมาณแรงอัดกับแรงดึงเกิดขึ้นภายในชิ้นส่วนเท่ากัน เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับผลคำนวณแรงภายในชิ้นส่วนโครงถักไม้ไผ่สำหรับรับน้ำหนักหลังคาพบว่าแรงที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วนโครงถักไม้ไผ่สำหรับเป็นโครงสร้างรับน้ำหนักพื้นนั้นมีปริมาณมากกว่าแรงที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วนโครงถักสำหรับรับน้ำหนักหลังคาถึง 0.6 เท่า ทำให้มีข้อจำกัดมากขึ้นในการเลือกใช้ข้อต่อสำหรับโครงถักที่ใช้รับน้ำหนักพื้น

ตารางที่ 4.30

การเลือกใช้ข้อต่อที่เหมาะสมกับการรับแรงของโครงถักสำหรับโครงสร้างรับพื้นแต่ละประเภท

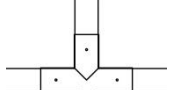
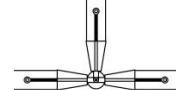
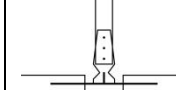
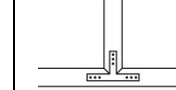
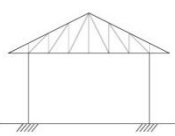
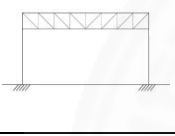
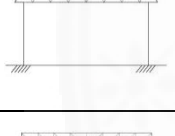
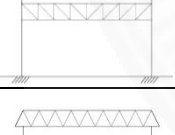
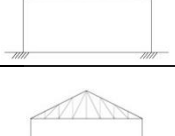
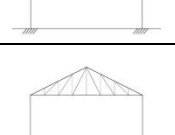
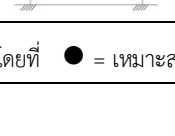
												
	แรงอัด			แรงดึง			แรงอัด			แรงดึง		
ระยะพาด (ม.)	8	10	12	8	10	12	8	10	12	8	10	12
	●	×	×	●	×	×	●	×	×	●	×	×
	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	×	×	×	-	-	-	×	×	×	-	-	-
	×	×	×	-	-	-	×	×	×	-	-	-

โดยที่ ● = เหมาะสม , ○ = พอใช้ , × = ไม่เหมาะสม, - = ไม่สามารถระบุได้

เมื่อนำผลที่ได้จากการคำนวณปริมาณแรงที่เกิดขึ้นตามแนวแกนภายในชิ้นส่วนโครงถักไม้ไผ่สำหรับรับน้ำหนักพื้นมาพิจารณาเปรียบเทียบกับผลการทดสอบความสามารถในการรับแรงของข้อต่อประเภทต่างๆ แล้ว พบว่าข้อต่อแบบท่อนเป็นข้อต่อเพียงชนิดเดียวที่สามารถรับแรงที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วนโครงถักได้ทั้งแรงอัดและแรงดึง โดยที่จะต้องมีการใช้ข้อต่อเชื่อมสมทรายหยาบเป็นตัวเชื่อมต่อระหว่างข้อต่อและไม้ไผ่ เนื่องจากการใช้สลักเกลียวเพียงอย่างเดียวจะทำให้ข้อต่อไม่สามารถรับแรงที่เกิดขึ้นได้ ในส่วนของข้อต่อแบบแผ่นเหล็กตัวที่นั้นสามารถรับแรงอัดได้ที่ระยะช่วงพาด 8 เมตรเท่านั้น แต่ไม่สามารถระบุได้ว่าจะสามารถรับแรงดึงที่ระยะช่วงพาดนี้ได้ด้วยหรือไม่ ดังแสดงในตารางที่ 4.30

ตารางที่ 4.31

การเลือกใช้ข้อต่อที่เหมาะสมกับการรับแรงของโครงสร้างอาคารโครงถักไม้ไผ่แต่ละประเภท

ประเภทโครงถัก	ประเภทข้อต่อ								
		พื้น	หลังคา	พื้น	หลังคา	พื้น	หลังคา	พื้น	หลังคา
	8 เมตร	-	●	-	×	-	×	-	○
	10 เมตร	-	●	-	×	-	×	-	○
	12 เมตร	-	●	-	×	-	×	-	×
	8 เมตร	-	●	-	×	-	×	-	×
	10 เมตร	-	●	-	×	-	×	-	×
	12 เมตร	-	×	-	×	-	×	-	×
	8 เมตร	-	●	-	×	-	×	-	×
	10 เมตร	-	●	-	×	-	×	-	×
	12 เมตร	-	×	-	×	-	×	-	×
	8 เมตร	●	●	×	×	×	×	×	×
	10 เมตร	×	●	×	×	×	×	×	×
	12 เมตร	×	×	×	×	×	×	×	×
	8 เมตร	●	●	×	×	×	×	×	×
	10 เมตร	×	●	×	×	×	×	×	×
	12 เมตร	×	●	×	×	×	×	×	×
	8 เมตร	●	●	×	×	×	×	×	○
	10 เมตร	×	●	×	×	×	×	×	○
	12 เมตร	×	●	×	×	×	×	×	×
	8 เมตร	●	●	×	×	×	×	×	○
	10 เมตร	×	●	×	×	×	×	×	○
	12 เมตร	×	●	×	×	×	×	×	×

โดยที่ ● = เหมาะสม , ○ = พอใช้ , × = ไม่เหมาะสม , - = ไม่สามารถระบุได้

จากตารางที่ 4.31 เมื่อพิจารณาแรงที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วนโดยรวม ทั้งแรงอัดและแรงดึงของโครงถักแต่ละประเภทแล้วนำมาเปรียบเทียบกับผลการทดสอบความสามารถในการรับแรงของข้อต่อประเภทต่างๆ แล้ว พบว่าข้อต่อแบบท่อเป็นข้อต่อเพียงประเภทเดียวที่สามารถใช้ได้กับโครงถักทุกประเภท และใช้ได้กับทั้งโครงถักที่รับน้ำหนักพื้นและรับน้ำหนักหลังคา อาจจะมีในบางกรณีที่จะต้องมีการใส่ฮีท็อกซี่ผสมทรายหยาบเข้าไปช่วยในการรับน้ำหนัก ในขณะที่ข้อต่อแบบแผ่นเหล็กตัวที่สามารถรับแรงที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วนโครงถักรับน้ำหนักหลังคาได้ดี แต่สามารถใช้กับโครงถักที่รับน้ำหนักพื้นได้ในระยะช่วงพาดเพียง 8 เมตร เท่านั้น ส่วนข้อต่อแบบกรวยและข้อต่อแบบแผ่นเหล็กนั้น ไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้งานในทุกกรณี แม้ว่าข้อต่อแบบกรวยจะสามารถรับแรงอัดที่เกิดภายในชิ้นส่วนได้ แต่ก็ไม่สามารถรับแรงดึงที่เกิดขึ้นได้

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของข้อต่อแบบต่างๆ

จากผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของข้อต่อแบบต่างๆ ตามมาตรฐาน ASTM D198 ประกอบด้วยผลจากการหาค่ากำลังรับแรงอัด และกำลังรับแรงดึง ที่ได้จากการประกอบลำไม้ไผ่เข้ากับข้อต่อเหล็กรูปแบบต่างกัน 4 แบบ ได้แก่ ข้อต่อแบบท่อน ข้อต่อแบบกรวย ข้อต่อแบบแผ่นเหล็ก และข้อต่อแบบแผ่นเหล็กรูปตัวที มีความสัมพันธ์กันดังแสดงในภาพที่ 5.1 สามารถสรุปได้ดังนี้

1. ข้อต่อที่มีความสามารถในการรับแรงอัดได้ดีที่สุดตามอันดับแรกได้แก่ ข้อต่อแบบท่อนมีสลักเกลียวใส่ีพ็อกซี่ผสมทรายหยาบ ข้อต่อแบบกรวยไม่มีสลักเกลียว และข้อต่อแบบท่อนมีสลักเกลียวใส่ีพ็อกซี่ตามลำดับ และข้อต่อที่มีความสามารถในการรับแรงดึงได้ดีที่สุดคือข้อต่อแบบท่อนมีสลักเกลียวใส่ีพ็อกซี่ผสมทรายหยาบ ในขณะที่ข้อต่อแบบกรวยที่มีความสามารถในการรับแรงอัดได้ดีที่สุดมีความสามารถในการรับแรงดึงได้น้อยมากเนื่องจากลักษณะรูปทรงของข้อต่อ ดังแสดงในภาพที่ 5.1

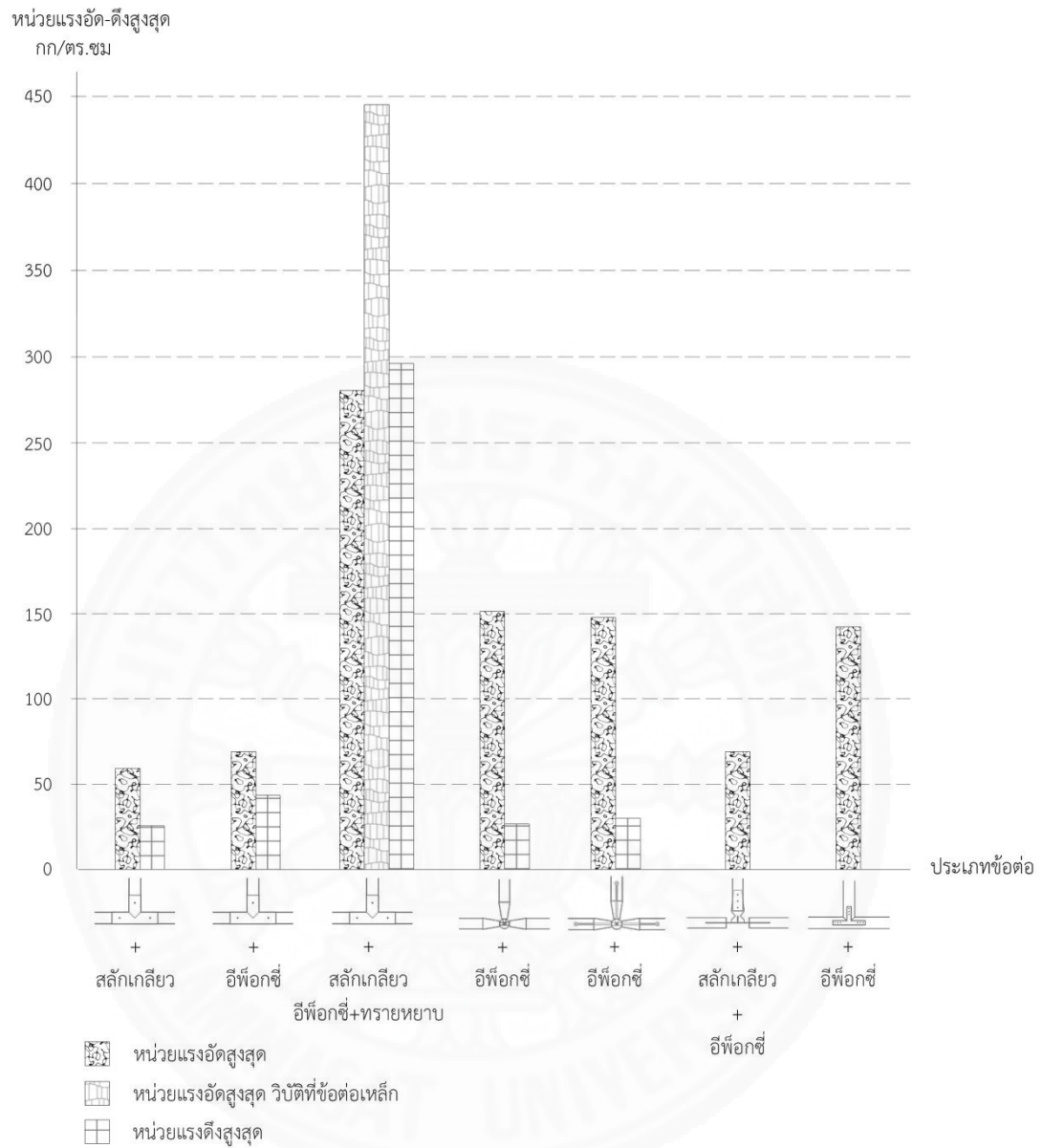
2. เมื่อพิจารณาคุณสมบัติการรับแรงดึงและแรงอัดของข้อต่อแบบต่างๆ ปรากฏว่าข้อต่อที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้งานได้แก่ ข้อต่อแบบท่อน เนื่องจากมีความสามารถในการรับแรงดึงและแรงอัดได้ดีทั้งคู่ ถัดมาคือข้อต่อแบบแผ่นเหล็กตัวทีที่มีความสามารถในการรับแรงได้ดีแต่ไม่สามารถทดสอบความสามารถในการรับแรงดึงได้เนื่องจากข้อจำกัดทางเครื่องมือ แต่หากพิจารณาจากพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างอีพ็อกซี่กับสลักเกลียวและวัสดุไม้เปรียบเทียบกับข้อต่อชนิดอื่นแล้วคาดว่าข้อต่อแบบแผ่นเหล็กตัวทีจะมีความสามารถในการรับแรงดึงได้มากกว่าข้อต่อแบบกรวยแต่อาจจะน้อยกว่าข้อต่อแบบท่อน

3. สลักเกลียวมีผลต่อความสามารถในการรับแรงของข้อต่อ หากใช้สลักเกลียวเป็นตัวเชื่อมต่อระหว่างข้อต่อเหล็กกับวัสดุไม้โดยตรง สลักเกลียวจะทำให้เกิดแรงเฉือนขนานเส้นขึ้นระหว่างตัวสลักเกลียวกับวัสดุไม้ ทำให้ไม้เสียความสามารถในการรับแรงทั้งแรงอัดและแรงดึง ในขณะที่การใช้สลักเกลียวเป็นตัวเชื่อมต่อการร่วมกับการใช้อีพ็อกซี่ สลักเกลียวจะทำหน้าที่เป็นตัวช่วยรับแรงร่วมกับอีพ็อกซี่และช่วยลดแรงเฉือนระหว่างผิวอีพ็อกซี่และผิวไม้ที่มีความลื่นด้วย

4. การใช้ฮีฟ็อกซีเป็นตัวเชื่อมประสานระหว่างข้อต่อเหล็กและวัสดุโฝจะทำให้ความสามารถในการรับแรงของข้อต่อดีขึ้น แต่เนื่องจากผิวฮีฟ็อกซีและผิวของโฝไม่มีความลื่นทำให้สามารถรับแรงเฉือนที่เกิดขึ้นระหว่างผิวฮีฟ็อกซีกับโฝได้น้อย เมื่อมีแรงกระทำจึงทำให้โฝหลุดออกจากฮีฟ็อกซีและหลุดออกจากข้อต่อเหล็ก

5. เนื่องจากฮีฟ็อกซีและโฝมีผิวสัมผัสที่ลื่นดังนั้นจึงได้มีการทดสอบเพิ่มโดยการใส่ทรายหยาบเพื่อช่วยเพิ่มกำลังรับแรงของฮีฟ็อกซี โดยการผสมฮีฟ็อกซีกับทรายหยาบเบอร์ 50 ในอัตราส่วน 1:2 ปรากฏว่าความสามารถในการรับแรงอัดและแรงดึงของข้อต่อเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการใช้ฮีฟ็อกซีเพียงอย่างเดียว

6. เมื่อพิจารณาถึงความสามารถในการรับแรงประกอบกับระยะเวลาในการก่อสร้างและค่าใช้จ่าย พบว่าข้อต่อแบบท่อและข้อต่อแบบแผ่นเหล็กตัวที่มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานมากที่สุดเนื่องจากข้อต่อทั้งสองประเภทนี้มีขั้นตอนการประกอบที่ง่ายใช้ระยะเวลาน้อยรวมไปถึงค่าใช้จ่ายในการสั่งทำข้อต่อไม่สูงมากเมื่อเทียบกับข้อต่ออื่นๆ ในขณะที่ข้อต่อแบบกรวยมีความสามารถในการรับแรงโดยรวมไม่ดีและมีค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างที่สูงมากอีกทั้งยังใช้ระยะเวลาในการก่อสร้างมากอีกด้วย ดังแสดงในตารางที่ 5.1 และภาพที่ 5.2



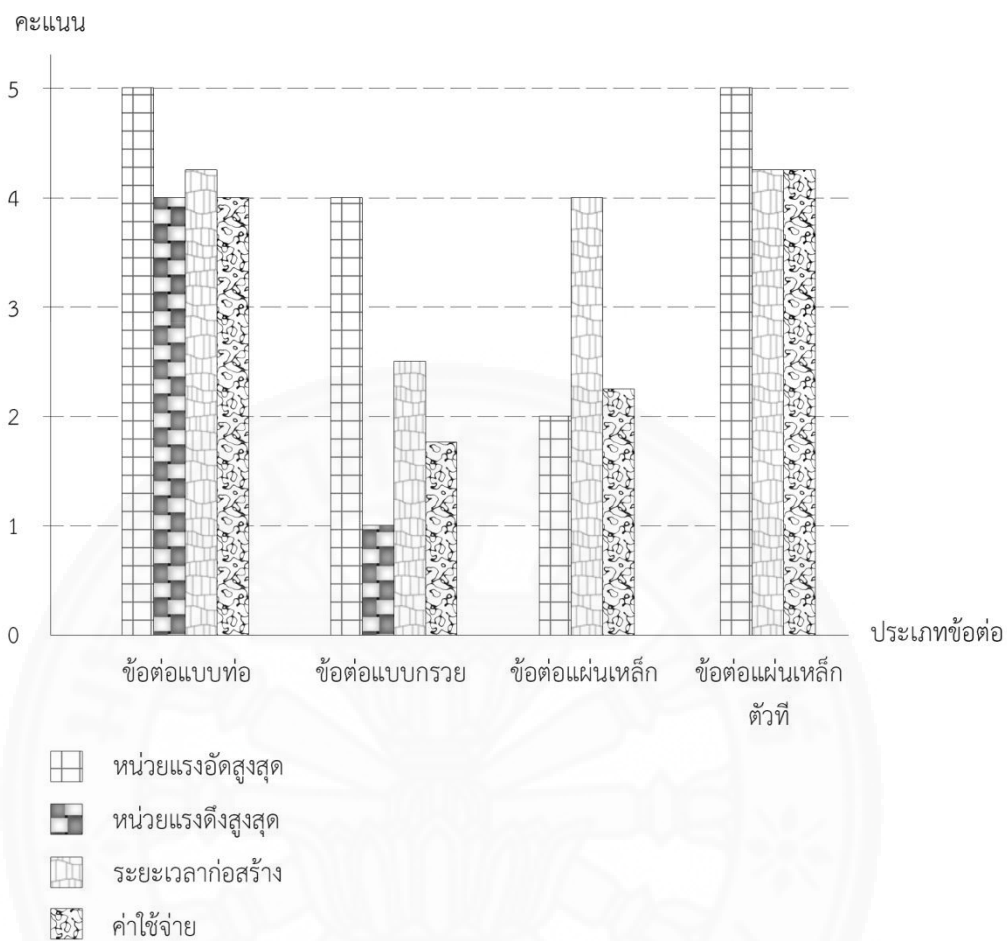
ภาพที่ 5. 1 ความสามารถในการรับแรงอัด-แรงดึงของข้อต่อแต่ละประเภท

ตารางที่ 5.1

ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการรับแรง ระยะเวลาการทำงาน และค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง

รายละเอียด	หน่วยแรงอัดสูงสุด	หน่วยแรงดึงสูงสุด	ระยะเวลาก่อสร้าง	ค่าใช้จ่าย
1. ข้อต่อแบบท่อ				
1.1 ไม่มีอีพ็อกซี	3	1	5	4
1.2 มีอีพ็อกซี				
- ไม่มีสลักเกลียว	3	3	4	3
- มีสลักเกลียว	5	-	4	3
1.3 มีอีพ็อกซี + ทราฮายาบ				
- ไม่มีสลักเกลียว	5	4	4	4
- มีสลักเกลียว	5	5	4	4
2. ข้อต่อแบบกรวย				
2.1 ไม่มีอีพ็อกซี				
- ไม่มีสลักเกลียว	5	-	3	2
- มีสลักเกลียว	4	-	2	2
2.2 มีอีพ็อกซี				
- ไม่มีสลักเกลียว	4	-	3	1
- มีสลักเกลียว	4	-	2	1
2.3 มีอีพ็อกซี + ทราฮายาบ				
- ไม่มีสลักเกลียว	-	1	3	2
- มีสลักเกลียว	-	1	2	2
3. ข้อต่อแบบแผ่นเหล็ก				
3.1 ไม่มีอีพ็อกซี	1	-	4	3
3.2 มีอีพ็อกซี				
- ไม่มีสลักเกลียว	2	-	4	2
- มีสลักเกลียว	3	-	3	2
4. ข้อต่อแบบแผ่นเหล็กตัวที				
4.1 ไม่มีอีพ็อกซี	4	-	5	5
4.2 มีอีพ็อกซี	5	-	4	4
4.3 มีอีพ็อกซี + ทราฮายาบ	5	-	4	4

5 = ดีมาก, 4 = ดี, 3 = พอใช้, 2 = แย่, 1 = แย่มาก



ภาพที่ 5. 2 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการรับแรง ระยะเวลาก่อสร้างและค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการก่อสร้าง

5.2 สรุปผลการวิเคราะห์โครงสร้างโดยแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์

จากการการวิเคราะห์โครงสร้างอาคารโดยแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ ดังแสดงในตารางที่ 4.32 โดยทำการวิเคราะห์การรับแรงในแนวแกนของชิ้นส่วนโครงสร้างสำหรับรับพื้นและรับหลังคา 3 ประเภท ได้แก่ โครงถักแบบแฟลทแพท โครงถักแบบแพท และโครงถักแบบวาร์เรน ในระยะช่วงพาด 3x8, 3x10 และ 3x12 เมตร สามารถสรุปได้ ดังนี้

1. เมื่อมีระยะช่วงพาดที่เพิ่มขึ้น จะทำให้แรงที่เกิดขึ้นตามแนวแกนเพิ่มขึ้นเช่นกัน
2. เมื่อมีแรงมากระทำในปริมาณที่เท่ากัน และมีช่วงพาดที่เท่ากัน โครงถักที่มีปริมาณแรงที่เกิดขึ้นในชิ้นส่วนน้อยที่สุดได้แก่ โครงถักแบบแพท
3. ข้อต่อแบบท่อนเป็นข้อต่อประเภทเดียวที่สามารถรับแรงที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วนโครงถักได้ทั้งโครงถักสำหรับรับพื้นและสำหรับรับหลังคาในทุกระยะช่วงพาด แต่ในบางกรณีจะต้องมีการเติมอิพ็อกซีผสมทรายหยาบเข้าไปเพื่อเป็นตัวช่วยรับแรง
4. ข้อต่อแบบกรวย และข้อต่อแบบแผ่นเหล็ก ไม่สามารถนำมาใช้ร่วมกับโครงถักสำหรับรับพื้นและรับหลังคาได้ในทุกกรณี เมื่อพิจารณาถึงการรับแรงโดยรวมแล้ว
5. ข้อต่อแบบแผ่นเหล็กตัวที่สามารถใช้รับหลังคาได้ในช่วงพาดไม่เกิน 10 เมตรเท่านั้น โดยที่สามารถรับแรงอัดได้ ในส่วนของแรงดึงหากจะนำไปใช้งาน ควรทำการคำนวณหรือทดสอบเพิ่มเติม
6. เมื่อกำหนดให้แรงที่กระทำกับโครงสร้างในแต่ละจุดเท่ากับ 1 แล้ว จะได้แรงอัดและแรงดึงสูงสุดที่กระทำต่อชิ้นส่วนโครงสร้างและกำหนดให้ค่าที่ได้นี้เป็นค่าคงที่ เมื่อต้องการเพิ่มแรงที่กระทำกับโครงสร้าง สามารถนำแรงนั้นมาคูณกับค่าคงที่เพื่อหาแรงสูงสุดที่กระทำต่อชิ้นส่วนในโครงสร้างได้เลย ดังแสดงในตารางที่ 5.2 - ตารางที่ 5.10

โดยที่ เหมาะสม	หมายถึง ข้อต่อสามารถรับได้ทั้งแรงอัดและแรงดึงได้ดี มีค่าก่อสร้างที่ไม่สูง มีระยะเวลาการก่อสร้างที่รวดเร็ว
พอใช้	หมายถึง ข้อต่อสามารถรับแรงอัดหรือแรงดึงได้ดี และมีค่าก่อสร้างที่สูงกว่า
ไม่เหมาะสม	หมายถึง ข้อต่อไม่สามารถรับแรงได้ทั้งแรงอัดและแรงดึง

ตารางที่ 5.2

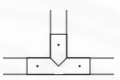
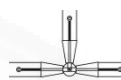
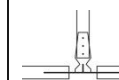
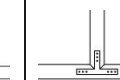
การคำนวณแรงที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วนโครงถักจากการคูณค่าคงที่ที่ได้จากการคำนวณโมเมนต์ทางคอมพิวเตอร์ สำหรับโครงถักแบบแฟลทแพทระยะพาด 8 เมตร

โครงถักแบบแฟลทแพท ระยะพาด 8 เมตร												
แรงที่กระทำกับโครงสร้าง	หลังคา (R)		พื้น (F)									
	แรงอัด	แรงดึง	แรงอัด	แรงดึง	R	F	R	F	R	F	R	F
1	8	7.5	8	7.5	●	●	○	○	○	○	○	○
50	400	375	400	375	●	●	○	○	○	○	○	○
100	800	750	800	750	●	●	×	×	×	×	○	○
150	1,200	1,125	1,200	1,125	●	●	×	×	×	×	○	○
200	1,600	1,500	1,600	1,500	●	●	×	×	×	×	×	×
250	2,000	1,875	2,000	1,875	●	●	×	×	×	×	×	×
300	2,400	2,250	2,400	2,250	●	●	×	×	×	×	×	×
350	2,800	2,625	2,800	2,625	×	×	×	×	×	×	×	×
400	3,200	3,000	3,200	3,000	×	×	×	×	×	×	×	×
450	3,600	3,375	3,600	3,375	×	×	×	×	×	×	×	×
500	4,000	3,750	4,000	3,750	×	×	×	×	×	×	×	×
550	4,400	4,125	4,400	4,125	×	×	×	×	×	×	×	×
600	4,800	4,500	4,800	4,500	×	×	×	×	×	×	×	×

โดยที่ ● = เหมาะสม , ○ = พอใช้ , × = ไม่เหมาะสม

ตารางที่ 5.3

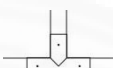

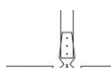

การคำนวณแรงที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วนโครงถักจากการคูณค่าคงที่ที่ได้จากการคำนวณโมเดลทางคอมพิวเตอร์ สำหรับโครงถักแบบแฟลทแพทระยะพาด 10 เมตร

โครงถักแบบแฟลทแพท ระยะพาด 10 เมตร												
แรงที่กระทำกับโครงสร้าง	หลังคา (R)		พื้น (F)									
	แรงอัด	แรงดึง	แรงอัด	แรงดึง	R	F	R	F	R	F	R	F
1	12.5	12	12.5	12	●	●	○	○	○	○	○	○
50	625	600	625	600	●	●	○	○	×	×	○	○
100	1,250	1,200	1,250	1,200	●	●	×	×	×	×	○	○
150	1,875	1,800	1,875	1,800	●	●	×	×	×	×	×	×
200	2,500	2,400	2,500	2,400	●	●	×	×	×	×	×	×
250	3,125	3,000	3,125	3,000	×	×	×	×	×	×	×	×
300	3,750	3,600	3,750	3,600	×	×	×	×	×	×	×	×
350	4,375	4,200	4,375	4,200	×	×	×	×	×	×	×	×
400	5,000	4,800	5,000	4,800	×	×	×	×	×	×	×	×
450	5,625	5,400	5,625	5,400	×	×	×	×	×	×	×	×
500	6,250	6,000	6,250	6,000	×	×	×	×	×	×	×	×
550	6,875	6,600	6,875	6,600	×	×	×	×	×	×	×	×
600	7,500	7,200	7,500	7,200	×	×	×	×	×	×	×	×

โดยที่ ● = เหมาะสม , ○ = พอใช้ , × = ไม่เหมาะสม

ตารางที่ 5.4

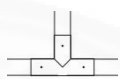
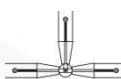
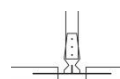

การคำนวณแรงที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วนโครงถักจากการคูณค่าคงที่ที่ได้จากการคำนวณโมเมนต์ทางคอมพิวเตอร์ สำหรับโครงถักแบบแฟลทแพทระยะพาด 12 เมตร

โครงถักแบบแฟลทแพท ระยะพาด 12 เมตร												
แรงที่กระทำกับโครงสร้าง	หลังคา (R)		พื้น (F)									
	แรงอัด	แรงดึง	แรงอัด	แรงดึง	R	F	R	F	R	F	R	F
1	18	17.5	18	17.5	●	●	○	○	○	○	○	○
50	900	875	900	875	●	●	×	×	×	×	○	○
100	1,800	1,750	1,800	1,750	●	●	×	×	×	×	×	×
150	2,700	2,625	2,700	2,625	×	×	×	×	×	×	×	×
200	3,600	3,500	3,600	3,500	×	×	×	×	×	×	×	×
250	4,500	4,375	4,500	4,375	×	×	×	×	×	×	×	×
300	5,400	5,250	5,400	5,250	×	×	×	×	×	×	×	×
350	6,300	6,125	6,300	6,125	×	×	×	×	×	×	×	×
400	7,200	7,000	7,200	7,000	×	×	×	×	×	×	×	×
450	8,100	7,875	8,100	7,875	×	×	×	×	×	×	×	×
500	9,000	8,750	9,000	8,750	×	×	×	×	×	×	×	×
550	9,900	9,625	9,900	9,625	×	×	×	×	×	×	×	×
600	10,800	10,500	10,800	10,500	×	×	×	×	×	×	×	×

โดยที่ ● = เหมาะสม , ○ = พอใช้ , × = ไม่เหมาะสม

ตารางที่ 5.5

การคำนวณแรงที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วนโครงถักจากการคูณค่าคงที่ที่ได้จากการคำนวณโมเมนต์ทางคอมพิวเตอร์ สำหรับโครงถักแบบวาร์เรนระยะพาด 8 เมตร

โครงถักแบบวาร์เรน ระยะพาด 8 เมตร												
แรงที่กระทำกับ โครงสร้าง	หลังคา (R)		พื้น (F)									
	แรงอัด	แรงดึง	แรงอัด	แรงดึง	R	F	R	F	R	F	R	F
1	7.75	7.75	7.75	7.75	●	●	○	○	○	○	○	○
50	387.5	387.5	387.5	387.5	●	●	○	○	○	○	○	○
100	775	775	775	775	●	●	×	×	×	×	○	○
150	1,162.5	1,162.5	1,162.5	1,162.5	●	●	×	×	×	×	○	○
200	1,550	1,550	1,550	1,550	●	●	×	×	×	×	×	×
250	1,937.5	1,937.5	1,937.5	1,937.5	×	×	×	×	×	×	×	×
300	2,325	2,325	2,325	2,325	×	×	×	×	×	×	×	×
350	2,712.5	2,712.5	2,712.5	2,712.5	×	×	×	×	×	×	×	×
400	3,100	3,100	3,100	3,100	×	×	×	×	×	×	×	×
450	3,487.5	3,487.5	3,487.5	3,487.5	×	×	×	×	×	×	×	×
500	3,875	3,875	3,875	3,875	×	×	×	×	×	×	×	×
550	4,262.5	4,262.5	4,262.5	4,262.5	×	×	×	×	×	×	×	×
600	4,650	4,650	4,650	4,650	×	×	×	×	×	×	×	×

โดยที่ ● = เหมาะสม , ○ = พอใช้ , × = ไม่เหมาะสม

ตารางที่ 5.6

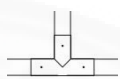
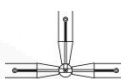
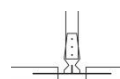

การคำนวณแรงที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วนโครงถักจากการคูณค่าคงที่ที่ได้จากการคำนวณโมเมนต์ทางคอมพิวเตอร์ สำหรับโครงถักแบบวาร์เรนระยะพาด 10 เมตร

โครงถักแบบวาร์เรน ระยะพาด 10 เมตร												
แรงที่กระทำกับ โครงสร้าง	หลังคา (R)		พื้น (F)									
	แรงอัด	แรงดึง	แรงอัด	แรงดึง	R	F	R	F	R	F	R	F
1	12.25	12.25	12.25	12.25	●	●	○	○	○	○	○	○
50	612.5	612.5	612.5	612.5	●	●	○	○	○	○	○	○
100	1,225	1,225	1,225	1,225	●	●	×	×	×	×	○	○
150	1,837.5	1,837.5	1,837.5	1,837.5	●	●	×	×	×	×	×	×
200	2,450	2,450	2,450	2,450	●	●	×	×	×	×	×	×
250	3,062.5	3,062.5	3,062.5	3,062.5	×	×	×	×	×	×	×	×
300	3,675	3,675	3,675	3,675	×	×	×	×	×	×	×	×
350	4,287.5	4,287.5	4,287.5	4,287.5	×	×	×	×	×	×	×	×
400	4,900	4,900	4,900	4,900	×	×	×	×	×	×	×	×
450	5,512.5	5,512.5	5,512.5	5,512.5	×	×	×	×	×	×	×	×
500	6,125	6,125	6,125	6,125	×	×	×	×	×	×	×	×
550	6,737.5	6,737.5	6,737.5	6,737.5	×	×	×	×	×	×	×	×
600	7,350	7,350	7,350	7,350	×	×	×	×	×	×	×	×

โดยที่ ● = เหมาะสม , ○ = พอใช้ , × = ไม่เหมาะสม

ตารางที่ 5.7

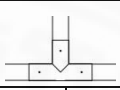
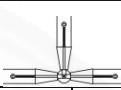
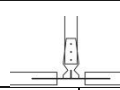
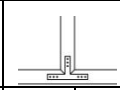
การคำนวณแรงที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วนโครงถักจากการคูณค่าคงที่ที่ได้จากการคำนวณโมเมนต์ทางคอมพิวเตอร์ สำหรับโครงถักแบบวาร์เรนระยะพาด 12 เมตร

โครงถักแบบวาร์เรน ระยะพาด 12 เมตร												
แรงที่กระทำกับ โครงสร้าง	หลังคา (R)		พื้น (F)									
	แรงอัด	แรงดึง	แรงอัด	แรงดึง	R	F	R	F	R	F	R	F
1	17.75	17.75	17.75	17.75	●	●	○	○	○	○	○	○
50	887.5	887.5	887.5	887.5	●	●	×	×	×	×	○	○
100	1,775	1,775	1,775	1,775	●	●	×	×	×	×	×	×
150	2,662.5	2,662.5	2,662.5	2,662.5	●	●	×	×	×	×	×	×
200	3,550	3,550	3,550	3,550	×	×	×	×	×	×	×	×
250	4,437.5	4,437.5	4,437.5	4,437.5	×	×	×	×	×	×	×	×
300	5,325	5,325	5,325	5,325	×	×	×	×	×	×	×	×
350	6,212.5	6,212.5	6,212.5	6,212.5	×	×	×	×	×	×	×	×
400	7,100	7,100	7,100	7,100	×	×	×	×	×	×	×	×
450	7,987.5	7,987.5	7,987.5	7,987.5	×	×	×	×	×	×	×	×
500	8,875	8,875	8,875	8,875	×	×	×	×	×	×	×	×
550	9,762.5	9,762.5	9,762.5	9,762.5	×	×	×	×	×	×	×	×
600	10,650	10,650	10,650	10,650	×	×	×	×	×	×	×	×

โดยที่ ● = เหมาะสม , ○ = พอใช้ , × = ไม่เหมาะสม

ตารางที่ 5.8

การคำนวณแรงที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วนโครงถักจากการคูณค่าคงที่ที่ได้จากการคำนวณโมเดลทางคอมพิวเตอร์ สำหรับโครงถักแบบแปรรระยะพาด 8 เมตร

โครงถักแบบแปรร ระยะพาด 8 เมตร												
แรงที่กระทำกับโครงสร้าง	หลังคา (R)		พื้น (F)									
	แรงอัด	แรงดึง	แรงอัด	แรงดึง	R	F	R	F	R	F	R	F
1	4.48	4.28	-	-	●	-	○	-	○	-	○	-
50	224	214	-	-	●	-	○	-	○	-	○	-
100	448	428	-	-	●	-	○	-	○	-	○	-
150	672	642	-	-	●	-	○	-	×	-	○	-
200	896	856	-	-	●	-	×	-	×	-	○	-
250	1,120	1,070	-	-	●	-	×	-	×	-	○	-
300	1,344	1,284	-	-	●	-	×	-	×	-	○	-
350	1,568	1,498	-	-	●	-	×	-	×	-	×	-
400	1,792	1,712	-	-	●	-	×	-	×	-	×	-
450	2,016	1,926	-	-	●	-	×	-	×	-	×	-
500	2,240	2,140	-	-	●	-	×	-	×	-	×	-
550	2,464	2,354	-	-	●	-	×	-	×	-	×	-
600	2,688	2,568	-	-	●	-	×	-	×	-	×	-

โดยที่ ● = เหมาะสม , ○ = พอใช้ , × = ไม่เหมาะสม

ตารางที่ 5.9

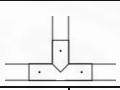
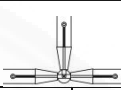
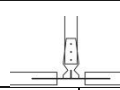
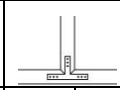
การคำนวณแรงที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วนโครงถักจากการคูณค่าคงที่ที่ได้จากการคำนวณโมเดลทางคอมพิวเตอร์ สำหรับโครงถักแบบแพทระยะพาด 10 เมตร

โครงถักแบบแพท ระยะพาด 10 เมตร												
แรงที่กระทำกับโครงสร้าง	หลังคา (R)		พื้น (F)									
	แรงอัด	แรงดึง	แรงอัด	แรงดึง	R	F	R	F	R	F	R	F
1	6.80	6.67	-	-	●	-	○	-	○	-	○	-
50	340	333.5	-	-	●	-	○	-	○	-	○	-
100	680	667	-	-	●	-	○	-	×	-	○	-
150	1,020	1,000.5	-	-	●	-	×	-	×	-	○	-
200	1,360	1,334	-	-	●	-	×	-	×	-	○	-
250	1,700	1,667.5	-	-	●	-	×	-	×	-	×	-
300	2,040	2,001	-	-	●	-	×	-	×	-	×	-
350	2,380	2,334.5	-	-	●	-	×	-	×	-	×	-
400	2,720	2,668	-	-	×	-	×	-	×	-	×	-
450	3,060	3,001.5	-	-	×	-	×	-	×	-	×	-
500	3,400	3,335	-	-	×	-	×	-	×	-	×	-
550	3,740	3,668.5	-	-	×	-	×	-	×	-	×	-
600	4,080	4,002	-	-	×	-	×	-	×	-	×	-

โดยที่ ● = เหมาะสม , ○ = พอใช้ , × = ไม่เหมาะสม

ตารางที่ 5.10

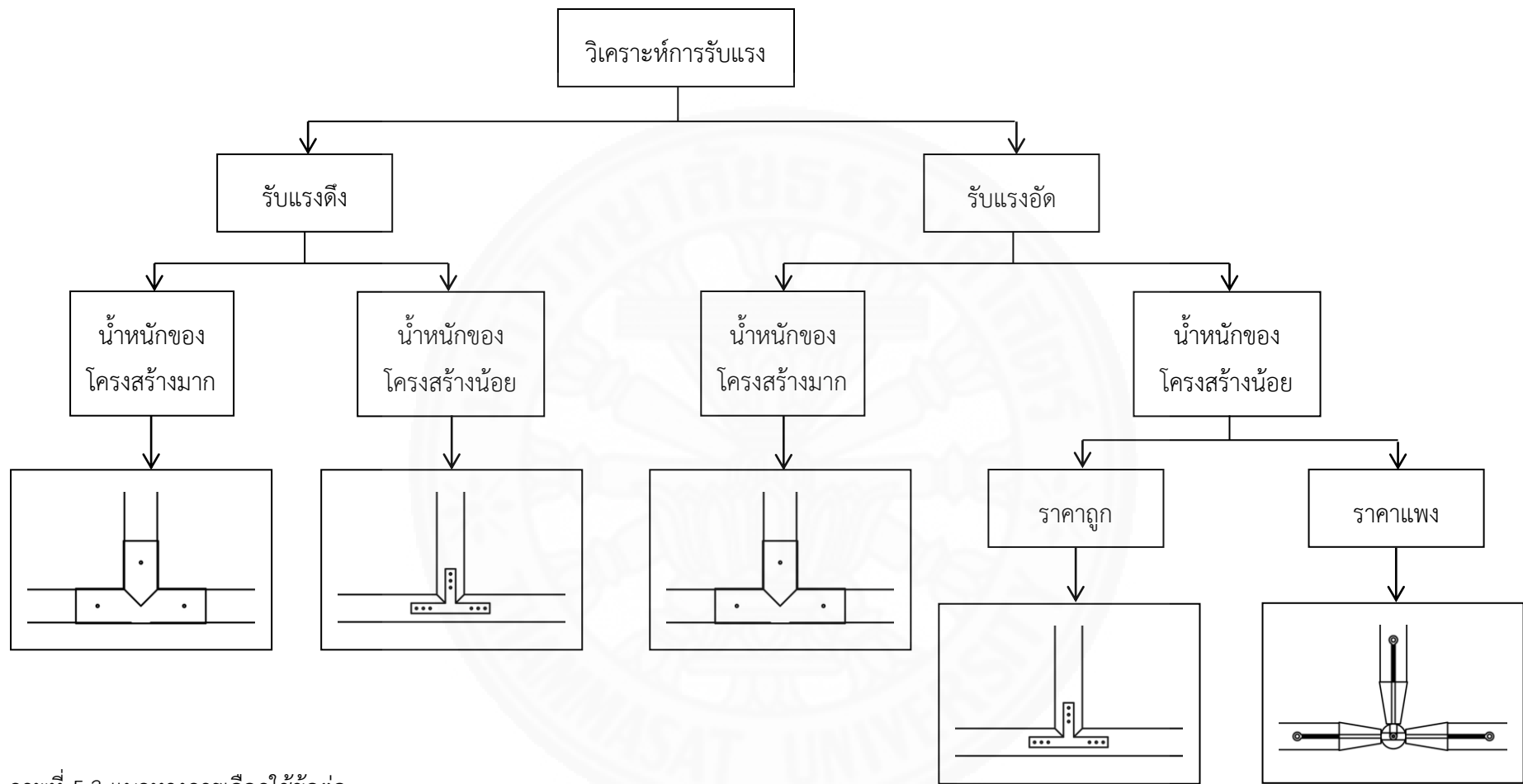
การคำนวณแรงที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วนโครงถักจากการคูณค่าคงที่ที่ได้จากการคำนวณโมเดลทางคอมพิวเตอร์ สำหรับโครงถักแบบแพทระยะพาด 12 เมตร

โครงถักแบบแพท ระยะพาด 12 เมตร												
แรงที่กระทำกับโครงสร้าง	หลังคา (R)		พื้น (F)									
	แรงอัด	แรงดึง	แรงอัด	แรงดึง	R	F	R	F	R	F	R	F
1	9.73	9.6	-	-	●	-	○	-	○	-	○	-
50	486.5	480	-	-	●	-	○	-	○	-	○	-
100	973	960	-	-	●	-	×	-	×	-	○	-
150	1,459.5	1,440	-	-	●	-	×	-	×	-	×	-
200	1,946	1,920	-	-	●	-	×	-	×	-	×	-
250	2,432.5	2,400	-	-	●	-	×	-	×	-	×	-
300	2,919	2,880	-	-	×	-	×	-	×	-	×	-
350	3,405.5	3,360	-	-	×	-	×	-	×	-	×	-
400	3,892	3,840	-	-	×	-	×	-	×	-	×	-
450	4,378.5	4,320	-	-	×	-	×	-	×	-	×	-
500	4,865	4,800	-	-	×	-	×	-	×	-	×	-
550	5,351.5	5,280	-	-	×	-	×	-	×	-	×	-
600	5,838	5,760	-	-	×	-	×	-	×	-	×	-

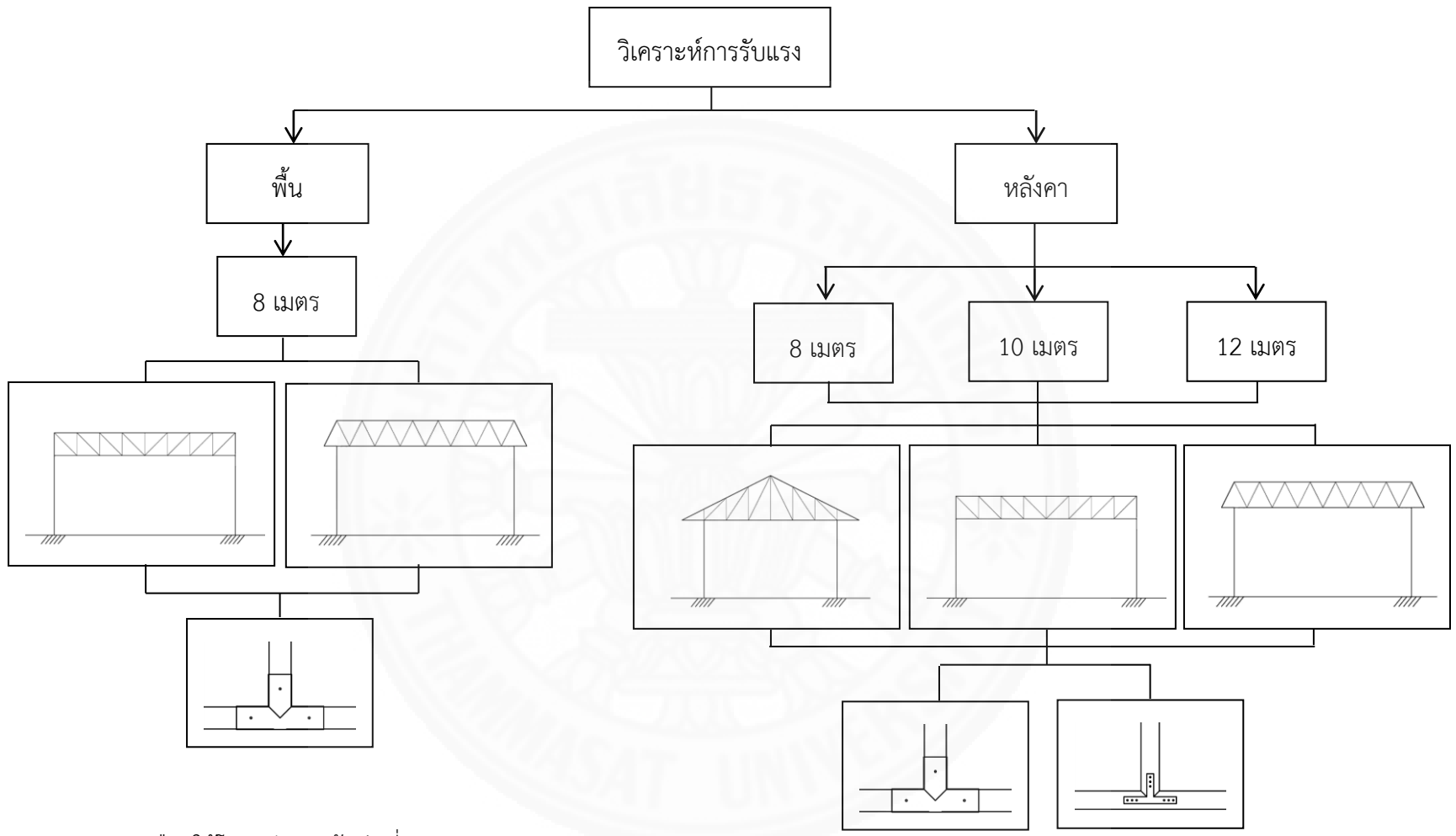
โดยที่ ● = เหมาะสม , ○ = พอใช้ , × = ไม่เหมาะสม

5.3 แนวทางการนำไปใช้ในงานโครงสร้างทางสถาปัตยกรรม

การออกแบบโครงสร้างอาคารช่วงพาดยาวโดยใช้โครงถักเป็นโครงสร้างในการรับแรงใช้วิธีการทดสอบ การคำนวณและการจำลองโครงสร้างเพื่อวิเคราะห์หารูปแบบข้อต่อที่เหมาะสมกับการนำไปใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงข้อจำกัดของวัสดุที่นำมาใช้กับข้อต่อด้วย อาทิ การใช้อีพ็อกซีในการเชื่อมต่อระหว่างลำไผ่กับข้อต่อเหล็ก หากมีการผสมอีพ็อกซีในอัตราส่วนที่ไม่ถูกต้องเมื่ออีพ็อกซีแห้งจะเกิดการหดตัวทำให้เสียแรงยึดเกาะกันระหว่างลำไผ่กับอีพ็อกซี อีกทั้งการนำไปใช้งานควรคำนึงถึงลักษณะการรับแรงและรูปแบบของโครงถัก เนื่องจากข้อต่อแต่ละประเภทมีความสามารถในการรับแรงอัดและแรงดึงที่แตกต่างกัน มีค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างและระยะเวลาในการก่อสร้างที่ต่างกัน การเลือกใช้ข้อต่อจึงควรคำนึงถึงหลายๆ ปัจจัยที่มีความเกี่ยวข้องด้วย ดังแสดงในภาพที่ 5.3 – ภาพที่ 5.4



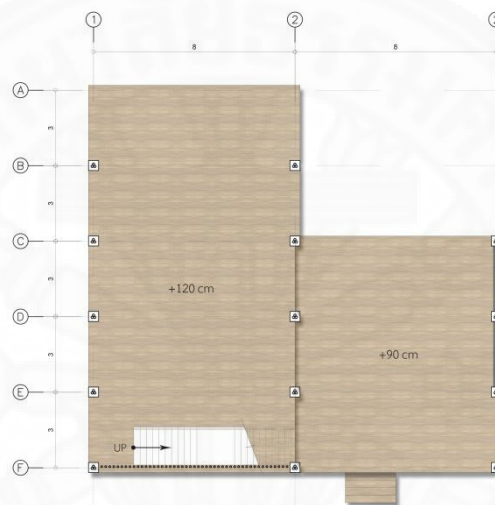
ภาพที่ 5.3 แนวทางการเลือกใช้ข้อต่อ



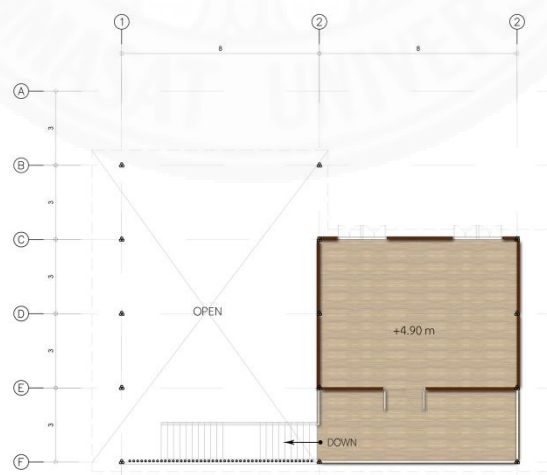
ภาพที่ 5.4 แนวทางการเลือกใช้โครงถักและข้อต่อที่เหมาะสม

5.4 ตัวอย่างการออกแบบอาคารสาธารณะขนาดเล็กโดยใช้โครงถักไม้ไผ่

ตัวอย่างอาคารเป็นอาคารสาธารณะสองชั้นขนาดเล็ก มีพื้นที่ใช้งาน 264 ตร.ม. เป็นพื้นที่ลานอเนกประสงค์สำหรับใช้จัดแสดงนิทรรศการหรือทำกิจกรรมต่างๆ ใช้โครงถักแบบแพลทแพลทสำหรับโครงสร้างรับหลังคา โดยใช้ข้อต่อแบบแผ่นเหล็กรูปตัวทีเป็นตัวเชื่อมต่อชิ้นส่วนโครงถัก หลังคาเป็นหลังคาเมทัลชีท สำหรับโครงสร้างรับพื้น ใช้โครงถักแบบแพลทแพลทและใช้ข้อต่อแบบท่อนเป็นตัวเชื่อมต่อชิ้นส่วนโครงถัก โดยที่พื้นเป็นพื้นไม้ลามิเนตหนา 3/4”



ภาพที่ 5.5 ผังพื้นชั้น 1



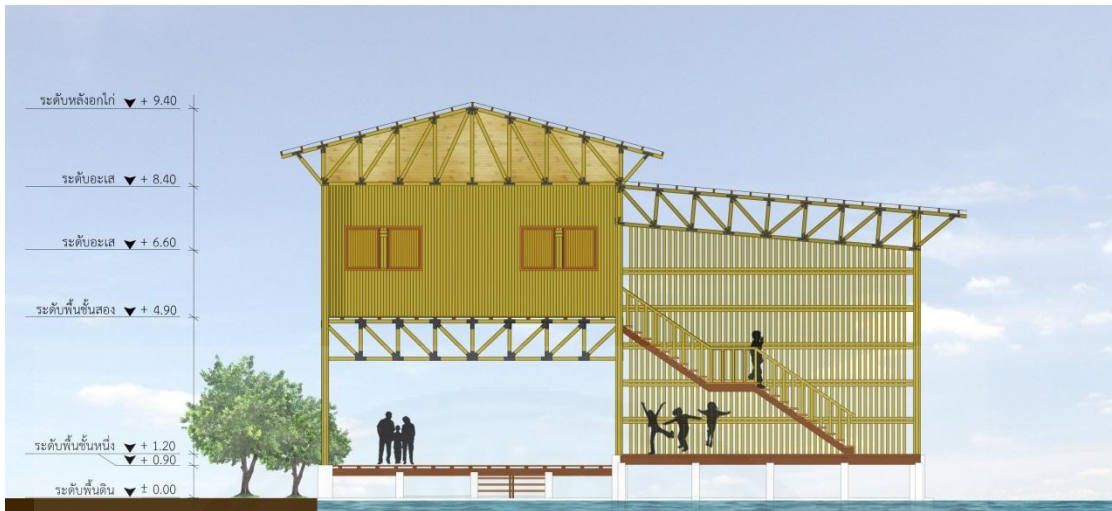
ภาพที่ 5.6 ผังพื้นชั้น 2



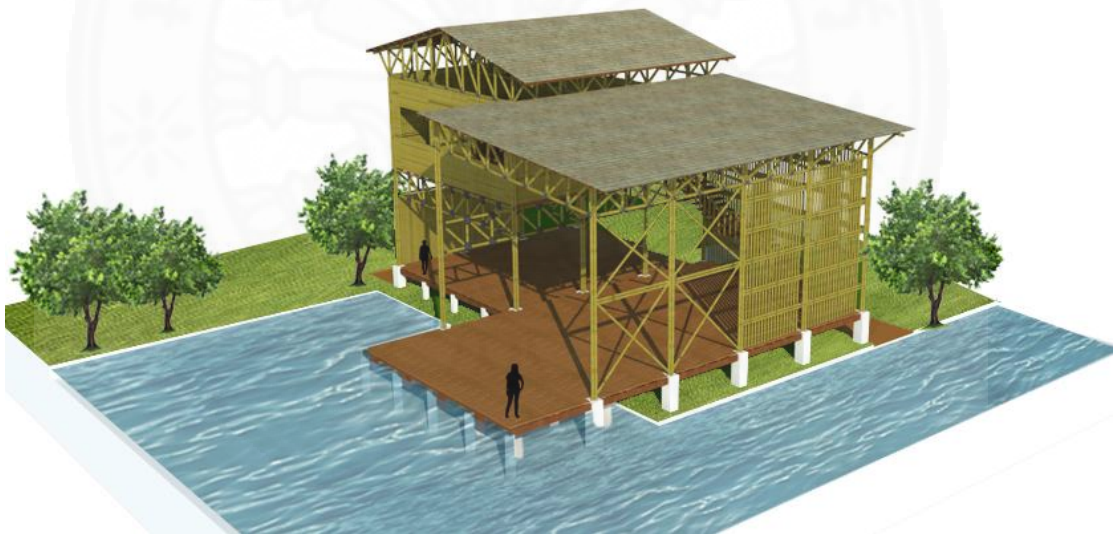
ภาพที่ 5.7 รูปด้านที่ 1



ภาพที่ 5.8 รูปด้านที่ 2



ภาพที่ 5.9 รูปด้านที่ 3



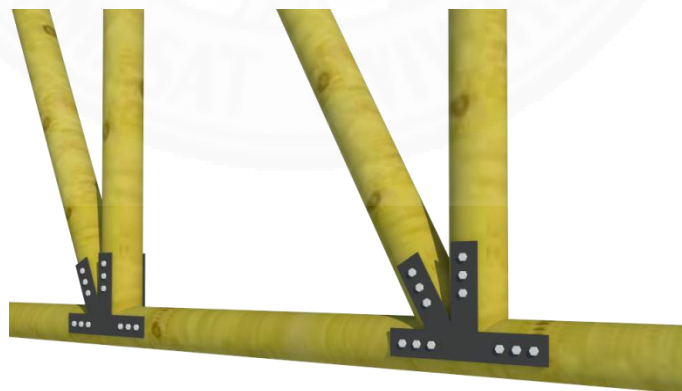
ภาพที่ 5.10 ทัศนียภาพของอาคารไม้ไผ่



ภาพที่ 5.11 ทัศนียภาพของอาคารไม้ไผ่



ภาพที่ 5.12 โครงถักที่เชื่อมต่อชิ้นส่วนด้วยข้อต่อแบบท่อน



ภาพที่ 5.13 โครงถักที่เชื่อมต่อชิ้นส่วนด้วยข้อต่อแบบแผ่นเหล็กตัวที

5.5 ข้อเสนอแนะในการวิจัย

5.5.1 ข้อจำกัดในการนำข้อต่อมาใช้งาน

1. ข้อต่อแต่ละประเภทมีความสามารถในการรับแรงดึงและแรงอัดแตกต่างกัน ดังนั้นในการนำมาใช้ควรคำนึงถึงลักษณะของการรับแรงของโครงถักกว่ามีการรับแรงดึงหรือแรงอัดมากกว่ากัน

2. ข้อต่อแต่ละประเภทสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับโครงสร้างไม้ไผ่รูปแบบอื่นๆ ที่ไม่ใช่โครงถักเพียงอย่างเดียว โดยการนำไปใช้สามารถพิจารณาได้จากลักษณะการรับแรงของโครงสร้างบริเวณที่จะใช้ข้อต่อว่ามีการรับแรงรูปแบบใด

3. เนื่องจากผิวอวี่พ็อกซี่และผิวของไม้มีความลื่น ดังนั้นการใช้อวี่พ็อกซี่เป็นตัวเชื่อมประสานระหว่างข้อต่อเหล็กกับวัสดุไม้ ควรมีการผสมทรายหยาบและควรลอกผิวภายนอกของไม้ที่มีความลื่นออกเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการยึดเกาะกันระหว่างอวี่พ็อกซี่กับวัสดุไม้

4. ในการใช้งานควรเลือกใช้ไม้ที่ผ่านการอบแห้งแล้วเนื่องจากไม้สดจะมีความชื้นสูงทำให้เกิดการหดตัวมากเมื่อระยะเวลาผ่านไป หากมีการใช้สลักเกลียวในการเชื่อมระหว่างไม้กับข้อต่อเหล็กสลักเกลียวจะเกิดการคลายตัวและหากใช้อวี่พ็อกซี่ในการเชื่อมระหว่างไม้กับข้อต่อเหล็กเมื่อไม้หดตัวจะเกิดช่องว่างขึ้นระหว่างอวี่พ็อกซี่และไม้ทำให้สูญเสียการยึดเกาะและไม้อาจหลุดออกจากข้อต่อได้

5. การทดสอบความสามารถในการรับแรงดึงนั้น ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบข้อต่อเพียง 2 ประเภท ได้แก่ ข้อต่อแบบท่อน และข้อต่อแบบกรวย เนื่องจากข้อจำกัดทางด้านเครื่องมือที่ใช้ทดสอบ ดังนั้นการนำข้อต่อประเภทอื่นๆ ไปใช้ ควรทำการทดสอบความสามารถในการรับแรงดึงเพิ่มเติมเพื่อความถูกต้อง หรืออาจจะใช้การคำนวณความสามารถในการรับแรงจากพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างอวี่พ็อกซี่กับวัสดุไม้ได้โดยอ้างอิงจากผลการทดสอบข้อต่อแบบท่อน

6. การเพิ่มคุณภาพของข้อต่อเหล็กโดยการใช้เหล็กที่มีความหนามากขึ้นหรือมีการควบคุมคุณภาพในการผลิตข้อต่อที่ได้มาตรฐาน จะสามารถเพิ่มความสามารถในการรับแรงของข้อต่อได้มากขึ้น

5.5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต

1. การศึกษาในงานวิจัยนี้ ศึกษาเปรียบเทียบเฉพาะความสามารถในการรับแรงดึงและแรงอัดของข้อต่อเหล็กประเภทต่างๆ เท่านั้น ไม่ได้นำไปเปรียบเทียบกับความสามารถในการรับแรงของข้อต่อไม้ไผ่หรือข้อต่อประเภทอื่นๆ

2. การทดสอบคุณสมบัติการรับแรงโดยใช้อีพ็อกซีผสมกับทรายหยาบเบอร์ 50 ในอัตราส่วน 1:2 เป็นตัวเชื่อมระหว่างข้อต่อเหล็กกับไม้ สามารถศึกษาและทำการทดสอบอัตราส่วนที่แตกต่างและหลากหลายมากขึ้น เช่น 1:1, 1:3 หรือ 1:4 และความหนาของอีพ็อกซีที่ใช้ เช่น 1, 1.5, 2 หรือ 2.5 เซนติเมตร เพื่อนำมาสู่ข้อสรุปขอบเขตของอัตราส่วนและความหนาที่เหมาะสมและทำให้ประสิทธิภาพในการรับแรงสูงสุด

3. จากการนำทรายหยาบมาผสมกับอีพ็อกซีทำให้ความสามารถในการรับแรงของข้อต่อเพิ่มขึ้น ดังนั้นในการศึกษาต่อไปควรนำวัสดุอื่นมาที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกันมาเป็นส่วนผสมในการทดสอบ อาทิ ซีเมนต์ไม้อัด เส้นใยธรรมชาติ หรือการใช้วัสดุประสานอื่นที่ไม่ใช่อีพ็อกซี เพื่อนำมาศึกษาเปรียบเทียบต่อไป

รายการอ้างอิง

หนังสือ

มนัส อนุศิริ. (2545). *การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก*. กรุงเทพฯ, ซีเอ็ดดูเคชั่น.

บทความวารสาร

มงคล นามลักษณะ และ พิเชษฐ์ เมฆแสน. (2556). *อิทธิพลของข้อปล้อง ขนาดหน้าตัด และปริมาณความชื้นต่อกำลังรับแรงดึงของไม้ไผ่*. วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม 9, 2: 84-96.

วิทยานิพนธ์

ชุติมณฑน์ เสียงสุทิววงศ์. (2556). *การศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุไม้ประเภทที่ทำจากพันธุ์ไม้ไทยเพื่อใช้ออกแบบคานไม้สำหรับอาคารสาธารณะขนาดเล็ก*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง.

ฐิติกุล ภาคศิริ. (2540). *สมบัติทางกายภาพเชิงกลของไม้ไผ่ตง*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, คณะวนศาสตร์.

ณฤทธิ์ ไชยศิริ. (2547). *โครงสร้างไม้ไผ่ช่วงพาดกว้าง*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์.

ทรงเกียรติ เทียธิทรัพย์. (2544). *เทคโนโลยีการก่อสร้างอาคารด้วยไม้ไผ่*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์.

ภพฐิตา พงศ์ธนา. (2557). *การศึกษาความสามารถการรับน้ำหนักของโครงสร้างไม้โดยวิธีการรวบลำเพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบสถาปัตยกรรม*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง.

เอกลักษณ์ คงยนต์. (2554). *พฤติกรรมการรับแรงดัดของลำไม้ไผ่ตง*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, คณะวิศวกรรมศาสตร์.

สื่ออิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. (5 พฤศจิกายน 2557). โครงถักหลังคา. สืบค้น
จาก <http://kmcenter.rid.go.th/kmc14/design/ekp/ekp11.pdf>.



REFERENCES

Books

Institute for Lightweight Structure. (1985). *IL 31 Bamboo-Bambus*. University of Stuttgart, Germany.

Articles

GUZMAN David, Phd. *Connections and slab for bamboo constructions*. Report Laboratory of Construction and Conservation, Swiss Federal Institute of Technology EPFL, Switzerland.

Thesises

Andry Widyowijatnoko. (2012). *Traditional and Innovative Joints In Bamboo Construction*. Phd Thesis, Faculty of Architecture, RWTH Aachen University, Germany.

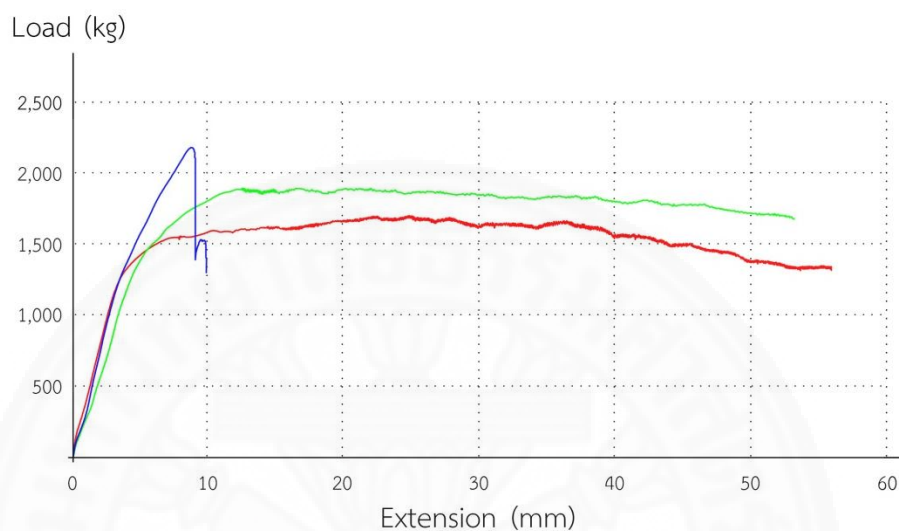
Julius Joseph Antonius Janssen. (1981). *Bamboo In Building Structures*. Phd Thesis, Technical Sciences, Eindhoven University, Netherland.

Maarten J. Vaessen and Jules J.A. Janssen. (1997). *Analysis of the critical length of culms of bamboo in four-point bending tests*. Thesis, Faculty of Architecture and Building, Eindhoven University, Netherland.

Electronic Media

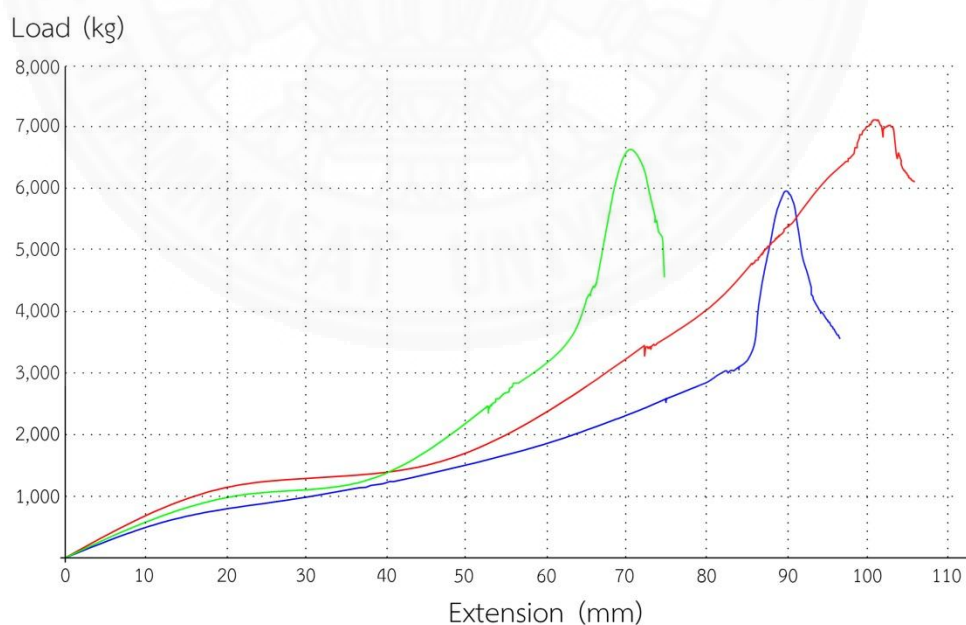
Bambus. (2014, November 8). *Bamboo Connections*. Retrieved from <http://bambus/new/eng/report/connection/index/pdf.html>

ภาคผนวก ก
ความสามารถในการรับแรงของข้อต่อ



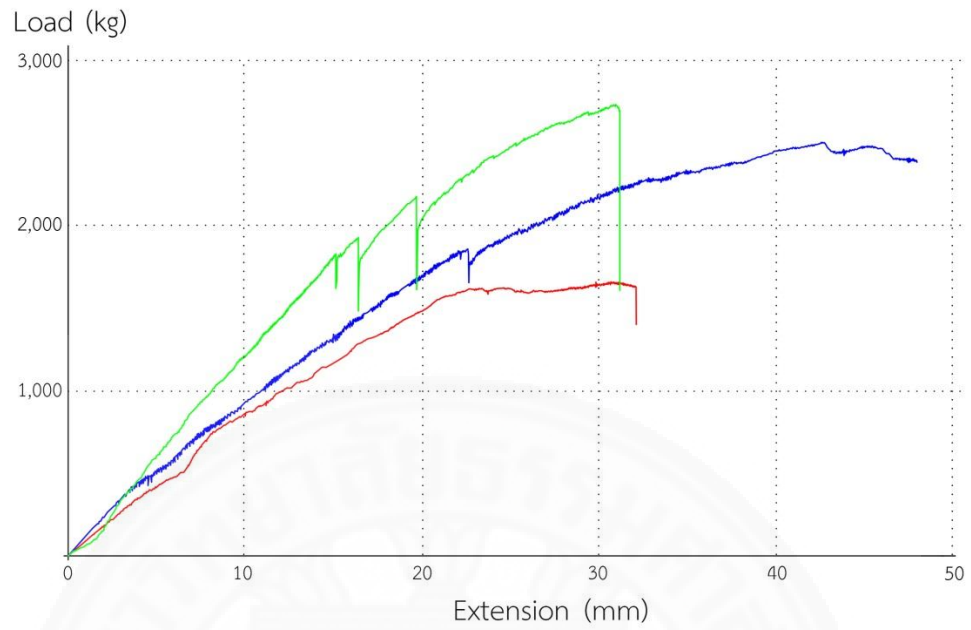
ภาพที่ ก-1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและการหดตัวของข้อต่อแบบท่อ

ที่มา: ผู้วิจัย



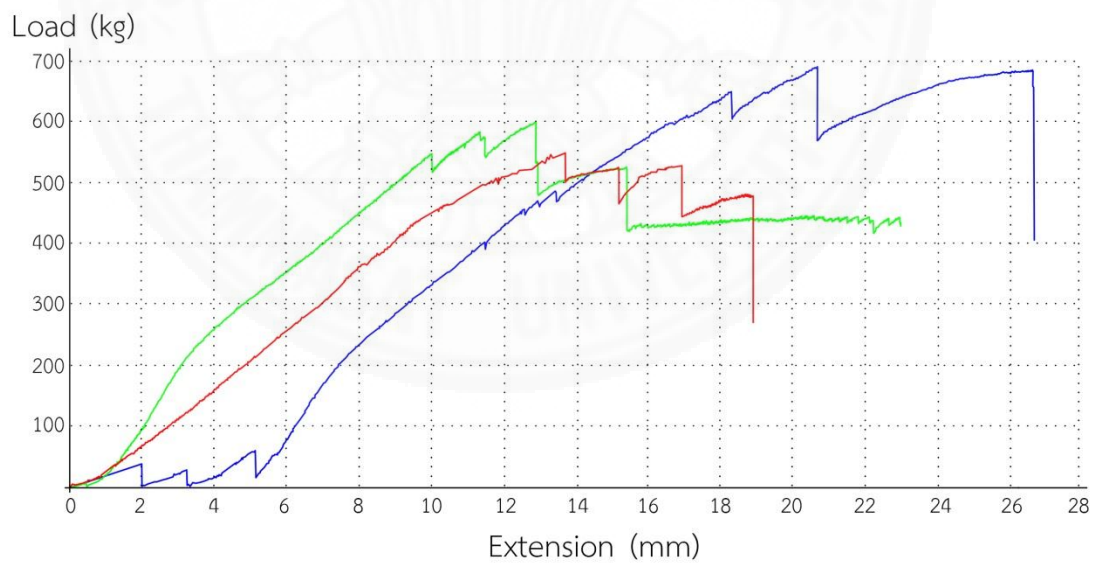
ภาพที่ ก-2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและการหดตัวของข้อต่อแบบกรวยไม่มีสลักเกลียว

ที่มา: ผู้วิจัย



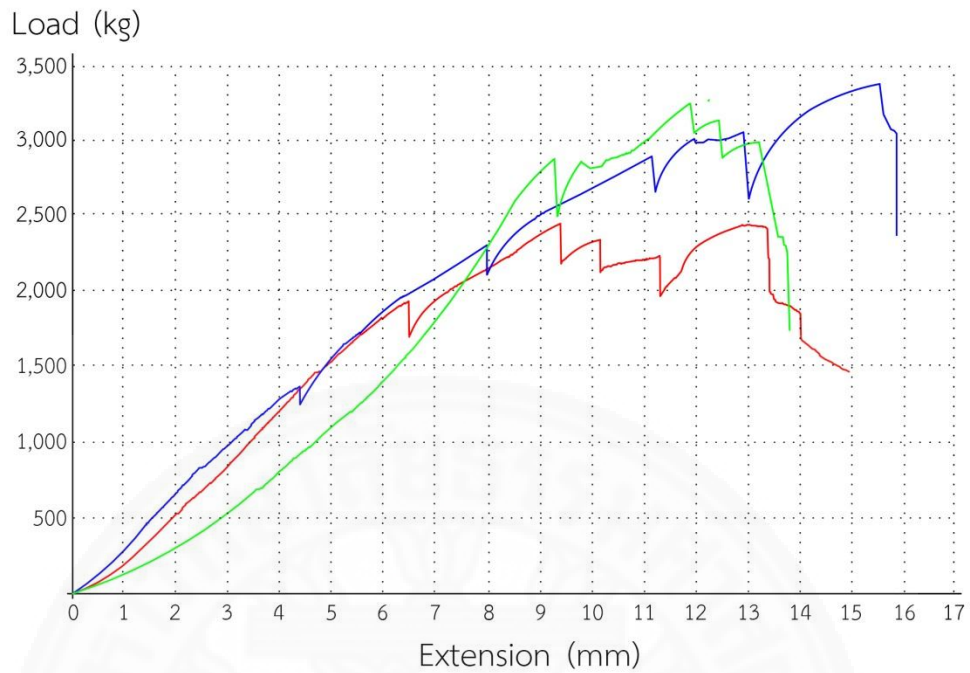
ภาพที่ ก-3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและการหดตัวของข้อต่อแบบกรวยมีสลักเกลียว

ที่มา: ผู้วิจัย



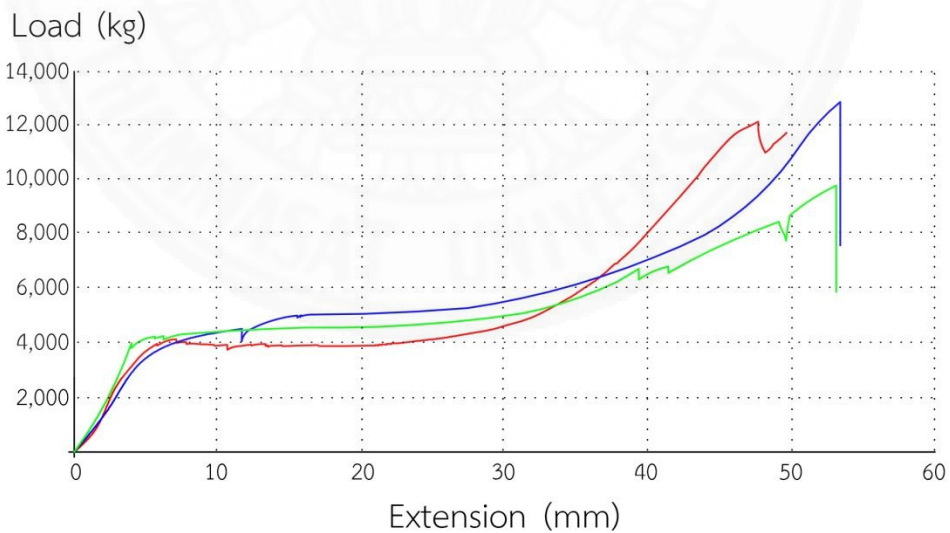
ภาพที่ ก-4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและการหดตัวของข้อต่อแบบแผ่นเหล็ก

ที่มา: ผู้วิจัย



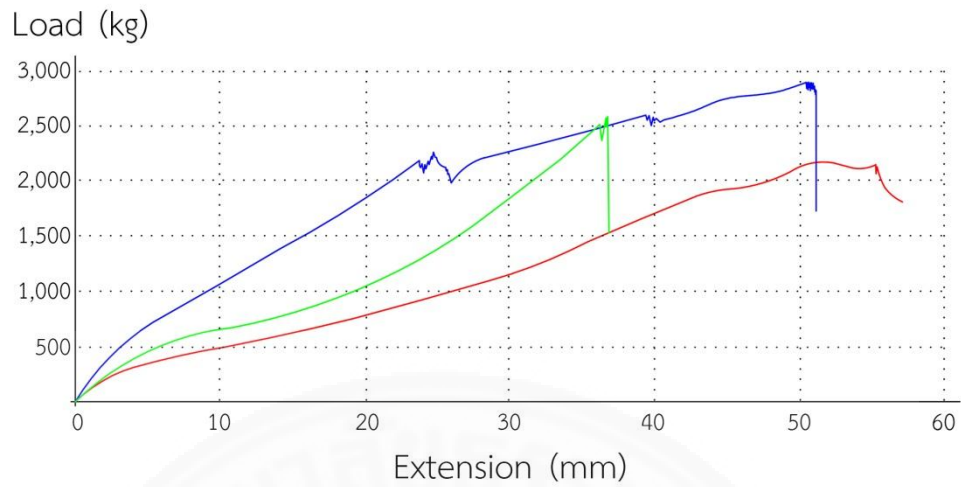
ภาพที่ ก-5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและการหดตัวของข้อต่อแบบแผ่นเหล็กตัวที่

ที่มา: ผู้วิจัย



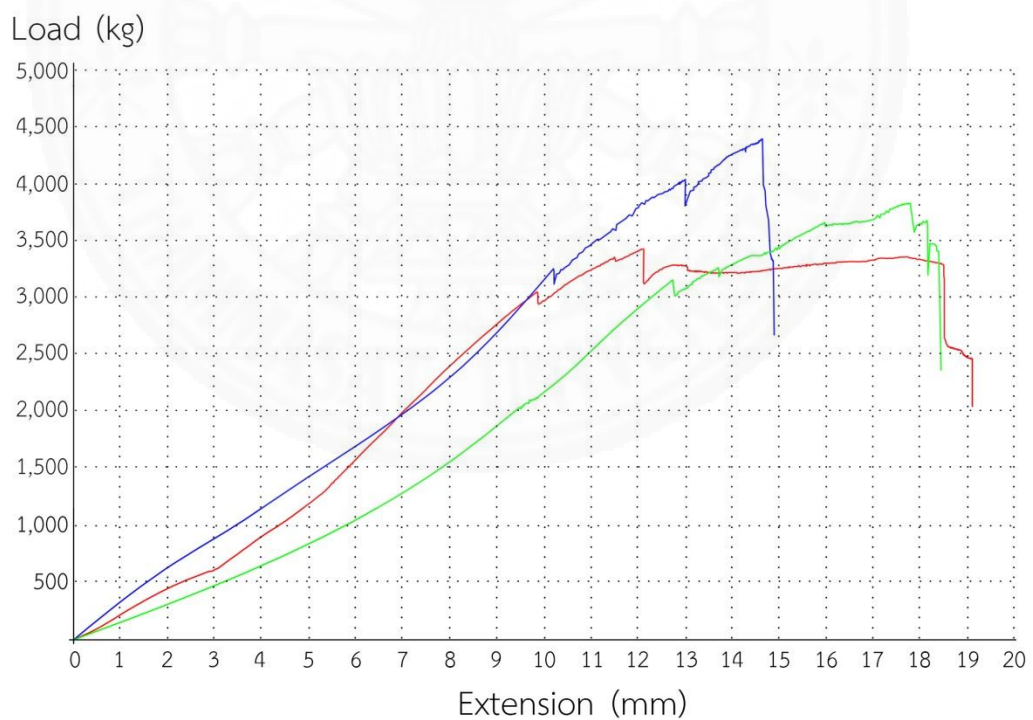
ภาพที่ ก-6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและการหดตัวของข้อต่อแบบท่อโดยมีการใส่
อู่เพื่อค้ำพิงสมทราวยหยาบและสลักเกลียว

ที่มา: ผู้วิจัย



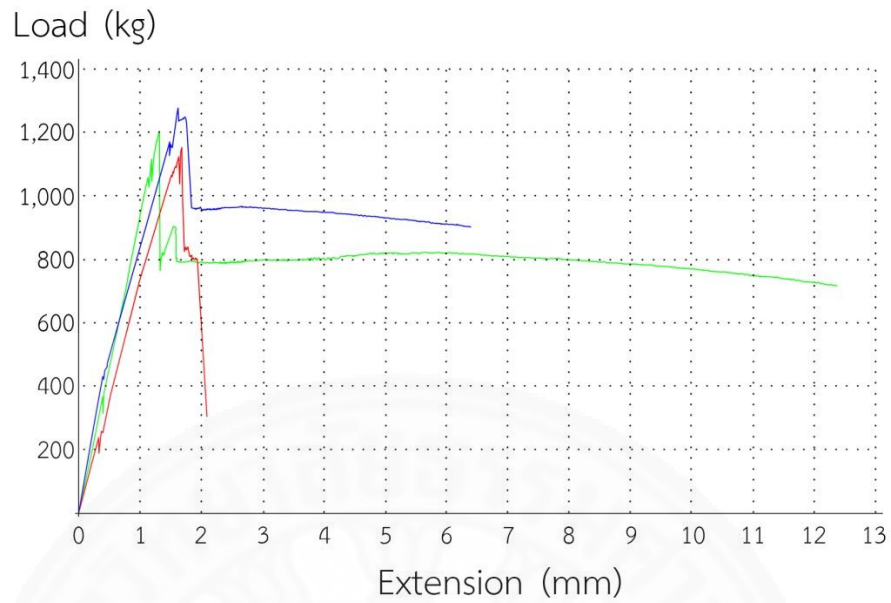
ภาพที่ ก-7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและการหดตัวของข้อต่อแบบกรวยโดยมีการใส่ อีพ็อกซีผสมทรายหยาบ

ที่มา: ผู้วิจัย



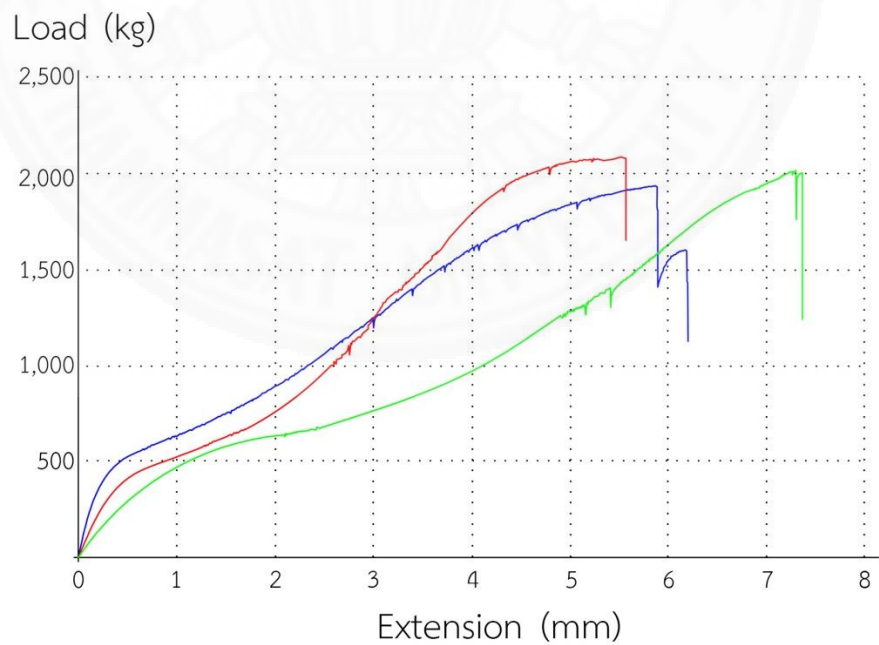
ภาพที่ ก-8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและการหดตัวของข้อต่อแบบแผ่นเหล็กตัวทีโดยมี การใส่อีพ็อกซีผสมทรายหยาบ

ที่มา: ผู้วิจัย



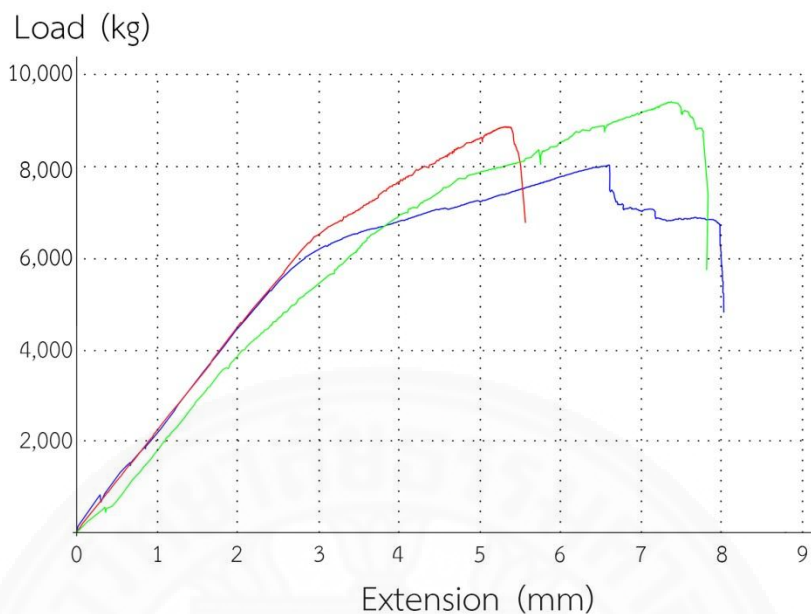
ภาพที่ ก-9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงและการยืดตัวของข้อต่อแบบท่อโดยมีการใส่
อีพ็อกซี 5 เซนติเมตร

ที่มา: ผู้วิจัย



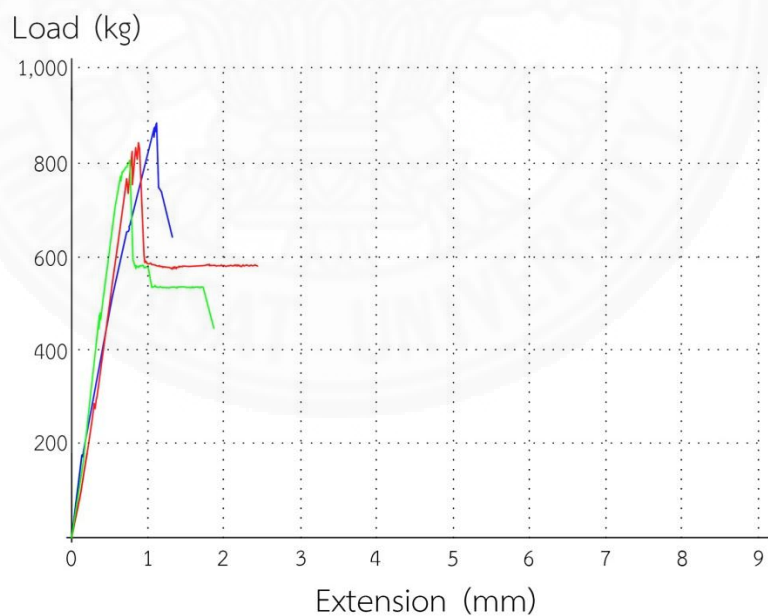
ภาพที่ ก-10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงและการยืดตัวของข้อต่อแบบท่อโดยมีการใส่
อีพ็อกซี 10 เซนติเมตร

ที่มา: ผู้วิจัย



ภาพที่ ก-11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงและการยืดตัวของข้อต่อแบบท่อโดยมีการใส่ อีพ็อกซีผสมทรายหยาบ 10 เซนติเมตร ทำผิวไม่ขรุขระ ใส่สลักเกลียวและเพิ่มความหนาของเหล็ก

ที่มา: ผู้วิจัย



ภาพที่ ก-12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงและการยืดตัวของข้อต่อแบบกรวยโดยมีการใส่ อีพ็อกซีผสมทรายหยาบ ทำผิวไม่ขรุขระและใส่สลักเกลียว

ที่มา: ผู้วิจัย

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นางสาว รุ่งพรรณษา น้อยจันทร์
วันเดือนปีเกิด	8 กรกฎาคม พ.ศ.2533
วุฒิการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (สถาปัตยกรรม) คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
การนำเสนอบทความ	เข้าร่วมประชุมและนำเสนอบทความ 1. Building Environment Research Associates Conference (BERAC6), มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต 2. International Symposium of Asia Institute of Urban Environment (AIUE2015), Kitakyushu, Japan