การศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของไผ่ตงเพื่อสร้างค่ามาตรฐานกลางของวัสดุและการประยุกต์ใช้ในงานโครงสร้างสำหรับอาคารสาธารณะ

โดย

นางสาวสุภิญญาลักษณ์ จันทรวงศ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

การศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของไผ่ตงเพื่อสร้างค่ามาตรฐานกลางของวัสดุและการประยุกต์ใช้ในงานโครงสร้างสำหรับอาคารสาธารณะ

โดย

นางสาวสุภิญญาลักษณ์ จันทรวงศ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสถาปัตยกรรม

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศา

ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

MECHANICAL PROPERTIES OF *Dendrocalamus asper* TO DETERMINE THE MATERIAL PROPERTY STANDARD AND APPLICATIONS IN PUBLIC BUILDINGS

BY

MISS SUPINYALUCK JANTARAWONG

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS FOR

THE DEGREE OF MASTER DEGREE OF ARCHITECTURE

FACULTY OF ARCHITECTURE AND PLANNING

THAMMASAT UNIVERSITY

ACADEMIC YEAR 2014

COPYRIGHT OF THAMMASAT UNIVERSITY

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง

วิทยานิพนธ์

ของ

นางสาวสุภิญญาลักษณ์ จันทรวงศ์

เรื่อง

การศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของไผ่ตงเพื่อสร้างค่ามาตรฐานกลางของวัสดุ
และการประยุกต์ใช้ในงานโครงสร้างสำหรับอาคารสาธารณะ

ได้รับการตรวจสอบและอนุมัติ ให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

เมื่อ วันที่ 11 สิงหาคม 2558

ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(รองศาสตราจารย์ ดร. ภูษิต เลิศวัฒนารักษ์)

กรรมการสอบและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุปรีดี ฤทธิรงค์)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไตรรัตน์ เนียมสุวรรณ)

คณบดี

(รองศาสตราจารย์เฉลิมวัฒน์ ตันตสวัสดิ์)

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของไผ่ตงเพื่อสร้างค่ามาตรฐานกลางของวัสดุและการประยุกต์ใช้ในงานโครงสร้างสำหรับอาคารสาธารณะ
ชื่อผู้เขียน	นางสาวสุภิญญาลักษณ์ จันทรวงศ์
ชื่อปริญญา	สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา/คณะ/มหาวิทยาลัย	สถาปัตยกรรม สถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุปรีดี ฤทธิรงค์
ปีการศึกษา	2557

บทคัดย่อ

ไม้ไผ่ได้กลายเป็นวัสดุทางเลือกใหม่ในงานโครงสร้างทางสถาปัตยกรรม แต่ยังคงได้รับความนิยมน้อยในการนำไปใช้งานเนื่องจากผู้คนยังคงสงสัยเกี่ยวกับอายุการใช้งาน ในประเทศไทยคนส่วนใหญ่มีความเห็นว่าโครงสร้างไม้ไผ่เป็นโครงสร้างที่ไม่ถาวร และเป็นโครงสร้างชั่วคราว ส่งผลให้ไม้ไผ่ถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างไม่เต็มที่กับความสามารถและประสิทธิภาพของไม้ไผ่ วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไผ่ตง จาก 4 ภูมิภาคสำคัญในประเทศไทย ได้แก่ ภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคตะวันออก และภาคตะวันตก โดยศึกษาผ่านการทดสอบวัสดุในห้องปฏิบัติการตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน ISO (22157-1) และทำการเปรียบเทียบไผ่ตงในงานวิจัยอื่นๆที่ทำการทดสอบเหมือนกัน ซึ่งคุณสมบัติต่าง ๆ ที่ได้ช่วยในการกำหนดค่ามาตรฐานกลางของวัสดุ เพื่อช่วยในการออกแบบโครงสร้างไม้ไผ่

จากการศึกษาพบว่า ลักษณะทางกายภาพของไผ่ตงที่มีอายุ 3-4ปี มีดังนี้ ค่าเฉลี่ยความหนาเนื้อไม้เท่ากับ 14.18 มิลลิเมตร ค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางของลำไผ่ตงเท่ากับ 116.48 มิลลิเมตร และค่าเฉลี่ยพื้นที่หน้าตัดของลำไผ่เท่ากับ 4,548.11 ตารางมิลลิเมตร ในส่วนของการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของไผ่ตง พบว่า ค่าเฉลี่ยความชื้นเท่ากับ 15.33% ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นเท่ากับ 760.41 กก./ลบ.ม.และการหดตัวตามความหนาเท่ากับ 0.20% ในส่วนคุณสมบัติเชิงกลของไผ่ตง พบว่า มีค่าเฉลี่ยการต้านทานแรงอัดขนานเสี้ยนเท่ากับ 42.87 นิวตัน/ตร.มม. ค่าเฉลี่ยการต้านทานแรงดึงเท่ากับ 141.84 นิวตัน/ตร.มม. ค่าเฉลี่ยการต้านทานแรงเฉือนขนานเสี้ยน กรณีที่มีข้อปล้องเท่ากับ 9.67 นิวตัน/ตร.มม. กรณีที่ไม่มีข้อปล้องเท่ากับ 6.51 นิวตัน/ตร.มม. ค่าเฉลี่ยการ

ต้านทานแรงดัดเท่ากับ 127.24 นิวตัน/ตร.มม. และค่าเฉลี่ยโมดูลัสของการยืดหยุ่น 27,750.89 นิวตัน/ตร.มม.

นอกจากนี้ยังศึกษาการนำค่าคุณสมบัติของไผ่ตงมาใช้จริง โดยผลการทดสอบที่ได้จะนำมาใช้ในการออกแบบโครงสร้าง จากการศึกษาโครงสร้างไม้ไผ่ที่มีอยู่ในปัจจุบันพบว่า โครงสร้างไม้ไผ่ถูกออกแบบเป็นกรอบโครงสร้างซึ่งที่มีลักษณะพื้นฐานมาจากรูปสามเหลี่ยม และมีความสัมพันธ์แบบสมมาตรกัน อาคารไม้ไผ่เกิดจากกรอบโครงสร้างที่ซ้ำ ๆ กัน ซึ่งพบว่าการซ้ำกันของกรอบโครงสร้างมี 2 ลักษณะ คือ ซ้ำกันตามในแนวราบ และ ซ้ำกันในแนวรัศมีวงกลม นอกจากนี้ในตัวกรอบโครงสร้างนั้นค้นพบว่ารูปแบบกรอบโครงสร้างที่นิยมใช้มี 3 รูปแบบ ได้แก่ โครงสร้างเสาไม้ไผ่เอียงไม่ดัดโค้ง โครงสร้างเสาไม้ไผ่เอียงดัดโค้ง และโครงสร้างไม้ไผ่ดัดโค้งทั้งหมด เนื่องจากไผ่ตงดัดโค้งได้ยาก โครงสร้างเสาไม้ไผ่เอียงไม่ดัดโค้งจึงถูกคัดเลือกเพื่อทำแบบจำลองและการประเมินความเข็งแรงของโครงสร้าง ซึ่งพบว่า กรอบโครงสร้างไม่สามารถต้านทานหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงได้โดยใช้ไผ่ลำเดี่ยว ดังนั้นชิ้นส่วนโครงสร้างต้องการจำนวนลำไผ่ที่เพิ่มขึ้นเพื่อรับแรงที่เกิดขึ้น โดยคานที่มีความยาว 3.50 - 5.00 เมตรต้องใช้ไม้ไผ่ 2 ลำ คานที่มีความยาวมากกว่า 5.01 – 6.00 เมตรต้องใช้ไม้ไผ่ 2 – 3 ลำ และคานที่มีความยาวมากกว่า 6.00 เมตรต้องใช้ไม้ไผ่ 2 – 4 ลำ ส่วนเสาที่มีความยาว 2.30 – 2.80 เมตรใช้ลำไผ่อย่างน้อย 7 ลำ เสาที่มีความยาว 2.81 – 3.40 เมตรใช้ลำไผ่อย่างน้อย 4 ลำ เสาที่มีความยาว 3.41 – 4.20 เมตรใช้ลำไผ่อย่างน้อย 3 ลำ และเสาที่มีความยาวมากกว่า 4.20 เมตรใช้ลำไผ่อย่างน้อย 2 ลำ จากผลการศึกษาทั้งหมดเป็นที่น่ายอมรับกับจำนวนลำไผ่ 2 – 4 ลำต่อชิ้นส่วนโครงสร้าง ซึ่งเป็นจำนวนลำไผ่ที่ง่ายต่อการจัดการสำหรับโครงสร้างไม้ไผ่แบบง่าย

คำสำคัญ: คุณสมบัติเชิงกลของไผ่ตง, โครงสร้างไม้ไผ่, สถาปัตยกรรมไม้ไผ่

Thesis Title	MECHANICAL PROPERTIES OF *Dendrocalamus asper* TO DETERMINE THE MATERIAL PROPERTY STANDARD AND APPLICATIONS IN PUBLIC BUILDINGS
Author	Miss. Supinyaluck Jantarawong
Degree	Master of Architecture
Department/Faculty/University	Architecture Architecture and Planning Thammasat University
Thesis Advisor	Assistant Professor Supreedee Rittironk, Ph.D.
Academic Year	2014

ABSTRACT

Bamboo has become the newly alternative material in structural architecture but it is still discouraged to use by people because many of them still question about its long-life durability. In Thailand, most people think of bamboo structure that they are not permanent structures and seen as they are just for temporary. Therefore, bamboos are not fully utilized as it should at its highest potentials and capacity. That is why it is important to investigate for potential of bamboo capacity. The objective of this research is to study the physical and mechanical properties of Pai-Tong (*Dendrocalamus asper*), from four main regions of Thailand; the northern, the northeastern, the eastern and the western. The method of finding will conduct through the testing experiment, using ISO (22157-1) standard, and make comparison to other research in same method. The test result then will help to determine the material property standard in order to assist in bamboo's structural design.

The results of physical characters of 3-4-year Pai–Tong are found as follows: the average thickness is 14.18 mm, the average diameter is 116.48 mm and the average cross-sectional area is 4,548.11 mm^2. The physical properties are as follows: the average moisture content is 15.33%, the average density is 760.41 kg/m^3

and the average shrinkage and in thickness is 0.20%. The mechanical properties from testing lab are as follows: the average compressive stress is 42.87N/mm^3, the average tensile strength is 141.84N/mm^3, the average shear strength is 9.67 N/mm^3 (with a node) and 6.51 N/mm^3 (without node), the average bending strength is 127.24 N/mm^3 and the average modulus of elasticity is 27,750.89 N/mm^3.

Furthermore, to use bamboo in real application, this test result will apply to the design structure as a case study. However, it is needed to determine the common form of structure. The study of existing bamboo structures is performed in order to find design direction of form. It is found that the bamboo structures are created in frames. Frames are usually in the triangular and symmetrical relationships. To make a bamboo building, frames will be used in repetitions. It is found that bamboo building created using two unique framing repetitions. They are horizontal frames or radial frames. Moreover, within frame itself, there are three popular frame configurations. They are the tilted straight columns, the tilted columns with curves, and lastly the entire curved frame. It is decided for the case study model to do the tilted straight columns because Pai–Tong is too difficult to bend. The computer simulation then is used and found that structural frame cannot accept the actual load at a single culm, so the frame members are needed to increase bamboo culms to meet the actual load. The beams with a length of 3.50 – 5.00 meters must use 2 bamboo culms. The beams with a length of 5.01 – 6.00 meters must use 2 - 3 bamboo culms. The beams are longer than 6.00 meters must use 2 - 4 bamboo culms. The columns with a length of 2.30 – 2.80 meters must use almost 7 bamboo culms. The columns with a length of 2.81 -3.40 meters must use almost 4 bamboo culms. The columns with a length of 3.41 – 4.20 meters must use almost 3 bamboo culms. And the columns are longer than 4.20 meters must use almost 2 bamboo culms. Overall performance is in satisfactory with the ranges of 2 to 4 bamboo culms per members. It is acceptable amount and easy to manage for a simple structure.

Keyword: Mechanical Properties of *Dendrocalamus asper*, Bamboo Structure, Bamboo Architecture

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุปรีดี ฤทธิรงค์ อาจารย์ที่ปรึกษา และความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ ของคณะกรรมการวิทยานิพนธ์ ได้แก่ รองศาสตราจารย์ ดร. ภูษิต เลิศวัฒนารักษ์ ที่ให้คำแนะนำในส่วนของการจำลองและการประเมินโครงสร้างไม้ไผ่ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไตรรัตน์ เนียมสุวรรณ ที่ช่วยให้คำแนะนำในส่วนของการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไผ่ตง

งานวิจัยนี้คงมิอาจสำเร็จลงได้หากไม่ได้รับความช่วยเหลือจาก ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์การทดสอบ รวมถึงเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่คอยช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไผ่ตง ความอนุเคราะห์ในการจัดหาและถนอมไม้ไผ่ จากคุณธนา ทิพย์เจริญกรรมการผู้จัดการบริษัทพิมธา ความช่วยเหลือและความเมตตาจาก อาจารย์เดชา เตียงเกตุ ในการจัดหาไม้ไผ่จากจังหวัดเชียงใหม่ รวมถึงเจ้าหน้าที่คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมืองทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือในด้านการติดต่อประสานงานต่าง ๆ ให้สำเร็จไปได้ด้วยดี

สุดท้ายผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณครอบครัวจันทรวงศ์ ที่สนับสนุนทุนในการทำวิจัยครั้งนี้ และคอยให้กำลังใจ รวมถึงเพื่อน ๆ และรุ่นน้องที่ช่วยเหลือในทุก ๆ ด้าน จนงานวิจัยนี้สำเร็จลุลวงไปด้วยดี

หากผลการศึกษานี้มีข้อบกพร่องประการใด ผู้เขียนขอน้อมรับไว้เพื่อปรับปรุง แก้ไขในการศึกษาครั้งต่อไป

สุภิญญาลักษณ์ จันทรวงศ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	(1)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(3)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญตาราง	(9)
สารบัญภาพ	(12)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่ความว่าจะได้รับจากการวิจัย	3
1.5 ระเบียบวิธีวิจัย	4
บทที่ 2 ผลการวิจัยและงานเขียนที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ความรู้ทั่วไปของไผ่ตง	5
2.1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของไผ่ตง	5
2.1.2 คุณสมบัติทางกายภาพของไผ่ตง	5
2.1.3 คุณสมบัติเชิงกลของไผ่ตง	7
2.2 ไม้ไผ่กับงานโครงสร้างทางสถาปัตยกรรม	8
2.3 แนวทางการออกแบบโครงสร้างสถาปัตยกรรมไม้ไผ่	13

บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย 18

3.1 แผนภาพระเบียบวิธีวิจัย 18
3.2 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องในงานวิจัย 19
3.3 การคัดเลือกและเก็บตัวอย่างไผ่ตง 19
3.4 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกล 21
3.4.1 การทดสอบความชื้น (Moisture Content) 21
3.4.2 การทดสอบความหนาแน่น (Mass by Volume) 22
3.4.3 การทดสอบการหดตัว (shrinkage) 23
3.4.4 การทดสอบกำลังต้านทานแรงอัด (Compression) 24
3.4.5 การทดสอบกำลังต้านทานแรงดัด (Bending) 25
3.4.6 การทดสอบกำลังต้านทานแรงเฉือน (Shear) 26
3.4.7 การทดสอบกำลังต้านทานแรงดึง (Tension) 27
3.5 การทดสอบการรับน้ำหนักของโครงสร้างไม้ไผ่ 29
3.5.1 การกำหนดกรอบโครงสร้างไม้ไผ่สำหรับอาคารสาธารณะ 29
3.5.2 จำลองและการประเมินการรับน้ำหนักของกรอบโครงสร้างไม้ไผ่ 29

บทที่ 4 ผลการวิจัย 33

4.1 ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพของไผ่ตงจากภูมิภาคสำคัญ 33
4.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของไผ่ตง 35
4.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของไผ่ตง 38
4.4 ผลการศึกษาและสำรวจโครงสร้างอาคารสาธารณะ 44
4.5 ผลการจำลองและประเมินการรับน้ำหนักของระบบโครงสร้างไม้ไผ่ 49

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 84

5.1 ข้อสรุปผลจากการวิจัย 84
5.1.1 สรุปผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพของไผ่ตง 84

5.1.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไผ่ตง 85
5.1.3 ผลการกำหนดค่ามาตรฐานกลางของวัสดุ 87
5.1.4 ผลการจำลองและประเมินการรับน้ำหนักของกรอบโครงสร้างไม้ไผ่ 90
5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต 91

รายการอ้างอิง 93

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไผ่ตง จาก 4 ภูมิภาค 95
ภาคผนวก ข อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ 113
ภาคผนวก ค การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไผ่ตง 116

ประวัติผู้เขียน 120

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ค่าเฉลี่ยคุณสมบัติทางกายภาพของไผ่ตงจากงานวิจัยอื่น	6
2.2	ค่าเฉลี่ยคุณสมบัติเชิงกลของไผ่ตงจากงานวิจัยอื่น	7
2.3	คุณสมบัติเชิงกลของ *Phyllostachy Bambusoides* (PB) และ *Phyllostachy Pubescens* (PP)	9
2.4	คุณสมบัติเชิงกลของไผ่ประกับ	11
4.1	ค่าเฉลี่ยลักษณะทางกายภาพของไผ่ตงจาก 4 ภูมิภาค	34
4.2	ค่าเฉลี่ยคุณสมบัติทางกายภาพของไผ่ตงจาก 4 ภูมิภาค	36
4.3	ค่าเฉลี่ยคุณสมบัติเชิงกลของไผ่ตงจาก 4 ภูมิภาค	39
4.4	ลักษณะรูปแบบระบบโครงสร้างไม้ไผ่ในงานสถาปัตยกรรม	44
4.5	การพิจารณาความเป็นไปได้ในการรับน้ำหนักของคานไม้ไผ่ระบบโครงสร้างรูปแบบที่ 1	55
4.6	การพิจารณาความเป็นไปได้ในการรับน้ำหนักของเสาไม้ไผ่ระบบโครงสร้างรูปแบบที่ 1	56
4.7	การพิจารณาจำนวนลำไผ่ของคานไม้ไผ่ในระบบโครงสร้างรูปแบบที่ 1	57
4.8	การพิจารณาจำนวนลำไผ่ของเสาไม้ไผ่ในระบบโครงสร้างรูปแบบที่ 1	58
4.9	การพิจารณาความเป็นไปได้ในการรับน้ำหนักของคานไม้ไผ่ระบบโครงสร้างรูปแบบที่ 2	62
4.10	การพิจารณาความเป็นไปได้ในการรับน้ำหนักของเสาไม้ไผ่ระบบโครงสร้างรูปแบบที่ 2	63
4.11	การพิจารณาจำนวนลำไผ่ของเสาไม้ไผ่ในระบบโครงสร้างรูปแบบที่ 2	66
4.12	การพิจารณาความเป็นไปได้ในการรับน้ำหนักของคานไม้ไผ่ระบบโครงสร้างรูปแบบที่ 3	69
4.13	การพิจารณาความเป็นไปได้ในการรับน้ำหนักของเสาไม้ไผ่ระบบโครงสร้างรูปแบบที่ 3	70
4.14	การพิจารณาจำนวนลำไผ่ของคานไม้ไผ่ในระบบโครงสร้างรูปแบบที่ 3	71
4.15	การพิจารณาจำนวนลำไผ่ของเสาไม้ไผ่ในระบบโครงสร้างรูปแบบที่ 3	72

4.16	การพิจารณาความเป็นไปได้ในการรับน้ำหนักของคานไม้ไผ่ระบบโครงสร้างรูปแบบที่ 4	76
4.17	การพิจารณาความเป็นไปได้ในการรับน้ำหนักของเสาไม้ไผ่ระบบโครงสร้างรูปแบบที่ 4	77
4.18	การพิจารณาจำนวนลำไผ่ของคานไม้ไผ่ในระบบโครงสร้างรูปแบบที่ 4	79
4.19	การพิจารณาจำนวนลำไผ่ของเสาไม้ไผ่ในระบบโครงสร้างรูปแบบที่ 4	79
4.20	ความเป็นไปได้ในการรับน้ำหนักของชิ้นส่วนโครงสร้างในระบบโครงสร้างทั้ง 4 รูปแบบ	80
4.21	จำนวนลำไผ่ของชิ้นส่วนโครงสร้างในระบบโครงสร้างทั้ง 4 รูปแบบ	82
4.22	ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของชิ้นส่วนโครงสร้างกับจำนวนลำไผ่ที่ต้องใช้ในแต่ละชิ้นส่วนโครงสร้าง	83
5.1	สรุปค่าเฉลี่ยคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไผ่ตงในงานวิจัย	85
5.2	การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไผ่ตงกับงานวิจัยอื่น	88
5.3	การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและคุณสมบัติเชิงกลของไผ่ตงกับเหล็กและไม้	89
ก.1	ลักษณะทางกายภาพของไผ่ตงจากภาคตะวันออกและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	96
ก.2	ลักษณะทางกายภาพของไผ่ตงจากภาคตะวันเหนือและภาคตะวันตก	97
ก.3	ค่าความชื้น (Moisture Content) ของไผ่ตงจากภาคตะวันออกและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	98
ก.4	ค่าความชื้น (Moisture Content) ของไผ่ตงจากภาคตะวันเหนือและภาคตะวันตก	99
ก.5	ค่าความหนาแน่น (Mass by Volume) ของไผ่ตงจากภาคตะวันออกและภาคะวันออกเฉียงเหนือ	100
ก.6	ค่าความหนาแน่น (Mass by Volume) ของไผ่ตงจากภาคตะวันเหนือและภาคตะวันตก	101
ก.7	การหดตัว (shrinkage) ของไผ่ตงจากภาคตะวันออกและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	102

ก.8 การหดตัว (shrinkage) ของไผ่ตงจากภาคตะวันเหนือและภาคตะวันตก 103
ก.9 การต้านทานแรงอัดขนานเสี้ยน (Compression) ของไผ่ตง จากภาคตะวันออกและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 104
ก.10 การต้านทานแรงอัดขนานเสี้ยน (Compression) ของไผ่ตง จากภาคตะวันเหนือและภาคตะวันตก 105
ก.11 การต้านทานแรงเฉือน (Shear) ของไผ่ตงจากภาคตะวันออกและ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 106
ก.12 การต้านทานแรงเฉือน (Shear) ของไผ่ตงจากภาคตะวันเหนือและ ภาคตะวันตก 107
ก.13 การต้านทานแรงดึง (Tension) ของไผ่ตงจากภาคตะวันออกและ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 108
ก.14 การต้านทานแรงดึง (Tension) ของไผ่ตงจากภาคตะวันเหนือและ ภาคตะวันตก 109
ก.15 การต้านทานแรงดัด (Bending) ของไผ่ตงจากภาคตะวันออกและ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 110
ก.16 การต้านทานแรงดัด (Bending) ของไผ่ตงจากภาคเหนือและ ภาคตะวันตก 111
ก.17 ค่าเฉลี่ยลักษณะทางกายภาพ คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของ ไผ่ตงจาก 4 ภูมิภาค 112

สารบัญภาพประกอบ

ภาพที่		หน้า
2.1	การทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของไผ่ *Phyllostachy Bambusoides* (PB) และ *Phyllostachy Pubescens* (PP)	9
2.2	รูปแบบโครงสร้าง double layer grid system	10
2.3	การทดสอบการรับน้ำหนักของโครงสร้างแบบ double layer grid system	10
2.4	ไม้ไผ่ประกับที่ใช้ในการทดสอบ	12
2.5	การทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของคานไม้ไผ่ประกับ	13
2.6	โครงสร้างไม้ไผ่ของบ้านพื้นเมืองและโครงสร้างไม้ไผ่ Meeting house in Maipua	14
2.7	แสดงลักษณะของการต่อไม้ไผ่ในสถาปัตยกรรมพื้นถิ่น	15
2.8	แสดงลักษณะของการต่อไม้ไผ่แบบใช้คอนกรีตและเหล็ก	16
2.9	โครงสร้างอาคารโรงเรียนปัญญาเด่น จังหวัดเชียงใหม่ ประเทศไทย	17
3.1	แผนภาพระเบียบวิธีวิจัย	18
3.2	ตัวอย่างไผ่ตงในการทดสอบความชื้น	22
3.3	ตัวอย่างไผ่ตงในการทดสอบการหดตัว	23
3.4	การทดสอบกำลังต้านทานแรงอัด	24
3.5	การทดสอบกำลังต้านทานแรงดัด	26
3.6	การทดสอบกำลังต้านทานแรงเฉือน	27
3.7	ตัวอย่างไผ่ตงในการทดสอบกำลังต้านทานแรงดึง	28
3.8	การทดสอบกำลังต้านทานแรงดึง	28
4.1	การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความหนาเนื้อไม้และค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางของไผ่ตงจาก 4 ภูมิภาค	34
4.2	การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพื้นที่หน้าตัดของไผ่ตงจาก 4 ภูมิภาค	35
4.3	การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความชื้นของไผ่ตงจาก 4 ภูมิภาค	37
4.4	การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความหนาแน่นเนื้อไม้ของไผ่ตงจาก 4 ภูมิภาค	37
4.5	การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการหดตัวของไผ่ตงจาก 4 ภูมิภาค	38

4.6	การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการต้านทานแรงอัดขนานเสี้ยนของไผ่ตงจาก 4 ภูมิภาค	40
4.7	การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการต้านทานแรงดึงของไผ่ตงจาก 4 ภูมิภาค	41
4.8	การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการต้านทานแรงเฉือนของไผ่ตงจาก 4 ภูมิภาค	42
4.9	การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการต้านทานแรงดัดของไผ่ตงจาก 4 ภูมิภาค	43
4.10	การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโมดูลัสของการยืดหยุ่น ของไผ่ตงจาก 4 ภูมิภาค	43
4.11	รูปแบบระบบโครงสร้างที่ 1	47
4.12	รูปแบบระบบโครงสร้างที่ 2	48
4.13	รูปแบบระบบโครงสร้างที่ 3	48
4.14	องศาที่ชิ้นส่วนโครงสร้างทำมุมเอียงออกจากกัน	50
4.15	สัดส่วนความสูงของชิ้นส่วนโครงสร้าง	51
4.16	ระบบโครงสร้างรูปแบบที่ 1	52
4.17	ภาพรวมของระบบโครงสร้างรูปแบบที่ 1	53
4.18	ผังคานโครงสร้างหลังคาระบบโครงสร้างรูปแบบที่ 1	53
4.19	การจำลองระบบโครงสร้างรูปแบบที่ 1	55
4.20	โมเมนต์ดัดสูงสุดที่เกิดขึ้นในคานไม้ไผ่ระบบโครงสร้างรูปแบบที่ 1	56
4.21	การรับน้ำหนักของชิ้นส่วนโครงสร้างในระบบโครงสร้างรูปแบบที่ 1	57
4.22	การเพิ่มจำนวนลำไผ่ในแต่ละชิ้นส่วนโครงสร้างของระบบโครงสร้างรูปแบบที่ 1	58
4.23	ระบบโครงสร้างรูปแบบที่ 2	59
4.24	ภาพรวมของระบบโครงสร้างรูปแบบที่ 2	60
4.25	ผังคานโครงสร้างหลังคาระบบโครงสร้างรูปแบบที่ 2	60
4.26	การจำลองระบบโครงสร้างรูปแบบที่ 2	62
4.27	โมเมนต์ดัดสูงสุดที่เกิดขึ้นในคานไม้ไผ่ระบบโครงสร้างรูปแบบที่ 2	63
4.28	การรับน้ำหนักของชิ้นส่วนโครงสร้างในระบบโครงสร้างรูปแบบที่ 2	64
4.29	การเพิ่มจำนวนลำไผ่ในแต่ละชิ้นส่วนโครงสร้างของระบบโครงสร้างรูปแบบที่ 2	65
4.30	ระบบโครงสร้างรูปแบบที่ 3	66
4.31	ภาพรวมของระบบโครงสร้างรูปแบบที่ 3	67
4.32	ผังคานโครงสร้างหลังคาระบบโครงสร้างรูปแบบที่ 3	67
4.33	การจำลองระบบโครงสร้างรูปแบบที่ 3	69
4.34	โมเมนต์ดัดสูงสุดที่เกิดขึ้นในคานไม้ไผ่ระบบโครงสร้างรูปแบบที่ 3	70

4.35 การรับน้ำหนักของชิ้นส่วนโครงสร้างในระบบโครงสร้างรูปแบบที่ 3 71
4.36 การเพิ่มจำนวนลำไผ่ในแต่ละชิ้นส่วนโครงสร้างของระบบโครงสร้างรูปแบบที่ 3 72
4.37 ระบบโครงสร้างรูปแบบที่ 4 73
4.38 ภาพรวมของระบบโครงสร้างรูปแบบที่ 4 74
4.39 ผังคานโครงสร้างหลังคาระบบโครงสร้างรูปแบบที่ 4 74
4.40 การจำลองระบบโครงสร้างรูปแบบที่ 4 76
4.41 โมเมนต์ดัดสูงสุดที่เกิดขึ้นในคานไม้ไผ่ระบบโครงสร้างรูปแบบที่ 4 77
4.42 การรับน้ำหนักของชิ้นส่วนโครงสร้างในระบบโครงสร้างรูปแบบที่ 4 78
4.43 การเพิ่มจำนวนลำไผ่ในแต่ละชิ้นส่วนโครงสร้างของระบบโครงสร้างรูปแบบที่ 4 80
4.44 ตัวอย่างการเพิ่มลำไผ่ของชิ้นส่วนโครงสร้าง 83
ข.1 เครื่องชั่งน้ำหนัก 113
ข.2 เครื่องมือวัด Vernier Caliper 113
ข.3 ตู้อบความร้อน 114
ข.4 เครื่องทดสอบ (Testing Machine) 114
ข.5 เครื่องมือทดสอบกำลังต้านทานแรงเฉือน (Shear) 115
ข.6 เครื่องมือทดสอบกำลังต้านทานแรงดัด (Bending) 115
ค.1 การถนอมไม้ไผ่ด้วยระบบอัดน้ำยาสุญญากาศ 116
ค.2 ลักษณะของไผ่ตงหลังจากการอบเพื่อหาค่าการหดตัว 117
ค.3 ลักษณะของไผ่ตงหลังจากการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัด (Compression) 117
ค.4 ลักษณะของไผ่ตงหลังจากการทดสอบกำลังต้านทานแรงเฉือน (Shear) 118
ค.5 ลักษณะของไผ่ตงหลังจากการทดสอบกำลังต้านทานแรงดึง (Tension) 118
ค.6 ลักษณะของไผ่ตงหลังจากการทดสอบกำลังต้านทานแรงดัด (Bending) 119

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของการวิจัย

ไม้ไผ่เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว อยู่ในวงศ์ Gramineae เช่นเดียวกับหญ้า แต่เป็นหญ้าที่มีความสูงที่สุดในโลก ไม้ไผ่เป็นพืชที่ปลูกง่ายและเติบโตเร็ว สามารถปลูกได้ทุกสภาพอากาศและเติบโตในดินทุกชนิด ซึ่งถือว่าเป็นคุณสมบัติที่ดีของไม้ไผ่ที่ทนต่อสภาพดินฟ้าอากาศ พบว่าทั่วโลกมีไม้ไผ่มากกว่า 90 สกุล และมากกว่า1,000 ชนิด แต่สำหรับในประเทศไทยพบไม้ไผ่ มากกว่า17 สกุล และมากกว่า72 ชนิด ในประเทศไทยไม้ไผ่ที่รู้จักและถูกนำมาใช้ประโยชน์ได้แก่ ไผ่ตง (*Dendrocalamus asper*), ไผ่เลี้ยง (*Bambusa multiplex*), ไผ่สีสุก (*Bambusa blumeana*), ไผ่ซาง (*Dendrocalamus strictus*), ไผ่รวก (*Thyrsostachys siamensis*), ไผ่ป่า (*Bambusa bambos*) และอื่นๆ ซึ่งไม้ไผ่มีความสัมพันธ์กับวิถีชีวิตของคนไทย ทั้งการแปรรูปไม้ไผ่เป็นเครื่องจักรสานเพื่อใช้ในการดำรงชีวิต การนำไม้ไผ่มาเป็นวัสดุก่อสร้างเพื่อสร้างอาคารบ้านเรือน ทั้งนี้เพราะไม้ไผ่เป็นพืชที่สามารถพบเห็นได้ทั่วไปและหาง่าย การใช้ไม้ไผ่กับงานสถาปัตยกรรมในประเทศไทยมีมาเป็นเวลาช้านาน แต่ในปัจจุบันวัสดุก่อสร้างประเภทของเหล็กและคอนกรีตได้เข้ามาแทนที่ เนื่องจากมีความแข็งแรงและคงทน กว่าไม้ไผ่ จากปัญหาภาวะโลกร้อน (Global Warming) ทิศทางการสร้างสถาปัตยกรรมเปลี่ยนไป ทำให้สถาปัตยกรรมยั่งยืน (Sustainable Architecture) ได้รับความนิยมและไม้ไผ่ก็เป็นวัสดุทางเลือกหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ในการออกแบบสถาปัตยกรรมยั่งยืน (Sustainable Architecture) เนื่องจากเป็นวัสดุที่ปลูกง่ายและโตเร็ว ทำให้ปัจจุบันไม้ไผ่ได้รับความสนใจมากขึ้น ดังเห็นได้จากการออกแบบสถาปัตยกรรมไม้ไผ่ที่มีความน่าสนใจและหลากหลายทั่วทุกมุมโลก ในหลายประเทศมีการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับไม้ไผ่เพื่อการพัฒนาการออกแบบสถาปัตยกรรมไม้ไผ่อย่างจริงจัง สำหรับในประเทศไทยสถาปัตยกรรมไม้ไผ่ได้รับความสนใจ และมีการพัฒนาในเชิงโครงสร้างมากขึ้น แต่เนื่องจากไม้ไผ่ยังขาดมาตรฐานรับรองคุณภาพและคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุ ส่งผลต่อความน่าเชื่อถือในเรื่องความแข็งแรงของไม้ไผ่ ซึ่งต่างจากวัสดุอื่นโครงสร้างในงานสถาปัตยกรรม เช่น เหล็ก และ ไม้ ที่มีมาตรฐานรองรับคุณภาพของวัสดุ ดังนั้นหากมีการทดสอบความแข็งแรงของไม้ไผ่จนนำไปสู่การสร้างค่ามาตรฐานของวัสดุได้เช่นเดียวกับเหล็กและไม้ เพื่อช่วยสร้างความน่าเชื่อถือให้กับไม้ไผ่จะจนส่งผลต่อความนิยมการนำไม้ไผ่ใช้ในงานโครงสร้างที่มากขึ้น

จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้นจึงนำไปสู่การวิจัยครั้งนี้ ซึ่งศึกษาและทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของไม้ไผ่ โดยทำการทดสอบตามมาตรฐาน ISO (22157-1) ที่ได้กำหนดไว้ โดยเลือกศึกษาไผ่ตง

เนื่องจากไผ่ตงเป็นไผ่ที่มีขนาดใหญ่ ลำต้นตรง เหมาะแก่การนำใช้ในงานโครงสร้าง ในการวิจัยจะทำการทดสอบไผ่ตงจากภูมิภาคสำคัญในประเทศไทย เพื่อหาค่าเฉลี่ยคุณสมบัติเชิงกลและกำหนดเป็นค่ามาตรฐานของวัสดุที่สามารถนำไปใช้ได้จริงในงานโครงสร้างทางสถาปัตยกรรมต่อไป อีกทั้งศึกษาการนำค่ามาตรฐานที่ได้มาประยุกต์ใช้กับการออกแบบโครงสร้างอาคาร โดยศึกษาแนวทางการออกแบบกรอบโครงสร้างอาคารที่เป็นโครงสร้างไม้ไผ่ที่แข็งแรงสำหรับโครงสร้างอาคารสาธารณะ

งานวิจัยนี้จะเป็นการสร้างมาตรฐานคุณสมบัติเชิงกลของไม้ไผ่ เพื่อนำไปสู่การสร้างความน่าเชื่อถือในเรื่องของความแข็งแรงในตัววัสดุ และส่งผลต่อการออกแบบงานสถาปัตยกรรมไม้ไผ่ในประเทศไทยต่อไป โดยคาดว่าสถาปัตยกรรมไม้ไผ่จะได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายมากขึ้นในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 ศึกษาลักษณะทางกายภาพของไผ่ตง (*Dendrocalamus asper*) ในแต่ละภูมิภาคหลักของประเทศไทย และการนำไผ่ตงมาใช้ในงานโครงสร้างทางสถาปัตยกรรม

1.2.2 ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไผ่ตง ตามการทดสอบที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน ISO 22157-1 (Bamboo- Determination of physical and mechanical properties)

1.2.3 เพื่อหาค่ามาตรฐานกลางของวัสดุ ในการนำไม้ไผ่ไปใช้ในงานโครงสร้างทางสถาปัตยกรรม

1.2.4 ศึกษาแนวทางการออกแบบกรอบโครงสร้างไม้ไผ่สำหรับอาคารสาธารณะ โดยอ้างอิงตามค่ามาตรฐานกลางของวัสดุที่ได้

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไม้ไผ่จะทดสอบตามมาตรฐาน ISO 22157-1 (Bamboo- Determination of physical and mechanical properties) เพราะมาตรฐานฉบับนี้ได้กำหนดให้มีการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของไม้ไผ่ทั้งลำไผ่

1.3.2 ไผ่ตงที่นำมาทดสอบเป็นไผ่ตงที่ปลูกในภูมิภาคสำคัญในประเทศไทย กำหนดพื้นที่ได้ดังนี้ ไผ่ตงจากภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคตะวันออก และภาคตะวันตก

เนื่องจากภูมิประเทศและภูมิอากาศที่เอื้อต่อการเจริญเติบโตที่ดีของไผ่ตง และทั้ง 4 ภูมิภาคนี้มีการปลูกไผ่ตงเพื่อใช้ประโยชน์ในงานโครงสร้างทางสถาปัตยกรรม

1.3.3 ไผ่ตงที่นำมาทดสอบได้รับการถนอมไม้ไผ่ด้วยระบบอัดน้ำยาสุญญากาศ เนื่องจากเป็นวิธีที่ใช้ระยะเวลาไม่นานในการถนอมไม้ไผ่

1.3.4 ไผ่ตงที่นำมาทดสอบมีอายุ 3-4 ปี เพราะเป็นช่วงที่ไม้ไผ่เจริญเติบโตสามารถนำมาใช้ประโยชน์

1.3.5 การออกแบบกรอบโครงสร้างไม้ไผ่จะเป็นการใช้ไม้ไผ่แบบลำเดียว

1.3.6 ใช้โปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้างในการจำลองและประเมินผลด้านการรับน้ำหนักโครงสร้างไม้ไผ่

1.3.7 การออกแบบโครงสร้างอาคารสาธารณะชั้นเดียวที่มีพื้นที่ไม่เกิน 500 ตาราง-เมตร สามารถรับน้ำหนักบรรทุกจรได้ 300 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

1.4.1 เรียนรู้ลักษณะทางกายภาพของไผ่ตงในแต่ละภูมิภาคสำคัญของประเทศไทย

1.4.2 ทราบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไผ่ตงในแต่ละภูมิภาคสำคัญของประเทศไทย

1.4.3 สร้างมาตรฐานกลางของไผ่ตง เพื่อนำไปสู่การประยุกต์ใช้ในงานโครงสร้างทางสถาปัตยกรรมต่อไป

1.4.4 การเสนอแนวทางการใช้ไผ่ตงในงานโครงสร้างของอาคารสาธารณะ โดยอ้างอิงค่ามาตรฐานกลางของวัสดุ

1.4.5 ส่งเสริมไม้ไผ่เป็นวัสดุในงานโครงสร้างทางสถาปัตยกรรม เพื่อให้ได้รับการยอมรับและเป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลาย

1.4.6 สร้างความน่าเชื่อถือและยกระดับการใช้ไม้ไผ่ในงานโครงสร้างทางสถาปัตยกรรม

1.5 ระเบียบวิธีวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองโดยการทดสอบวัสดุ โดยในช่วงแรกจะเป็นการศึกษาลักษณะทางกายภาพของไผ่ตงในแต่ละภูมิภาคสำคัญของประเทศไทย และเก็บตัวอย่างไผ่ตงที่จะนำมา

ทดสอบ ช่วงที่สองเป็นช่วงของการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไผ่ตงโดยวิธีการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกล และช่วงสุดท้ายเป็นการจำลองและประเมินผลด้านการรับน้ำหนักของกรอบโครงสร้างไม้ไผ่โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ มีรายละเอียดดังนี้

การวิจัยช่วงที่1 : การคัดเลือกและเก็บตัวอย่างไผ่ตง

ศึกษาลักษณะทางกายภาพและคัดเลือกไผ่ตงจากภูมิภาคสำคัญของประเทศไทย ได้แก่ ไผ่ตงจากภาคเหนือ ไผ่ตงจากภาคกลาง ไผ่ตงจากภาคตะวันออก และไผ่ตงจากภาคตะวันตก โดยเก็บตัวอย่างไผ่ตงในแต่ละภูมิภาคเพื่อการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกล

การวิจัยช่วงที่2 : การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไผ่ตง

เป็นช่วงของการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของตัวอย่างไผ่ตงในแต่ละภูมิภาค โดยทดสอบตามมาตรฐาน ISO 22157-1 (Bamboo- Determination of physical and mechanical properties) วิเคราะห์คุณสมบัติที่ได้จากการทดสอบ เพื่อหาค่าเฉลี่ยของคุณสมบัติและนำไปสู่การกำหนดค่ามาตรฐานของไม้ไผ่

การวิจัยช่วงที่3 : การจำลองและประเมินผลกรอบโครงสร้างไม้ไผ่

ศึกษาแนวทางการออกแบบโครงสร้างไม้ไผ่ในปัจจุบันเพื่อวิเคราะห์และกำหนดรูปแบบกรอบโครงสร้างอาคารที่จะนำมาใช้ในการประเมิน จากนั้นจำลองโครงสร้างและประเมินผลด้านการรับน้ำหนักโดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้างเพื่อนำไปสู่การสรุปแนวทางการออกแบบโครงสร้างไม้ไผ่ต่อไป

บทที่ 2
ผลงานวิจัยและงานเขียนที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้ทั่วไปของไผ่ตง

2.1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของไผ่ตง

ไผ่ตง (ชื่อวิทยาศาสตร์: *Dendrocalamus Asper*) เป็นไผ่ในสกุล Dendrocalamus คำว่า dendro มาจากภาษากรีกที่มีความหมายว่า ต้นไม้ และ คำว่า kalamos แปลว่าพืชประเภทหวาย ดังนั้น Dendrocalamus มีความหมายว่า หวายที่เป็นกอคล้ายต้นไม้ ซึ่งแสดงถึงลักษณะของไผ่ตงที่มีลำไผ่ขนาดใหญ่ค่อนข้างตรงและไม่มีหนาม ขึ้นเป็นกอค่อนข้างแน่น มีความสูงประมาณ 20 เมตร ปลายลำไผ่โค้งและห้อยลงมา เส้นผ่านศูนย์กลางลำไผ่มีความยาวประมาณ 8-18 เซนติเมตร ปล้องแต่ละปล้องมีความยาวประมาณ 40-50 เซนติเมตร เนื้อไผ่มีความหนาประมาณ 1-3.5 เซนติเมตร ไผ่ตงที่ยังเป็นลำอ่อนจะมีขนสีน้ำตาลปกคลุมอย่างหนาแน่นที่ปล้องด้านล่าง และมีขนสีขาวหรือสีเทาปกคลุมที่ปล้องด้านบน ส่วนลำที่แก่จะมีสีเขียวเข้มหรือสีเขียวอมเทา ที่ปล้องด้านล่างยังมีขนปกคลุมหนาแน่นและมักมีรากอากาศขึ้นจำนวนมากตามข้อไผ่ ใบมีขนาดใหญ่และยาว มีความกว้างประมาณ 1.5-3.5 เซนติเมตร และมีความยาวประมาณ 20-30 เซนติเมตร ปลายใบเรียวแหลม ขอบใบสากและคม ไผ่ตงมีประมาณ 50 ชนิดแต่ที่พบในไทยมีทั้งหมด 4 ชนิด ได้แก่ ไผ่ตงหนู ไผ่ตงดำ ไผ่ตงเขียว และไผ่ตงหม้อ แต่ละชนิดมีความแตกต่างกันตรงที่ขนาดและสีของลำไผ่ เนื่องจากคุณสมบัติของไผ่ตงที่มีขนาดใหญ่ ลำไผ่ค่อนข้างตรง มีความคงทนแข็งแรงและหาง่าย จึงทำให้เป็นที่นิยมนำมาใช้ในงานโครงสร้าง เช่น เสา คาน และโครงสร้างหลังคา

2.1.2 คุณสมบัติทางกายภาพของไผ่ตง

คุณสมบัติทางกายภาพประกอบด้วย ความชื้น (Moisture Content), ความหนาแน่น (Mass by Volume หรือ Density), การหดตัว (shrinkage) และความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) ฯลฯ ซึ่งคุณสมบัติทางกายภาพบางประการมีผลกระทบต่อคุณสมบัติเชิงกล ได้แก่ ความชื้น และความถ่วงจำเพาะ จากการศึกษาพบว่ามีงานวิจัยที่ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของไผ่ตงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1

ค่าเฉลี่ยคุณสมบัติทางกายภาพของไผ่ตงจากงานวิจัยอื่น

คุณสมบัติทางกายภาพ		1	2	3	4
เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก (มม.)		113.2	92.5	-	85.3
ความหนาผนังปล้อง (มม.)		12.2	11.1	-	12.7
ความชื้นสัมพัทธ์ (%)		11 (46)*	11	19.98	11.73
ความถ่วงจำเพาะ		0.77 (0.73)*	0.69	-	-
ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)		-	767	-	797.95
การหดตัว (%)	ด้านสัมผัส	2.53	-	-	-
	ด้านรัศมี	1.35	4.5	-	-
	ตามยาว	0.21	0.1	-	-
	ความหนา	-	4.2	-	-

* ที่สภาพสด (ความชื้น 38-60%)

หมายเหตุ. จาก 1. ฐิติกุล ภาคคีรี (2540); 2. สุชาติ ไทยเพชร (2547); 3. พัชริกา ประสงค์พรสกุล (2554); 4. เอกลักษณ์ ตงยนต์ (2554)

ในการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพในงานวิจัย จะศึกษาเฉพาะค่าคุณสมบัติทางกายภาพในขอบเขตที่ผู้วิจัยสนใจหรือศึกษาเฉพาะคุณสมบัติที่ส่งผลต่องานวิจัยนั้น จากการศึกษางานวิจัยที่ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของไผ่ตงในประเทศไทยแต่ศึกษาสายพันธุ์ย่อยที่แตกต่างกัน พบว่า คุณสมบัติทางกายภาพส่วนใหญ่มีค่าใกล้เคียงกัน แต่มีคุณสมบัติบางประการมีค่าที่แตกต่างกันพอสมควร เช่น การหดตัวด้านรัศมี มี 2 งานวิจัยที่ได้ทำการศึกษา คือ 1.35% (ฐิติกุล ภาคคีรี, 2540) และ 4.5% (สุชาติ ไทยเพชร, 2547) และค่าความชื้นมีค่าใกล้เคียงกันมากคือ 11% ยกเว้นแต่งานวิจัยของ พัชริกา ประสงค์พรสกุล (2554) ที่มีค่าความชื้นต่างจากงานวิจัยอื่น ๆ มาก ทั้งนี้คาดว่าสาเหตุที่บางคุณสมบัติมีค่าที่ต่างกันมากอาจมีสาเหตุจากสภาพแวดล้อมในสถานที่ที่ทำการทดลอง เช่น ความชื้นภายในห้องทดสอบ เป็นต้น

2.1.3 คุณสมบัติเชิงกลของไผ่ตง

คุณสมบัติเชิงกลมีความสำคัญต่อการคำนวณและออกแบบโครงสร้างให้มีความแข็งแรงและสามารถรับแรงที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกทั้งหมดที่กระทำบนโครงสร้าง คุณสมบัติเชิงกลประกอบด้วย การต้านทานแรงอัด (Compressive Stress), การต้านทานแรงดัด (Bending Stress), การต้านทานแรงดึง (Tensile Stress), การต้านทานแรงเฉือน (Shearing Stress) และโมดูลัสของความยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) จากการศึกษาพบว่ามีงานวิจัยที่ศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของไผ่ตง ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2

ค่าเฉลี่ยคุณสมบัติเชิงกลของไผ่ตงจากงานวิจัยอื่น

คุณสมบัติเชิงกล		1	2	3	4
โมดูลัสของการยืดหยุ่น (นิวตัน/ตร.มม.)		12,530 (12,038)*	59,500	22,854.75	16,319.66
โมดูลัสของการแตกร้าว (นิวตัน/ตร.มม.)		132 (109)*	-	-	-
ค่าความเหนียว (นิวตัน/ตร.ซม.)		438 (381)*	-	-	-
การต้านทานแรงอัดขนาดเสี้ยน (นิวตัน/ตร.มม.)		67 (54)*	68.50	34	56.80
การต้านทานแรงดัด (นิวตัน/ตร.มม.)		-	84	-	91.80
การต้านทานแรงดึง	ไม่มีข้อ	274 (250)*	359	-	-
ขนาดเสี้ยน (นิวตัน/ตร.มม.)	มีข้อ	-	96	61.84	61.80
การต้านทานแรงเฉือน	ไม่มีข้อ	14 (9)*	9.40	35.16	9.30
ขนาดเสี้ยน (นิวตัน/ตร.มม.)	มีข้อ	-	9.80	34.68	10.60

* ที่สภาพสด (ความชื้น 38-60%)

หมายเหตุ. จาก 1. ฐิติกุล ภาคคีรี (2540); 2. สุชาติ ไทยเพชร (2547); 3. พัชริกา ประสงค์พรสกุล (2554); 4. เอกลักษณ์ ตงยนต์ (2554)

ในการศึกษาคุณสมบัติเชิงกลมีลักษณะเช่นเดียวกับการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ คือจะศึกษาในขอบเขตที่ผู้วิจัยสนใจหรือศึกษาเฉพาะคุณสมบัติที่ส่งผลต่องานวิจัยนั้น ซึ่งคุณสมบัติเชิงกลส่วนใหญ่จะมีค่าใกล้เคียงกัน แต่มีเพียงบางงานวิจัยหรือคุณสมบัติบางประการที่มีค่า

แตกต่างจากงานวิจัยอื่น ๆ เช่นเดียวกับคุณสมบัติทางกายภาพ คาดว่าสาเหตุที่บางคุณสมบัติมีค่าที่ต่างกันมากอาจมีสาเหตุจากสภาพแวดล้อมในสถานที่ที่ทำการทดลอง หรือ อาจเกิดจากอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

2.2 ไม้ไผ่กับงานโครงสร้างทางสถาปัตยกรรม

จากการศึกษาพบว่ามีงานวิจัยมากมายที่ศึกษาไม้ไผ่กับการนำไปใช้ประโยชน์ในงานโครงสร้างทางสถาปัตยกรรม ซึ่งงานวิจัยที่ได้ศึกษามีหลากหลายลักษณะ ทั้งการศึกษาโครงสร้างที่ใช้ไม้ไผ่ทั้งลำเป็นวัสดุโครงสร้าง บางงานวิจัยนำไม้ไผ่ไปแปรรูปก่อนนำมาใช้เป็นโครงสร้าง โดยระเบียบการวิจัยของงานวิจัยส่วนใหญ่ได้ศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของไม้ไผ่ ในแต่ละงานวิจัยศึกษาไม้ไผ่ที่มีความสำคัญในพื้นที่นั้น ๆ และนำคุณสมบัติเชิงกลที่ได้จากการทดสอบไปใช้ในการศึกษาด้านความแข็งแรงของโครงสร้างไม้ไผ่ต่อไป

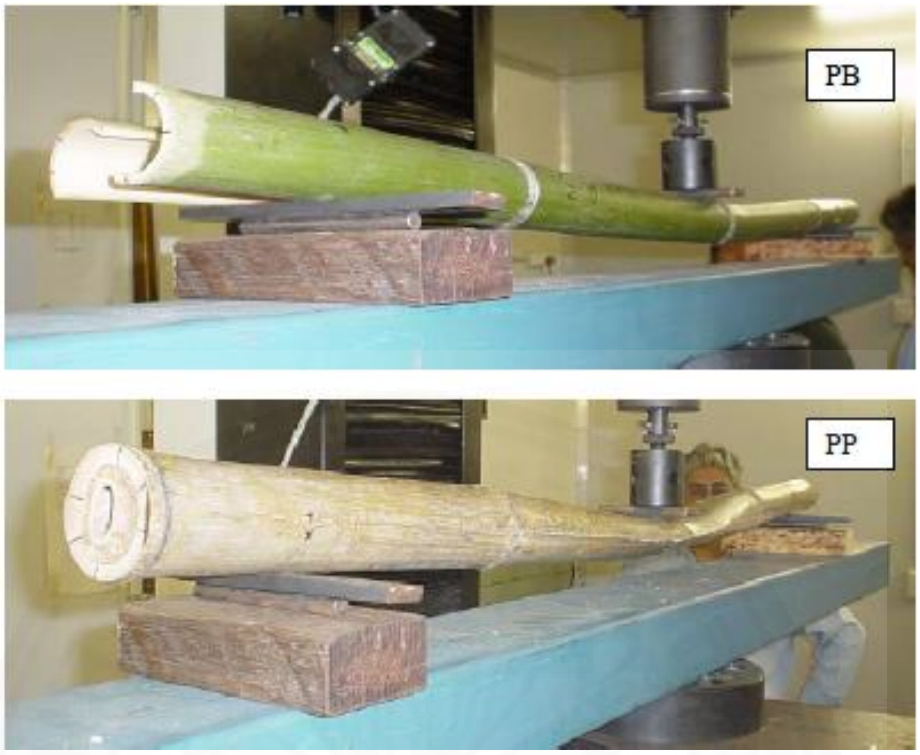
ในต่างประเทศมีงานวิจัยที่เห็นถึงความสำคัญของไม้ไผ่ และศึกษาด้านความแข็งแรงของโครงสร้างไม้ไผ่ โดยเลือกศึกษาไม้ไผ่ที่เป็นสายพันธุ์สำคัญของประเทศ เช่น งานวิจัยโครงสร้างไม้ไผ่ในประเทศฮ่องกง ได้ศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของไม้ไผ่ที่สำคัญ 2 สายพันธุ์ ได้แก่ *Phyllostachy Bambusoides* (PB) และ *Phyllostachy Pubescens* (PP) โดยมีผลจากการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของไม้ไผ่ที่ 2 สายพันธุ์ ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3

คุณสมบัติเชิงกลของ Phyllostachy Bambusoides (PB) และ Phyllostachy Pubescens (PP)

ชนิดไม้ไผ่	การต้านทานแรงอัด (นิวตัน/ตร.มม.)	การต้านทานการโก่งเดาะ (นิวตัน/ตร.มม.)	โมดูลัสของการยืดหยุ่น (นิวตัน/ตร.มม.)
Phyllostachy Bambusoides (PB)	41.8	26.1	10,052
Phyllostachy Pubescens (PP)	49.5	35.8	10,173

หมายเหตุ. จาก F.Albermani,G.Y. Goh, S.L. Chan, 2006



ภาพที่ 2.1 การทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของไผ่ *Phyllostachy Bambusoides* (PB) และ *Phyllostachy Pubescens* (PP). จาก *Lightweight bamboo double layer grid system*, โดย F.Albermani,G.Y. Goh, S.L. Chan, 2006, Hong Kong.

จากการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของไม้ไผ่ทั้ง 2 สายพันธุ์ นำไปสู่การศึกษาระบบโครงสร้างไม้ไผ่น้ำหนักเบา 2 ชั้น (Lightweight bamboo double layer grid system) ซึ่งจากการวิจัยพบว่าระบบโครงสร้างไม้ไผ่น้ำหนักเบา 2 ชั้นสามารถนำไปใช้ในโครงสร้างขนาดกลาง (F.Albermani,G.Y. Goh, S.L. Chan, 2006)

ภาพที่ 2.2 รูปแบบโครงสร้าง double layer grid system. จาก *Lightweight bamboo double layer grid system*, โดยF.Albermani,G.Y. Goh, S.L. Chan, 2006, Hong Kong.

ภาพที่ 2.3 การทดสอบการรับน้ำหนักของโครงสร้างแบบ double layer grid system. จาก *Lightweight bamboo double layer grid system*, โดยF.Albermani,G.Y. Goh, S.L. Chan, 2006, Hong Kong.

ไม้ไผ่เป็นวัสดุในงานโครงสร้างที่หาง่ายได้ตามท้องถิ่น จึงทำให้หลายประเทศยังคงใช้ไม้ไผในการก่อสร้างอาคาร เช่น ในประเทศกานา มีงานวิจัยศึกษาการใช้ไม้ไผในการก่อสร้างอาคาร โดยศึกษาในด้านความคุ้มทุนในการก่อสร้างและความแข็งแรงของโครงสร้าง กรณีศึกษาอาคารเรียน พบว่า ด้วยความแข็งแรงและความคุ้มทุนในการก่อสร้าง ไม้ไผ่เป็นวัสดุทางเลือกที่ให้ความแข็งแรงและ

ความคุ้มทุนได้ดีกว่าไม้ ซึ่งงานวิจัยเป็นส่วนหนึ่งในการแสดงถึงประสิทธิภาพของไม้ไผ่และกระตุ้นความสนใจในการนำไม้ไผ่ไปใช้ในการก่อสร้างอาคาร (K. A. Solomon-Ayeh, 2005)

สำหรับในประเทศไทย ไม้ไผ่ถูกนำมาใช้ในงานโครงสร้างมากมาย และมีงานวิจัยที่ศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของไม้ไผ่สายพันธุ์ต่าง ๆ เช่น สมบัติทางกายภาพและเชิงกลของไผ่ตง, ฐิติกุล ภาคคีรี (2540), พฤติกรรมการรับแรงดัดของไผ่ตง, เอกลักษณ์ ตงยนต์ (2554) เป็นต้น ในบางงานวิจัยเป็นการวิจัยในลักษณะของการนำไม้ไผ่ไปใช้ในงานโครงสร้าง เช่น การศึกษาพฤติกรรมและกำลังรับน้ำหนักตามแนวแกนของเสาไม้ไผ่, พัชริกา ประสงค์พรสกุล (2554), การศึกษาความสามารถการรับน้ำหนักของโครงสร้างไผ่โดยวิธีการรวบลำเพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบสถาปัตยกรรม, ภัทฐิตา พงศ์ธนา (2556) เป็นต้น และในบางงานวิจัยเป็นการวิจัยในลักษณะของการแปรรูปไม้ไผ่เพื่อนำไปใช้เป็นโครงสร้างอาคาร โดยการแปรรูปเป็นไผ่ประกับ ซึ่งจากการศึกษาพบว่าไผ่ประกับมีคุณสมบัติเชิงกลดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4

คุณสมบัติเชิงกลของไผ่ประกับ

คุณสมบัติเชิงกล		กก./ตร.ซม.
ด้านขนานระนาบกาว	หน่วยแรงดัดที่จุด P.L.	310 – 596
	โมดูลัสของการยืดหยุ่น	81,287 – 153,638
	โมดูลัสของการแตกร้าว	601 – 1,379
ด้านตั้งฉากระนาบกาว	หน่วยแรงดัดที่จุด P.L.	210 – 566
	โมดูลัสของการยืดหยุ่น	55,801 – 157,674
	โมดูลัสของการแตกร้าว	359 – 1,203
หน่วยแรงเฉือนตั้งฉากระนาบกาว		224 – 286
หน่วยแรงเฉือนขนานระนาบกาว		54 – 99
หน่วยแรงเฉือนขนานชั้นทากาวที่จุด P.L.		16 – 53
หน่วยแรงเฉือนประลัยขนานชั้นทากาว		35 – 102
หน่วยแรงดึงขนานเสี้ยนของแผ่นไม้บางที่จุด P.L.		200 – 461
หน่วยแรงดึงประลัยขนานเสี้ยนสูงสุด		680 -1,743

หมายเหตุ. จาก อิทธิพงษ์ อินพล, 2540

ไม้ไผ่ประกับสามารถนำมาใช้เป็นโครงสร้างอาคาร โดยนำมาใช้เป็นคานรับน้ำหนักของอาคารได้จากศึกษาพบว่า การรับน้ำหนักของคานไม้ไผ่ประกับ ไผ่ตงและไผ่เลี้ยงมีประสิทธิภาพในการ

รับน้ำหนักได้ดีกว่าไผ่สีสุก ไผ่ซางหม่นและไม้ประกอบเชิงวิศวกรรม OSL PSL แต่เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับไม้เนื้อแข็งไม้ไผ่ประกับจะมีประสิทธิภาพน้อยกว่าไม้เนื้อแข็ง ตัวอย่างเช่นหน้าตัดคานขนาด 5 นิ้ว x12 นิ้ว น้ำหนักกระทำระดับต่ำ พบว่าไผ่ตง ไผ่เลี้ยง ไม้แดง และไม้เต็ง มีประสิทธิภาพเท่าเทียมกันที่ระยะช่วงพาด 8 x 8 เมตร ต่อมาเปลี่ยนน้ำหนักกระทำเป็นระดับกลาง ไผ่ตง และไผ่เลี้ยง มีประสิทธิภาพลดลงที่ช่วงพาด 6 x 9 เมตร ในขณะที่ไม้แดง และไม้เต็งยังคงมีประสิทธิภาพเท่าเดิมต่อมาเมื่อมีการเพิ่มขนาดหน้าตัดให้มีขนาดใหญ่ขึ้นเป็นขนาด 5 นิ้ว x 14 นิ้ว จะพบว่าไผ่ตง และไผ่เลี้ยงมีประสิทธิภาพใกล้เคียงไม้เนื้อ (ชุติมณฑน์ เสียงสุทธิวงศ์, 2556)

ภาพที่ 2.4 ไม้ไผ่ประกับที่ใช้ในการทดสอบ. จาก *การศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุไผ่ประกับที่ทำจากพันธุ์ไผ่ไทยเพื่อใช้ออกแบบคานไม้สำหรับอาคารสาธารณะขนาดเล็ก*, โดย ชุติมณฑน์ เสียงสุทธิวงศ์, 2556.

ภาพที่ 2.5 การทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของคานไม้ไผ่ประกับ. จาก *การศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุไผ่ประกับที่ทำจากพันธุ์ไผ่ไทยเพื่อใช้ออกแบบคานไม้สำหรับอาคารสาธารณะขนาดเล็ก*, โดย ชุติมณฑน์ เสียงสุทธิวงศ์, 2556.

2.3 แนวคิดในการออกแบบโครงสร้างสถาปัตยกรรมไม้ไผ่

ในการศึกษาแนวคิดในการออกแบบสถาปัตยกรรมไม้ไผ่ได้ศึกษาสถาปัตยกรรมไม้ไผ่พื้นถิ่น เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบสถาปัตยกรรมไม้ไผ่ร่วมสมัยในปัจจุบันต่อไป จากการศึกษาพบว่าในอดีต ลักษณะของการสร้างที่อยู่อาศัย จะมีรูปแบบที่เรียบง่าย เน้นการใช้สอย โดยปัจจัยสำคัญคือการใช้วัสดุที่สามารถหาได้ง่ายจากธรรมชาติ ไม้ไผ่จึงวัสดุหนึ่งที่นิยมนำมาใช้สร้างที่อยู่อาศัยในแถบภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เพราะไม้ไผ่เป็นพืชที่สามารถหาได้ง่ายและเจริญเติบโตเร็ว โดยรูปแบบของอาคารใช้ลักษณะของการผูกและมัดชิ้นส่วนโครงสร้างเข้าไว้ด้วยกัน ด้วยลักษณะลำต้นที่ตรงจึงง่ายต่อการนำมาเป็นโครง ไม้ไผ่จะรับแรงที่กดตรง ๆ กับหน้าตัดของลำไผ่ได้ดีกว่าที่มาจากด้านข้าง เพราะจะทำให้ไม้ไผ่โค้งงอในกรณีที่จะต้องรับน้ำหนักมาก ๆ การที่ไม้ไผ่สามารถโค้งงอโดยไม่หักเนื่องจากความเหนียวของไม้ไผ่ ทำให้ไม้ไผ่มีความยืดหยุ่น รูปแบบของสถาปัตยกรรมไม้ไผ่พื้นถิ่นบางแห่งใช้การดัดโค้งมาใช้ในส่วนของโครงสร้างหรือส่วนของหลังคา รูปทรงดังกล่าวเกิดขึ้นจากการใช้คุณสมบัติที่มีอยู่ในไม้ไผ่ ข้อดีของโครงสร้างที่ทำมาจากไม้ไผ่คือ เมื่อรับน้ำหนักมาก ๆ ไม้ไผ่จะแอ่นตัว

เพื่อพยุงน้ำหนัก ไม่หักหรือพังในทันที เพราะไม้ไผ่มีความยืดหยุ่นตัวสูง เหมือนกับลักษณะของต้นไผ่ที่อ่อนไหวตามแรงลม อีกทั้งไม้ไผ่มีน้ำหนักเบาเพราะภายในปล้องไผ่กลวง แต่มีข้อเพื่อช่วยเสริมความแข็งแรง (กานต์ คำแก้ว, 2546)

นอกจากงานโครงสร้างแล้ว ไม้ไผ่ยังถูกนำไปใช้ในการทำผนัง โดยการใช้มี 2 ลักษณะ คือ การใช้ไม้ไผ่ทั้งลำ และใช้ไม้ไผ่ที่ผ่าซีกแล้วสานลายขัดกันหรือใช้ปูแบบไม่ต้องสาน รูปแบบการสานจะแตกต่างกันไปในแต่ละท้องถิ่น ซึ่งผนังไม้ไผ่จะช่วยในเรื่องของการระบายอากาศภายในอาคาร ในการใช้ไม้ไผ่ทั้งลำในการกั้นเป็นผนังนั้น บางพื้นที่ที่ต้องการความเป็นส่วนตัวโดยการติดผนังชิดไม่เว้นร่อง แต่ในบางพื้นที่ที่ต้องการการระบายอากาศ หรือกั้นผนังเพื่อเป็นแนวบอกขอบเขตจะกั้นผนังแบบเว้นระยะห่างของช่อง ให้ความรู้สึกที่โปร่งโล่งเพื่อช่วยในการระบายอากาศและเป็นการเชื่อมต่อกับพื้นที่ภายนอกทำให้สถาปัตยกรรมไม่ดูทึบตัน (Vegesack, Alexander von and Kries Mateo, 2000)

ภาพที่ 2.6 โครงสร้างไม้ไผ่ของบ้านพื้นเมืองและโครงสร้างไม้ไผ่ Meeting house in Maipua. จาก *ไม้ไผ่กับสถาปัตยกรรมที่เลือนหาย* โดย กานต์ คำแก้ว, 2546

ลักษณะการต่อไม้ไผ่ส่วนใหญ่จะอาศัยการผูกหรือมัดเข้าด้วยกัน โดยวัสดุที่ใช้มักมากจะใช้ตอกไม้ไผ่หรือหวาย วิธีการมัดจะต้องมัดไขว้กันให้แน่นเพื่อความแข็งแรงของโครงสร้าง ลักษณะการต่อไม้ไผ่ จุดที่เชื่อมต่อกันอาจมีการเคลื่อนตัวบ้างทำให้โครงสร้างสามารถผ่อนแรงที่ปะทะจากทาง

ด้านข้าง เช่น แรงลม หรือแรงที่เกิดจากแรงแผ่นดินไหว ข้อดีของโครงสร้างที่ประกอบชิ้นส่วนด้วยการมัดคือ สามารถรื้อถอนอาคารแล้วนำไปประกอบใหม่ได้โดยไม่เกิดการเสียหายมากนัก การต่อไม้ไผ่อีกรูปแบบหนึ่งคือการต่อไม้โดยการบากไม้ไผ่เป็นช่องเพื่อสอดไม้อีกชิ้นเข้าไป แต่การบากไม้ไผ่จะทำให้ไม้ไผ่หักได้ง่ายขึ้น ดังนั้นไม้ไผ่ที่บากจะต้องมีขนาดที่ใหญ่กว่าชิ้นที่สอดเข้าไป แล้วมัดให้แน่นหรือใช้ลิ่มสอดเข้าระหว่างไม้ไผ่ทั้งสองชิ้นเพื่อไม่ให้หลุดออกจากกัน การต่อไม้เป็นภูมิปัญญาของคนในอดีตที่ต้องอาศัยความรู้ความเข้าใจธรรมชาติของไม้ไผ่เสียก่อน

ภาพที่ 2.7 ลักษณะของการต่อไม้ไผ่แบบเข้าเดือยในสถาปัตยกรรมพื้นถิ่น . ภาพถ่ายโดยผู้เขียน, ถ่ายภาพเมื่อวันที่ 19 มกราคม 2557

ในปัจจุบัน การต่อไม้ไผ่ได้มีการพัฒนา ใช้คอนกรีตและเหล็กเข้ามาช่วยเพิ่มความแข็งแรงของโครงสร้าง โดยการใส่คอนกรีตตรงจุดที่มีการเชื่อมต่อ และยึดชิ้นส่วนไม้ไผ่แต่ละชิ้นด้วยเหล็ก ทำให้จุดที่มีการต่อไม้ไผ่มีความแข็งแรง แต่วิธีนี้จะทำให้โครงสร้างมีการเคลื่อนตัวน้อยลง อาจส่งผลต่อการรับแรงที่กระทำจากด้านข้าง (Andry Widyowijitnoko, 2012)

ภาพที่ 2.8 แสดงลักษณะของการต่อไม้ไผ่ในแบบใช้คอนกรีตและเหล็ก. ภาพถ่ายโดยผู้เขียน, ถ่ายภาพเมื่อวันที่ 10 พฤษภาคม 2556

สถาปัตยกรรมไม้ไผ่ในปัจจุบันได้ถูกพัฒนาในด้านของการออกแบบรูปทรงและโครงสร้างมากขึ้น รูปทรงอาคารมีความหลากหลาย ส่วนในเรื่องของโครงสร้างก็มีการออกแบบให้มีความน่าสนใจแต่ก็ยังคงความแข็งแรง ในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เป็นพื้นที่ที่ไผ่สามารถเจริญเติบโตได้ดี จึงทำให้เกิดสถาปัตยกรรมไม้ไผ่ในแถบนี้เป็นจำนวนไม่น้อย ทั้งในประเทศเวียดนาม ประเทศอินโดนิเซีย และประเทศไทย ซึ่งล้วนเป็นสถาปัตยกรรมที่มีชื่อเสียงระดับโลก เช่น wNw Bar, Bamboo Wing, wNw Cafe ในประเทศเวียดนาม และโรงเรียนปัญญาเด่นใน ประเทศไทย ซึ่งส่วนใหญ่แล้วเป็นอาคารประเภทสาธารณะ ที่มีความสูงอยู่ที่ 1-2 ชั้น ในส่วนเรื่องรูปแบบโครงสร้าง มักมีลักษณะการซ้ำกันของโครงสร้าง คือ ระบบโครงสร้าง ที่มีรูปแบบที่ซ้ำกันประกอบขึ้นเป็นอาคาร ซึ่งกรอบโครงสร้าง ประกอบด้วย เสา คาน และโครงสร้างหลังคาด้วย

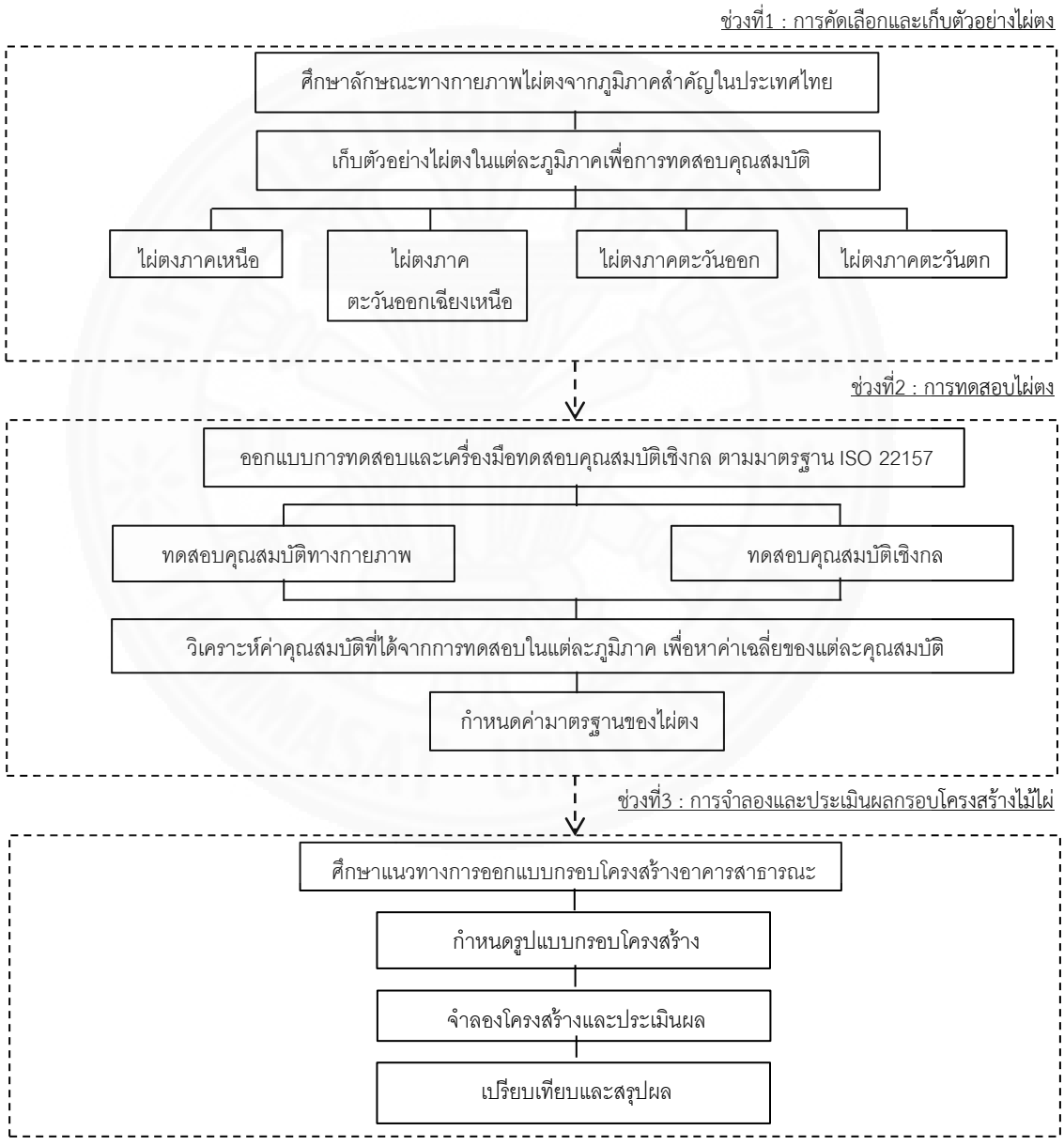
ภาพที่ 2.9 โครงสร้างอาคารโรงเรียนปัญญาเด่น จังหวัดเชียงใหม่ ประเทศไทย. ภาพถ่ายโดยผู้เขียน, ถ่ายภาพเมื่อวันที่ 14 พฤศจิกายน 2556

ในการออกแบบสถาปัตยกรรมไม้ไผ่สิ่งที่ผู้ออกแบบควรทราบ เพื่อการออกแบบโครงสร้างไม้ไผ่ที่เหมาะสมและเกิดประสิทธิภาพ มีดังนี้ ไม้ไผ่ไม่สามารถทนต่อ แสงแดด และฝนได้ เพราะจะไปทำลายเนื้อไผ่ ส่งผลต่อความแข็งแรงไม้ไผ่ ในการออกแบบควรออกแบบให้โครงสร้างสัมผัสกับแสงแดดน้อยที่สุด และมีโครงสร้างหลังคาที่ปกคลุมโครงสร้างทั้งหมดเพื่อป้องกันฝน ไม่ควรให้เสาหรือชิ้นส่วนโครงสร้างไม้ไผ่สัมผัสกับพื้นดิน เพื่อป้องกันแมลงที่จะมาทำลายไม้ไผ่ โดยควรมีตอ-หม้อของโครงสร้างวางสัมผัสกับพื้นดินเพื่ออายุการใช้งานของโครงสร้าง ควรใช้ไม้ไผ่ที่ผ่านกรรมวิธีถนอมไม้ไผ่ เพราะการถนอมไม้ไผ่จะช่วยป้องกันแมลงมาทำลายเนื้อไม้ ไม้ไผ่มีความสามารถในการรับแรงดึง (Tension) หรือแรงที่กระทำในลักษณะของการดึงไม้ไผ่ออกจากกันได้ดีกว่าแรงอัด (Compression) หรือแรงในแนวดิ่งที่กระทำลงบนไม้ไผ่ (สุปรีดี ฤทธิรงค์, 2554)

บทที่ 3
ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 แผนภาพระเบียบวิจัย

ระเบียบขั้นตอนในการวิจัยมีรายละเอียดดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 แผนภาพระเบียบวิธีวิจัย

3.2 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องในงานวิจัย

ตัวแปรในงานวิจัยนี้จะเป็นตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไผ่ โดยมีตัวแปรดังนี้

ตัวแปรต้น พันธุ์ไผ่ตงในแต่ละภูมิภาค
- ไผ่ตงภาคเหนือ
- ไผ่ตงภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
- ไผ่ตงภาคตะวันออก
- ไผ่ตงภาคตะวันตก

ตัวแปรตาม คุณสมบัติทางกายภาพของไผ่ตง
- ความชื้น (Moisture Content)
- ความหนาแน่น (Mass by Volume)
- การหดตัว (shrinkage)

คุณสมบัติเชิงกลของไผ่ตง
- กำลังต้านทานแรงอัดสูงสุด (Ultimate Compressive Stress)
- กำลังต้านทานสูงสุด (Ultimate Strength)
- กำลังต้านทานแรงเฉือนสูงสุด (Ultimate Shear Strength)
- กำลังต้านทานแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength)
- โมดูลัสการยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity)

ตัวแปรควบคุม อายุของไผ่ 3-4 ปี

ความยาวและขนาดของลำไผ่ เป็นไปตามที่มาตรฐาน ISO (22157-1) กำหนดไว้

3.3 การคัดเลือกและเก็บตัวอย่างไผ่ตง

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาไผ่ตงที่ใช้ในงานสถาปัตยกรรมในแต่ละภูมิภาค ซึ่งในแต่ละพื้นที่จะใช้ไผ่ตงที่ปลูกในแต่ละท้องถิ่นหรือพื้นที่ใกล้เคียง เนื่องจากปัจจัยในการขนส่งวัสดุ ในการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของไผ่ตงนี้จึงจำเป็นที่ต้องทดสอบไผ่ตงจากภูมิภาคสำคัญที่มีการปลูกไผ่ตง

และนำมาใช้ประโยชน์ เพื่อรวบรวมคุณสมบัติของไผ่ตงและกำหนดเป็นค่ามาตรฐานกลางของไผ่ตงของประเทศไทย

จากการศึกษาพบว่า พื้นที่ที่มีการปลูกและใช้ประโยชน์จากไผ่ตง ได้แก่ ภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคตะวันออก และภาคตะวันตก ในขั้นตอนการทำวิจัยนี้จะศึกษาและคัดเลือกไผ่ตงจากภูมิภาคดังกล่าว เพื่อนำมาใช้ในการทดสอบคุณสมบัติต่อไป โดยมีการคัดเลือกดังนี้

1. คัดเลือกไผ่ตงที่มีอายุ 3-4 ปี เพราะเป็นช่วงที่ไม้ไผ่เจริญเติบโตสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้
2. เป็นไผ่ที่ได้รับการถนอมไม้ไผ่ด้วยระบบอัดน้ำยาสุญญากาศ เพื่อป้องกันแมลงกัดกินและทำลายเนื้อไม้
3. เลือกใช้ช่วงกลางของลำไผ่ที่มีขนาดของปล้องเท่ากันหรือใกล้เคียงกันตลอดลำ และมีลำต้นตรงไม่โค้งงอ โดยช่วงกลางของลำไผ่มีความยาวเป็น 1/3 ของความยาวทั้งหมดของลำไผ่

หลังจากคัดเลือกตัวอย่างไผ่ตงจากภูมิภาคสำคัญต่างๆ แล้ว นำตัวอย่างไผ่ตงดังกล่าวมาศึกษาลักษณะทางกายภาพและบันทึกข้อมูล โดยศึกษาลักษณะทางกายภาพดังต่อไปนี้

1. ความหนาของเนื้อไม้ไผ่ โดยวัดความหนาของเนื้อไม้ 4 จุด บนหน้าตัดของไม้เดียวกัน และซึ่งจุดที่ 1 และ 2 เป็นจุดที่อยู่ตรงข้ามกัน จุดที่ 3 และ 4 เป็นจุดที่อยู่ในแนวตั้งฉากกับจุดที่ 1 และ 2 นำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยความหนาของเนื้อไม้
2. เส้นผ่านศูนย์กลางของลำไผ่ โดยวัด ณ จุดเดียวกันกับจุดที่วัดความหนาของเนื้อไม้ ซึ่งจะได้ความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 ค่า หาค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางของลำไผ่
3. พื้นที่หน้าตัดของลำไผ่ โดยคำนวณหาพื้นที่ที่กำหนดไว้ใน ISO (22157-1) มีสมการดังนี้

$$\mathrm{A} = (\pi/4) \times [D^2 - (D - 2t)^2]$$

เมื่อ A = พื้นที่หน้าตัดลำไผ่ (ตร.มม.)
D = ค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลาง (มิลลิเมตร)
t = ค่าเฉลี่ยความหนาเนื้อไม้ (มิลลิเมตร)

3.4 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกล

ในการทดสอบในงานวิจัยนี้เป็นการทดสอบตามมาตรฐาน ISO (22157-1) (Bamboo-Determination of physical and mechanical properties) ซึ่งเป็นมาตรฐานการทดสอบ

คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไผ่ในลักษณะเป็นลำ ดังนั้นค่าที่ได้จากการทดสอบจึงแสดงความแข็งแรงของไผ่ทั้งลำไม่ใช่เพียงส่วนใดส่วนหนึ่งของไผ่ โดยขั้นตอนการทดสอบมีดังนี้

1. ตรวจสอบเครื่องมือในการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล เพื่อความแม่นยำและถูกต้องของค่าคุณสมบัติ
2. เตรียมตัวอย่างไผ่ตงที่ใช้ทดสอบให้เหมาะสมกับกระบวนการทดสอบในแต่ละการทดสอบคุณสมบัติ ตามที่มาตรฐาน ISO 22157-1 กำหนดไว้
3. ทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของไผ่ตง โดยแบ่งการทดสอบในแต่ละพันธุ์ ดังนี้

   การทดสอบความชื้น (Moisture Content)

   การทดสอบความหนาแน่น (Mass by Volume)

   การทดสอบการหดตัว (shrinkage)

   การทดสอบกำลังต้านทานแรงอัด (Compression)

   การทดสอบกำลังต้านทานแรงดัด (Bending)

   การทดสอบกำลังต้านทานแรงเฉือน (Shear)

   การทดสอบกำลังต้านทานแรงดึง (Tension)

   ในการทดสอบไผ่ตงแต่ละภูมิภาคและในแต่ละการทดสอบ จะทำการทดสอบจำนวน 10 ครั้ง ดังนั้นจะต้องทำการทดสอบทั้งหมด 280 การทดสอบ
4. วิเคราะห์เปรียบเทียบผลการทดสอบและหาค่าเฉลี่ยของค่าคุณสมบัติในแต่ละคุณสมบัติจากไผ่ตงในแต่ละภูมิภาคสำคัญ
5. สรุปผลการทดสอบเป็นค่ามาตรฐานกลางคุณสมบัติเชิงกลของไผ่ตง

3.4.1 การทดสอบความชื้น (Moisture Content)

การทดสอบหาค่าความชื้นของไผ่ตง เริ่มจากการเตรียมไม้ไผ่โดยตัดไม้ไผ่ให้เป็นชิ้นลูกบาศก์ ขนาด 25x25 มิลลิเมตร ดังภาพที่ 3.2 นำไปชั่งน้ำหนักและบันทึกข้อมูล น้ำหนักที่ได้เป็นน้ำหนักของไม้ไผ่สภาพสด จากนั้นนำไม้ไผ่ไปทำการอบในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 103±2 องศาเซลเซียส ใช้เวลาประมาณ 24 ชั่วโมง แล้วนำไปชั่งน้ำหนักอีกครั้ง น้ำหนักที่ได้เป็นน้ำหนักสภาพแห้ง นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาปริมาณความชื้นตามสมการดังต่อไปนี้

$$\mathrm{MC} = \frac{m - m_0}{m_0} \times 100$$

เมื่อ MC = ปริมาณความชื้น (%)

m = น้ำหนักสภาพสด (กรัม)

m_0 = น้ำหนักสภาพแห้ง (กรัม)

ภาพที่ 3.2 ตัวอย่างไผ่ตงในการทดสอบความชื้น. ภาพถ่ายโดยผู้เขียน, ถ่ายภาพเมื่อวันที่ 11 มีนาคม 2557

3.4.2 การทดสอบความหนาแน่น (Mass by Volume)

การเตรียมไม้ไผ่ที่ใช้ในการทดสอบ เริ่มจากการเตรียมไม้ไผ่โดยตัดไม้ไผ่ให้เป็นชิ้นลูกบาศก์ ขนาด 25x25 มิลลิเมตร คำนวณปริมาตรของไม้ไผ่ทดสอบ ปริมาตรที่ได้เป็นปริมาตรไม้ไผ่สภาพสด จากนั้นนำไม้ไผ่ไปทำการอบในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 103±2 องศาเซลเซียส ใช้เวลาประมาณ 24 ชั่วโมง วัดขนาดของไม้ไผ่อีกครั้ง แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก น้ำหนักที่ได้เป็นน้ำหนักสภาพแห้ง นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาความหนาแน่นตามสมการดังต่อไปนี้

$$\rho = (m/V) \times 10^6$$

เมื่อ ρ = ความหนาแน่นเนื้อไม้ (กก./ลบ.ม.)

m = น้ำหนักสภาพแห้ง (กรัม)

V = ปริมาตร (ลบ.มม.)

3.4.3 การทดสอบการหดตัว (shrinkage)

ในการทดสอบจะใช้ไม้ไผ่เต็มลำ โดยมีความสูง 10 เซนติเมตร ดังภาพที่ 3.3 วัดขนาดของไม้ไผ่ทดสอบ โดยวัดจากความหนาของเนื้อไม้ 4 ด้าน และความยาวของไม้ไผ่ที่ทดสอบ จากนั้นนำไม้ไผ่ไปทำการอบในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 103±2 องศาเซลเซียส ใช้เวลาประมาณ 24 ชั่วโมง วัดขนาดของไม้ไผ่อีกครั้ง เพื่อหาขนาดไม้ไผ่ที่ลดลงจากสภาพสด นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาการหดตัวตามสมการดังต่อไปนี้

$$\text{การหดตัว (\%)} = \frac{I-F}{I} \times 100$$

เมื่อ I = ขนาดเริ่มต้นที่วัดได้

F = ขนาดสุดท้ายที่วัดได้

ภาพที่ 3.3 ตัวอย่างไผ่ตงในการทดสอบการหดตัว. ภาพถ่ายโดยผู้เขียน, ถ่ายภาพเมื่อวันที่ 11 มีนาคม 2557

3.4.4 การทดสอบกำลังต้านทานแรงอัด (Compression)

ในการทดสอบจะใช้ไม้ไผ่เต็มลำจากส่วนตรงกลางของลำไผ่ โดยเป็นส่วนที่ไม่ติดกับข้อไผ่และมีความสูงเท่ากับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลำไผ่ วัดขนาดพื้นที่หน้าตัดไม้ไผ่ทดสอบ จากนั้นนำไม้ไผ่ที่ทดสอบไปวางตรงกลางของหัวจับ โดยให้ทิศทางของแรงขนานกับเสี้ยน ดังภาพที่ 3.4 ทำการทดสอบโดยใช้ความเร็วของหัวกดให้ลำไม้ไผ่แตก บันทึกค่าน้ำหนักสูงสุดที่ทำให้ไม้ไผ่แตกหัก เพื่อนำไปคำนวณหาค่ากำลังต้านแรงอัด ดังสมการต่อไปนี้

$$\sigma_{\text{ult}} = \frac{F_{\text{ult}}}{A}$$

เมื่อ σ_{ult} = กำลังต้านทานแรงอัด (นิวตัน/ตร.มม.หรือ MPa)

F_{ult} = น้ำหนักที่มากที่สุดที่ทำให้ไม้ไผ่แตกหัก (นิวตัน)

A = พื้นที่หน้าตัดลำไผ่ (ตร.มม.)

ภาพที่ 3.4 การทดสอบกำลังต้านทานแรงอัด. ภาพถ่ายโดยผู้เขียน, ถ่ายภาพเมื่อวันที่ 11 มีนาคม 2557

3.4.5 การทดสอบกำลังต้านทานแรงดัด (Bending)

การทดสอบแรงดัดจะทำการทดสอบไม้ไผ่ทั้งลำ โดยความยาวของลำไผ่ต้องไม่น้อยกว่า 30 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของลำไผ่ วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (*D*) และความหนาของเนื้อไม้ไผ่ (*t*) เพื่อคำนวณหา โมเมนต์อินเนอร์เชีย ตามสมการดังต่อไปนี้

$$I_{\mathrm{B}} = \pi/64 \times [D^4 - (D - 2t)^4]$$

เมื่อ I_{B} = โมเมนต์อินเนอร์เชีย (มิลลิเมตรยกกำลังสี่)
D = เส้นผ่านศูนย์กลางของลำไผ่ (มิลลิเมตร)
t = ความหนาของเนื้อไม้ไผ่ (มิลลิเมตร)

นำไม้ไผ่วางลงบนเครื่องมือ ดังภาพที่ 3.5 ทำการทดสอบโดยใช้ความเร็วของหัวกดให้ลำไม้ไผ่แตกบันทึกค่าน้ำหนักที่กระทำสูงสุดที่ทำให้ไม้ไผ่แตกหัก วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง(*D*) อีกครั้ง นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณเพื่อหาค่ากำลังต้านแรงดัด ดังสมการต่อไปนี้

$$\sigma_{\mathrm{ult}} = F \times L \times \frac{D}{12 \times I_B}$$

เมื่อ σ_{ult} = กำลังต้านทานแรงดัด (นิวตัน/ตร.มม.หรือ MPa)
F = น้ำหนักที่มากที่สุดที่ทำให้ไม้ไผ่แตกหัก (นิวตัน)
L = ความยาวของลำไผ่ (มิลลิเมตร)
D = เส้นผ่านศูนย์กลางของลำไผ่ (มิลลิเมตร)
I_{B} = โมเมนต์อินเนอร์เชีย (มิลลิเมตรยกกำลังสี่)

จากนั้นสามารถหาค่า โมดูลัสของการยืดหยุ่น (The modulus of elasticity หรือ Young's modulus) ได้จาก สมการต่อไปนี้

$$E = (23 \times F \times L^3) \,/\, (1296 \times \delta \times I_{\mathrm{B}})$$

เมื่อ E = โมดูลัสของการยืดหยุ่น (นิวตัน/ตร.มม.หรือ MPa)
F = น้ำหนักที่มากที่สุดที่ทำให้ไม้ไผ่แตกหัก (นิวตัน)
L = ความยาวของลำไผ่ (มิลลิเมตร)

I_B = โมเมนต์อินเนอร์เชีย (มิลลิเมตรยกกำลังสี่)

δ = ค่าการโก่งตัว (มิลลิเมตร)

ภาพที่ 3.5 การทดสอบกำลังต้านทานแรงดัด.ภาพถ่ายโดยผู้เขียน, ถ่ายภาพเมื่อวันที่ 2 เมษายน 2557

3.4.6 การทดสอบกำลังต้านทานแรงเฉือน (Shear)

การทดสอบจะใช้ไม้ไผ่เต็มลำจากส่วนตรงกลางของลำไผ่ โดยเป็นส่วนที่ไม่ติดกับข้อไผ่ 50% และส่วนที่ติดกับข้อไผ่ 50 % ของจำนวนชิ้นทดสอบทั้งหมด และมีความสูงเท่ากับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลำไผ่ โดยวัดความหนาเนื้อไม้ (t) และความยาวของลำไม้ไผ่ (L)ที่ใช้ในการทดสอบ จากนั้นนำไม้ไผ่ที่ทดสอบไปวางตรงกลางของหัวจับ ดังภาพที่ 3.6 โดยให้ทิศทางของแรงขนานกับเสี้ยน ทำการทดสอบโดยใช้ความเร็วของหัวกดให้ลำไม้ไผ่ขาดออกจากกัน บันทึกค่าน้ำหนักสูงสุดที่กระทำจนไม้ไผ่ขาดออกจากกัน นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณเพื่อหาค่ากำลังต้านแรงเฉือน ดังสมการต่อไปนี้

$$\tau_{\text{ult}} = \frac{F_{\text{ult}}}{\Sigma(t \times L)}$$

เมื่อ τ_{ult} = กำลังต้านทานแรงเฉือน (นิวตัน/ตร.มม.หรือ MPa)

F_{ult} = น้ำหนักที่มากที่สุดที่ทำให้ไม้ไผ่แตกหัก (นิวตัน)

$\Sigma(t \times L)$ = ผลรวมของผลคูณระหว่างความหนาเนื้อไม้และความยาวของลำไผ่ ณ จุดที่เกิดแรงเฉือน (ตร.มม.)

ภาพที่ 3.6 การทดสอบกำลังต้านทานแรงเฉือน. ภาพถ่ายโดยผู้เขียน, ถ่ายภาพเมื่อวันที่ 11 มีนาคม 2557

3.4.7 การทดสอบกำลังต้านทานแรงดึง (Tension)

ในการทดสอบนี้จะไม่ใช้ไม้ไผ่ทั้งลำแต่จะใช้ชิ้นไม้ไผ่ที่มีขนาดดังนี้ ความกว้าง 25 มิลลิเมตร, ความหนาเท่ากับความหนาของเนื้อไม้ไผ่ และความยาว 400 มิลลิเมตร โดยทุกชิ้นที่ทดสอบต้องมีส่วนของข้ออยู่ตรงกลาง ดังภาพที่ 3.7 วัดขนาดหน้าตัดบริเวณที่รับแรงดึง จากนั้นนำชิ้นไม้ไผ่ใส่ในหัวจับโดยให้ทิศทางของแรงขนานกับเสี้ยน ทำการทดสอบโดยใช้ความเร็วของหัวดึงให้ชิ้นลำไม้ไผ่ขาดออกจากกัน บันทึกค่าน้ำหนักที่กระทำสูงสุด นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณเพื่อหาค่ากำลังต้านแรงดึง ดังสมการต่อไปนี้

$$\sigma_{\text{ult}} = \frac{F_{\text{ult}}}{A}$$

เมื่อ σ_{ult} = กำลังต้านทานแรงดึง (นิวตัน/ตร.มม.หรือ MPa)

F_{ult} = น้ำหนักที่มากที่สุดที่ทำให้ไม้ไผ่แตกหัก (นิวตัน)

A = พื้นที่หน้าตัดลำไผ่ (ตร.ซม.)

ภาพที่ 3.7 ตัวอย่างไผ่ตงในการทดสอบกำลังต้านทานแรงดึง. ภาพถ่ายโดยผู้เขียน, ถ่ายภาพเมื่อวันที่ 14 มีนาคม 2557

ภาพที่ 3.8 การทดสอบกำลังต้านทานแรงดึง. ภาพถ่ายโดยผู้เขียน, ถ่ายภาพเมื่อวันที่ 14 มีนาคม 2557

3.5 การทดสอบการรับน้ำหนักของโครงสร้างไม้ไผ่

ในงานวิจัยนี้จะใช้โปรแกรมทวิเคราะห์โครงสร้างในการจำลองรูปแบบกรอบโครงสร้างอาคารไม้ไผ่ เพื่อวิเคราะห์ถึงความแข็งแรงและความสามารถในการรับน้ำหนักของกรอบโครงสร้างไม้ไผ่

3.5.1 การกำหนดกรอบโครงสร้างไม้ไผ่สำหรับอาคารสาธารณะ

ศึกษาและสำรวจโครงสร้างอาคารสาธารณะที่ใช้ไม้ไผ่เป็นวัสดุ ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยขอบเขตอาคารที่ศึกษาคือ เป็นอาคารสาธารณะ 1-2 ชั้นและใช้ไม้ไผ่เป็นวัสดุโครงสร้างทั้งหมด ในการศึกษาจะมุ่งเน้นที่รูปแบบกรอบโครงสร้างอาคาร ศึกษาการออกแบบกรอบโครงสร้างไม้ไผ่และวิเคราะห์รูปแบบกรอบโครงสร้างที่ได้รับความนิยม เพื่อนำไปสู่การคัดเลือกรูปแบบกรอบโครงสร้างที่เหมาะสมกับการนำไผ่ตงไปใช้ในการก่อสร้าง โดยทำการจำลองและประเมินการรับน้ำหนักของโครงสร้างที่ใช้ไผ่ตงเป็นวัสดุ

3.5.2 จำลองและการประเมินการรับน้ำหนักของกรอบโครงสร้างไม้ไผ่

จากการศึกษาข้างต้นในข้อที่ 3.5.1 นำไปสู่การใช้โปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้างในการจำลองรูปแบบกรอบโครงสร้างอาคารไม้ไผ่ เพื่อวิเคราะห์และประเมินถึงความแข็งแรงของกรอบโครงสร้างไม้ไผ่ ซึ่งในโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้างสามารถจำลองโครงสร้างและประเมินหาค่าน้ำหนักที่กระทำต่อชิ้นส่วนโครงสร้าง เพื่อทดสอบความแข็งแรงและหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงของชิ้นส่วนโครงสร้าง

ในการจำลองโครงสร้างกำหนดให้เป็นอาคารที่มีลักษณะดังนี้

1. กรอบโครงสร้างเป็นโครงสร้างไม้ไผ่แบบไผ่ลำเดียว ไผ่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นขนาดลำไผ่ที่นิยมใช้ในงานโครงสร้างไม้ไผ่ และมีความหนาเนื้อไม้ 10 มิลลิเมตร
2. อาคารสาธารณะชั้นเดียว มีความสูง 3 เมตร
3. โครงสร้างประกอบด้วยกรอบโครงสร้าง 3 ชุด แต่ละชุดของกรอบโครงสร้างห่างกัน 3 เมตร
4. มุงหลังคาด้วยแผ่นเมทัลชีท ลอนมาตรฐาน มีความหนา 0.27 มิลลิเมตร มีความกว้าง 0.76 เมตร โดยความยาวเปลี่ยนแปลงตามระยะของคาน
5. น้ำหนักบรรทุกคงที่ที่กระทำต่อโครงสร้าง ประกอบด้วย

โครงสร้างหลัง		
แปไม้	5	กก./ตร.ม.
วัสดุมุงหลังคา		
เมทัลชีท	5	กก./ตร.ม
รวมน้ำหนักบรรทุกคงที่	10	กก./ตร.ม.

6. น้ำหนักบรรทุกจรที่เกิดจากแรงลม

ส่วนของอาคารที่สูงไม่เกิน 10 เมตร มีหน่วยแรงลม 50 กก./ตร.ม.

ที่มา: กฎกระทรวงฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2527) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร

รูปแบบกรอบโครงสร้างที่ทำการจำลองนั้น จะศึกษาเปรียบเทียบความแข็งแรงในการรับน้ำหนักของโครงสร้างอาคาร โดยเปรียบเทียบกรอบโครงสร้างที่มีรูปแบบเดียวกันแต่มีสัดส่วนของชิ้นส่วนโครงสร้างที่แตกต่างกัน เพื่อศึกษาแนวทางที่เป็นไปได้จริงในการออกแบบ กรอบโครงสร้างรูปแบบนั้น ๆ

ในการพิจารณาความเป็นไปได้จริงในการรับน้ำหนักของชิ้นส่วนของโครงสร้าง แบ่งการพิจารณาเป็น 2 ประเด็น ประกอบด้วย

1. การพิจารณาความเป็นไปได้จริงในการรับน้ำหนักของเสาไม้ไผ่

มีหลักการในการพิจารณาคือ หน่วยแรงที่ยอมให้ (allowable stress) มากกว่า หน่วยแรงที่คาดว่าจะเกิดขึ้นเนื่องจากแรงที่กระทำต่อโครงสร้าง โดยพิจารณาจากกำลังต้านทานแรงอัดของชิ้นส่วนโครงสร้าง ตามสมการดังต่อไปนี้

$$F_a > f_a$$

โดย

$$F_a = \frac{F_y}{F.S.}$$

และ

$$f_a = \frac{F}{A} \quad ; \quad F = \frac{\pi^2 EI}{(Kl)^2}$$

ดังนั้น

$$\frac{F_y}{F.S.} > \frac{F}{A}$$

เมื่อ F_a = หน่วยแรงที่ยอมให้ (นิวตัน/ตร.มม.หรือ MPa)

f_a = หน่วยแรงที่คาดว่าจะเกิดขึ้น (นิวตัน/ตร.มม.หรือ MPa)

F_y = ค่าเฉลี่ยกำลังต้านทานแรงอัด (นิวตัน/ตร.มม.หรือ MPa)

$F.S.$ = ค่าส่วนความปลอดภัยของไม้ไผ่ เท่ากับ 3.0 (โดยพิจารณาจากส่วนความปลอดภัย สำหรับไม้ก่อสร้าง ชั้น 2)

F = แรงในชิ้นส่วนโครงสร้าง (นิวตัน)

E = โมดูลัสของการยืดหยุ่น (นิวตัน/ตร.มม.)

I = โมเมนต์อินเนอร์เชีย (มิลลิเมตรยกกำลังสี่)

K = ค่าสัมประสิทธิ์ 0.7

l = ความยาวของเสา (มิลลิเมตร)

A = พื้นที่หน้าตัดลำไผ่ของชิ้นส่วนโครงสร้าง (ตร.มม.)

2. การพิจารณาความเป็นไปได้จริงในการรับน้ำหนักของคานไม้ไผ่

มีหลักการในการพิจารณาคือ หน่วยแรงที่ยอมให้ (allowable stress) มากกว่า หน่วยแรงที่คาดว่าจะเกิดขึ้นเนื่องจากแรงที่กระทำต่อโครงสร้าง โดยพิจารณาจากกำลังต้านทานแรงดัดและโมเมนต์ดัดของชิ้นส่วนโครงสร้าง ตามสมการดังต่อไปนี้

$$F_b > f_b$$

โดย

$$F_b = \frac{F_y}{F.S.}$$

และ

$$f_b = \frac{Mc}{I}$$

ดังนั้น

$$\frac{F_y}{F.S.} > \frac{Mc}{I}$$

เมื่อ F_a = หน่วยแรงที่ยอมให้ (นิวตัน/ตร.มม.หรือ MPa)

f_a = หน่วยแรงที่คาดว่าจะเกิดขึ้น (นิวตัน/ตร.มม.หรือ MPa)

F_y = ค่าเฉลี่ยกำลังต้านทานแรงดัด (นิวตัน/ตร.มม.หรือ MPa)

$F.S.$ = ค่าส่วนความปลอดภัยของไม้ไผ่ เท่ากับ 3.0 (โดยพิจารณาจากส่วนความปลอดภัย สำหรับไม้ก่อสร้าง ชั้น 2)

M = โมเมนต์ดัดสูงสุด (นิวตัน/ตร.มม.หรือ MPa)

c = ระยะกึ่งกลางความลึกของคานไม้ไผ่ (มม.)

I = โมเมนต์อินเนอร์เชีย (มิลลิเมตรยกกำลังสี่)

จากการคำนวณและพิจารณาการรับน้ำหนักของชิ้นส่วนของโครงสร้างข้างต้นนี้ สามารถแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้จริงในการรับน้ำหนักของชิ้นส่วนต่าง ๆ ของกรอบโครงสร้าง เพื่อนำไปสู่การสรุปและเสนอแนวทางการออกแบบกรอบโครงสร้างไม้ไผ่ต่อไป

บทที่ 4
ผลของการวิจัย

ผลการศึกษาสามารถแบ่งออกเป็น 3 หัวข้อ ดังนี้

1) ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพของไผ่ตงจากภูมิภาคสำคัญ
2) ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของไผ่ตง
3) ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของไผ่ตง
4) ผลการศึกษาและสำรวจโครงสร้างอาคารสาธารณะ
5) ผลการจำลองและประเมินการรับน้ำหนักของกรอบโครงสร้างไม้ไผ่

4.1 ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพของไผ่ตงจากภูมิภาคสำคัญ

จากการสำรวจและคัดเลือกตัวแทนไผ่ตงจากภูมิภาคต่างๆ เพื่อนำมาศึกษาในการวิจัยครั้งนี้ โดยไผ่ตงที่เป็นตัวแทนในการวิจัยได้แก่

- ไผ่ตงจากจังหวัดปราจีนบุรี ภาคตะวันออก
- ไผ่ตงจากจังหวัดอุบลราชธานี ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
- ไผ่ตงจากจังหวัดเชียงใหม่ ภาคเหนือ
- ไผ่ตงจากจังหวัดกาญจนบุรี ภาคตะวันตก

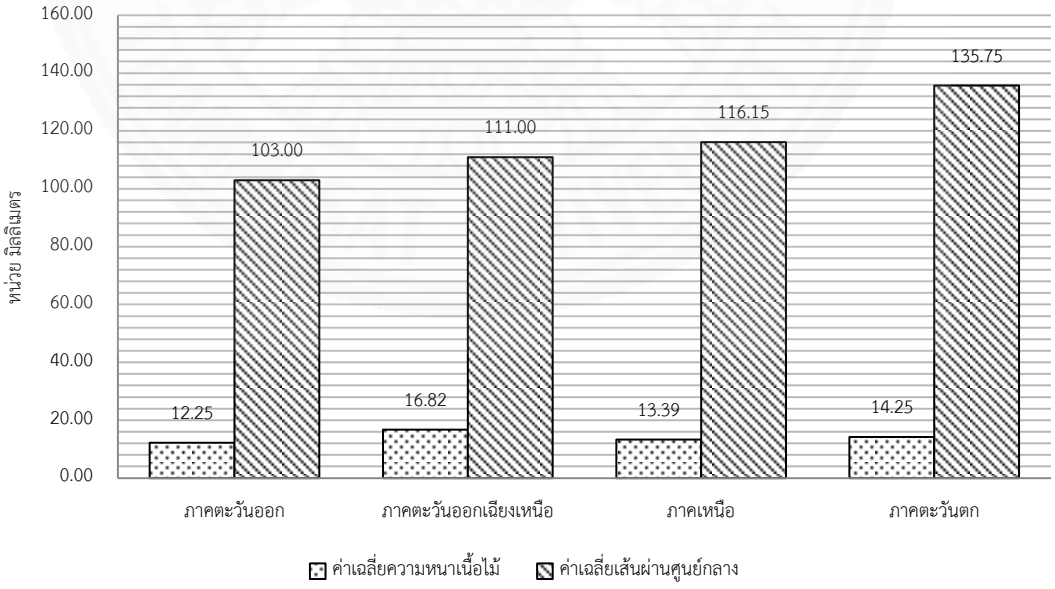
ไผ่ตงที่นำมาทำการวิจัยนี้เป็นไผ่ตงที่มีอายุ 3-4 ปี จำนวนภูมิภาคละ 10 ลำ รวมไผ่ตงที่นำมาทำการวิจัยทั้งหมด 40 ลำ โดยไม้ไผ่ได้รับการถนอมไม้ไผ่ด้วยระบบอัดน้ำยาสุญญากาศ หลังจากได้รับการถนอมไม้ไผ่เรียบร้อยแล้ว ไม้ไผ่ทั้งหมดมีความยาว 7-8 เมตร เป็นช่วงความยาวที่สามารถนำเข้าเครื่องอัดน้ำยาเพื่อทำการถนอมไม้ไผ่ได้ เมื่อไผ่ตงผ่านการตากแดดให้แห้งแล้ว จึงนำมาทำการเก็บข้อมูลลักษณะทางกายภาพและทำการตัดเพื่อเตรียมชิ้นส่วนไม้ไผ่ในการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลต่อไป ผลการเก็บข้อมูลลักษณะทางกายภาพของไผ่ตงทั้ง 4 แหล่งมีรายละเอียด ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1

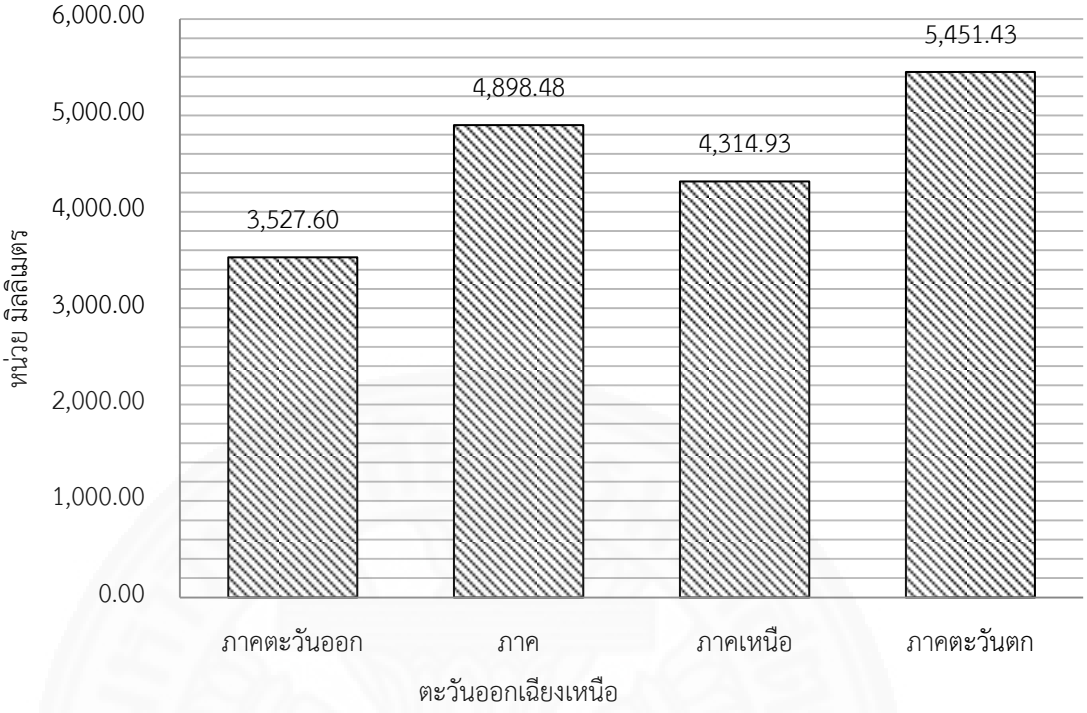
ค่าเฉลี่ยลักษณะทางกายภาพของไผ่ตงจาก 4 ภูมิภาค

ลักษณะทางกายภาพ	ไผ่ตง			
	ภาคตะวันออก	ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	ภาคเหนือ	ภาคตะวันตก
ค่าเฉลี่ยความหนาเนื้อไม้ (มิลลิเมตร)	12.25	16.82	13.39	14.25
ค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลาง (มิลลิเมตร)	103.00	111.00	116.15	135.75
ค่าเฉลี่ยพื้นที่หน้าตัดลำไผ่ (ตร.มม.)	3,527.60	4,898.48	4,314.93	5,451.43

จากตารางที่ 4.1 พบว่า ไผ่ตงจากจังหวัดอุบลราชธานี ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีค่าเฉลี่ยความหนาเนื้อไม้มากที่สุด คือ 16.82 มิลลิเมตร ส่วนค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางและค่าเฉลี่ยพื้นที่หน้าตัดลำไผ่ ไผ่ตงจากจังหวัดกาญจนบุรี ภาคตะวันตก มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด คือ 135.75 มิลลิเมตร และ 5,451.43 ตารางมิลลิเมตร ตามลำดับ



ภาพที่ 4.1 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความหนาเนื้อไม้และค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางของไผ่ตงจาก 4 ภูมิภาค



ภาพที่ 4.2 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพื้นที่หน้าตัดของไผ่ตงจาก 4 ภูมิภาค

จากผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพของไผ่ตงจาก 4 ภูมิภาค ทั้งหมด 40 ตัวอย่าง สามารถหาค่าเฉลี่ยลักษณะทางกายภาพของไผ่ตงได้ดังนี้ ค่าเฉลี่ยความหนาเนื้อไม้เท่ากับ 14.18 มิลลิเมตร ค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางของลำไผ่เท่ากับ116.48 มิลลิเมตร และค่าเฉลี่ยพื้นที่หน้าตัดของลำไผ่เท่ากับ 4,548.11 ตารางมิลลิเมตร

4.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของไผ่ตง

การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของไผ่ตงตามที่ ISO (22157-1) กำหนดไว้ ได้แก่ การทดสอบความชื้น (Moisture Content) การทดสอบความหนาแน่น (Mass by Volume) และการทดสอบการหดตัว (shrinkage) ในแต่ละการทดสอบทำการทดสอบไผ่ตงจากแต่ละภูมิภาคจำนวน 10 ตัวอย่าง รวมทั้งสิ้น 40 ตัวอย่างในหนึ่งการทดสอบ มีผลค่าเฉลี่ยคุณสมบัติทางกายภาพของไผ่ตง ดังตารางที่ 4.2

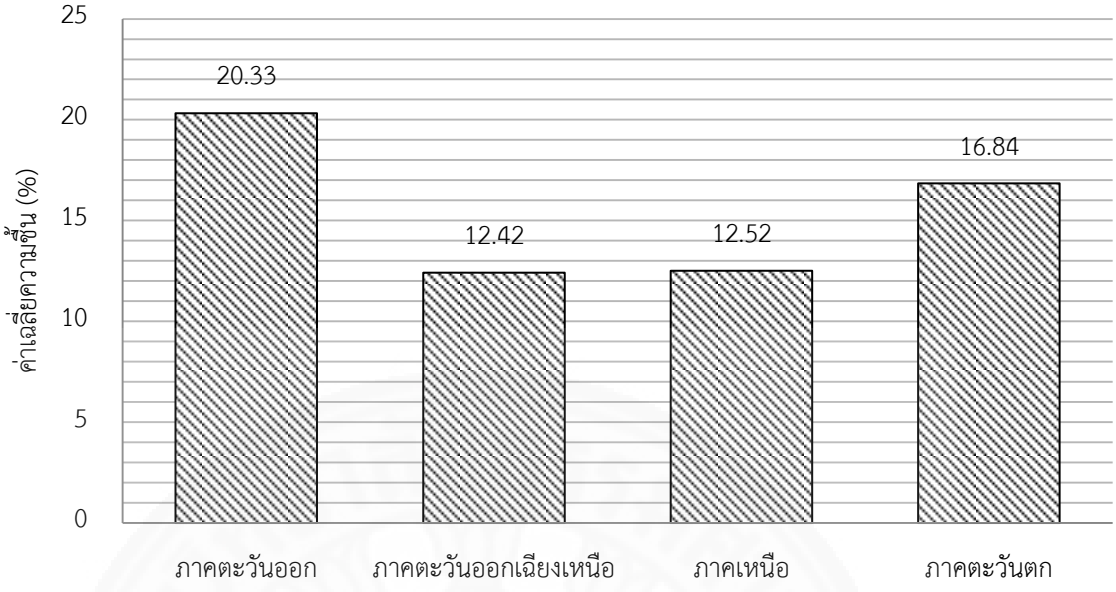
ตารางที่ 4.2

ค่าเฉลี่ยคุณสมบัติทางกายภาพของไผ่ตงจาก 4 ภูมิภาค

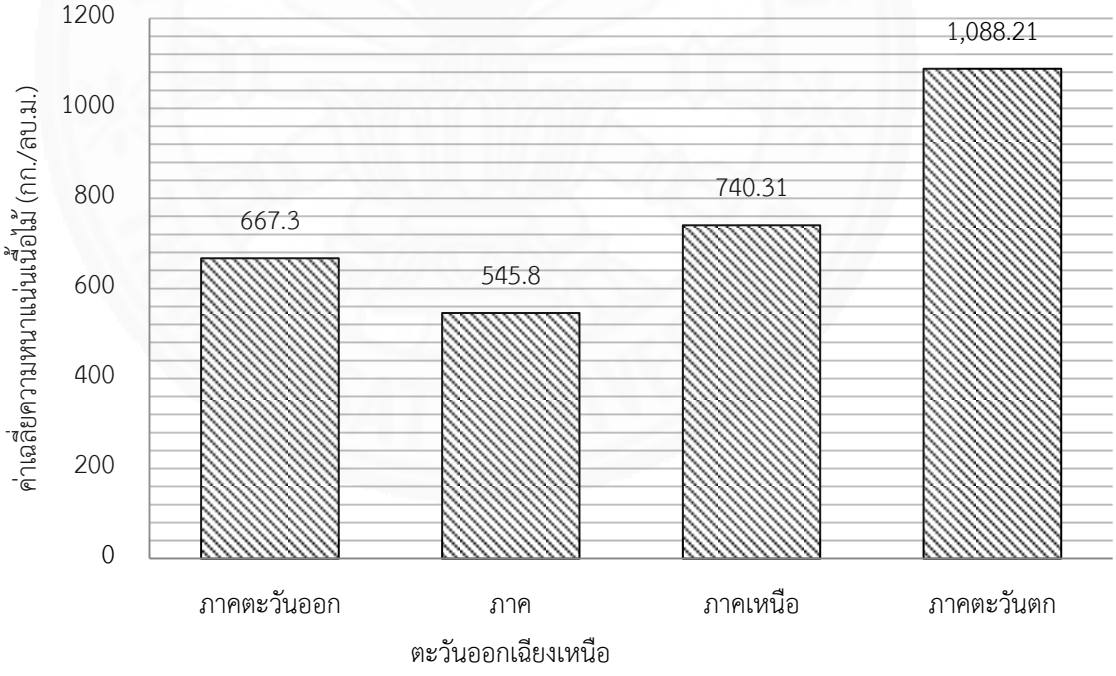
คุณสมบัติทางกายภาพ	ไผ่ตง			
	ภาคตะวันออก	ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	ภาคเหนือ	ภาคตะวันตก
ค่าเฉลี่ยความชื้น (%)	20.33	12.42	12.52	16.84
ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นเนื้อไม้ (กก./ลบ.ม.)	667.30	545.80	740.31	1,088.21
ค่าเฉลี่ยการหดตัว (%) ตามความหนา	0.19	0.083	0.17	0.36

จากตารางที่ 4.2 พบว่า ค่าเฉลี่ยความชื้นของไผ่ตงในแต่ละภูมิภาคมีความแตกต่างกันมากพอสมควร ไผ่ตงจากจังหวัดอุบลราชธานี ภาคตะวันออกเฉียงเหลือและไผ่ตงจากจังหวัดเชียงใหม่ ภาคเหนือ มีค่าเฉลี่ยความชื้นใกล้ที่เคียงกัน แต่ไผ่ตงจากจังหวัดปราจีนบุรี ภาคตะวันออกและไผ่ตงจากจังหวัดกาญจนบุรี ภาคตะวันตก มีค่าเฉลี่ยความชื้นสูงกว่ามาก ทั้งนี้เป็นเพราะระยะเวลาในการตากไม้ไผ่หลังจากการถนอมเนื้อไม้ที่แตกต่างกัน ทำให้ไม้ไผ่มีปริมาณน้ำในเนื้อไม้ไผ่ที่ต่างกัน ส่งผลความชื้นของไม้ไผ่ที่นำมาทดสอบ และเมื่อหาค่าเฉลี่ยความชื้นจากไผ่ตงทั้ง 40 ตัวอย่างที่นำมาทดสอบ พบว่าไผ่ตงมีค่าเฉลี่ยความชื้นอยู่ที่ 15.53% เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความชื้นของไผ่ตงจากการทดสอบในงานวิจัยอื่น พบว่า ในงานวิจัยครั้งนี้มีค่าความชื้นสูงกว่าค่าความชื้นในงานวิจัยอื่น โดยค่าความชื้นในงานวิจัยอื่น ๆ มีค่าความชื้นเท่ากับ 11.0% (ฐิติกุล ภาคคีรี,2540) 11.73% (เอกลักษณ์ ตงยนต์ ,2554)

ในส่วนของค่าเฉลี่ยความหนาแน่นเนื้อไม้ ไผ่ตงจากจังหวัดกาญจนบุรี ภาคตะวันตก มีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นเนื้อไม้สูงที่สุดเช่นเดียวกับค่าเฉลี่ยความชื้น และเมื่อหาค่าเฉลี่ยความหนาแน่นจากไผ่ตงทั้ง 40 ตัวอย่างที่นำมาทดสอบ พบว่าไผ่ตงมีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นเนื้อไม้อยู่ที่ 760.41 กก./ลบ.ม. เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความหนาแน่นของไผ่ตงจากการทดสอบในงานวิจัยอื่น พบว่า ในงานวิจัยครั้งนี้มีค่าความหนาแน่นมีค่าใกล้เคียงกับค่าความหนาแน่นเนื้อไม้ในงานวิจัยอื่น ซึ่งค่าความหนาแน่นเนื้อไม้ในงานวิจัยอื่น ๆ มีค่าความหนาแน่นเนื้อไม้อยู่ที่ 767 กก./ลบ.ม. (สุชาติ ไทยเพชร,2547) และ 797.95 กก./ลบ.ม. (เอกลักษณ์ ตงยนต์,2554)



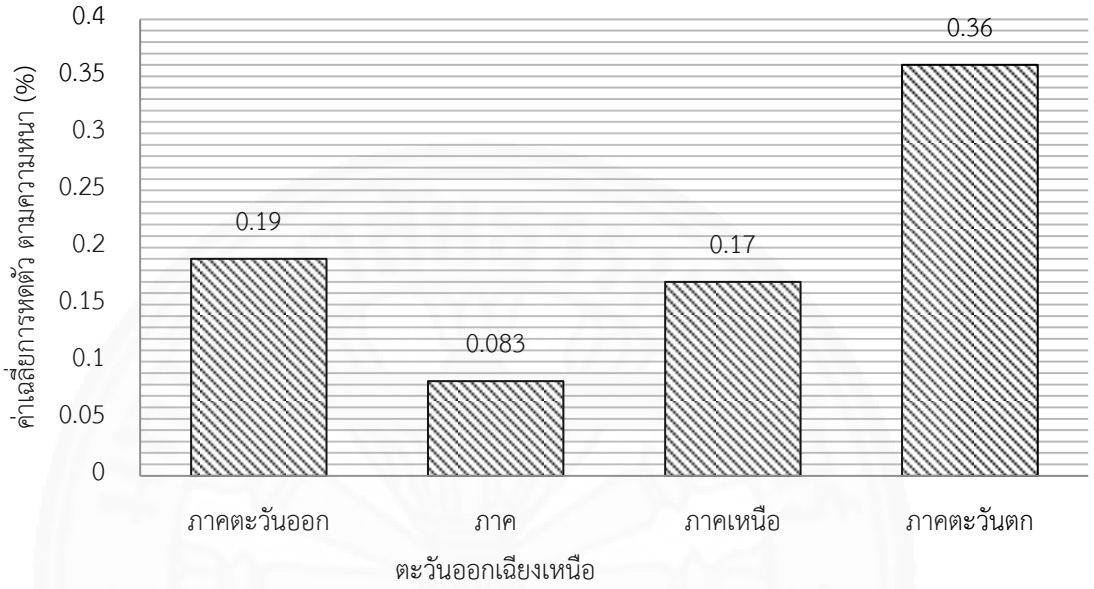
ภาพที่ 4.3 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความชื้นของไผ่ตงจาก 4 ภูมิภาค



ภาพที่ 4.4 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความหนาแน่นเนื้อไม้ของไผ่ตงจาก 4 ภูมิภาค

และจากการทดสอบการหดตัวของไผ่ตง เมื่อวัดความหนาของเนื้อไม้ และความยาวลำไผ่หลังจากนำไปอบแห้งแล้ว พบว่าความหนาของเนื้อมีการหดตัวเพียงบางจุด เมื่อหาค่าเฉลี่ยของทุกชิ้นไผ่ที่ทดสอบ การหดตัวตามความหนามีค่าเท่ากับ 0.20 % แต่ความยาวลำไผ่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง และ

เมื่อเปรียบเทียบกับค่าการหดตัวตามความหนาของไผ่ตงจากการทดสอบในงานวิจัยอื่น พบว่า ในงานวิจัยครั้งนี้มีค่าการหดตัวตามความหนามีค่าน้อยกว่าค่าการหดตัวในงานวิจัยอื่น ซึ่งค่าการหัดตัวตามความหนาในงานวิจัยอื่น ๆ มีค่าการหดตัวอยู่ที่ 4.20 % (สุชาติ ไทยเพชร,2547)



ภาพที่ 4.5 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการหดตัวของไผ่ตงจาก 4 ภูมิภาค

4.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของไผ่ตง

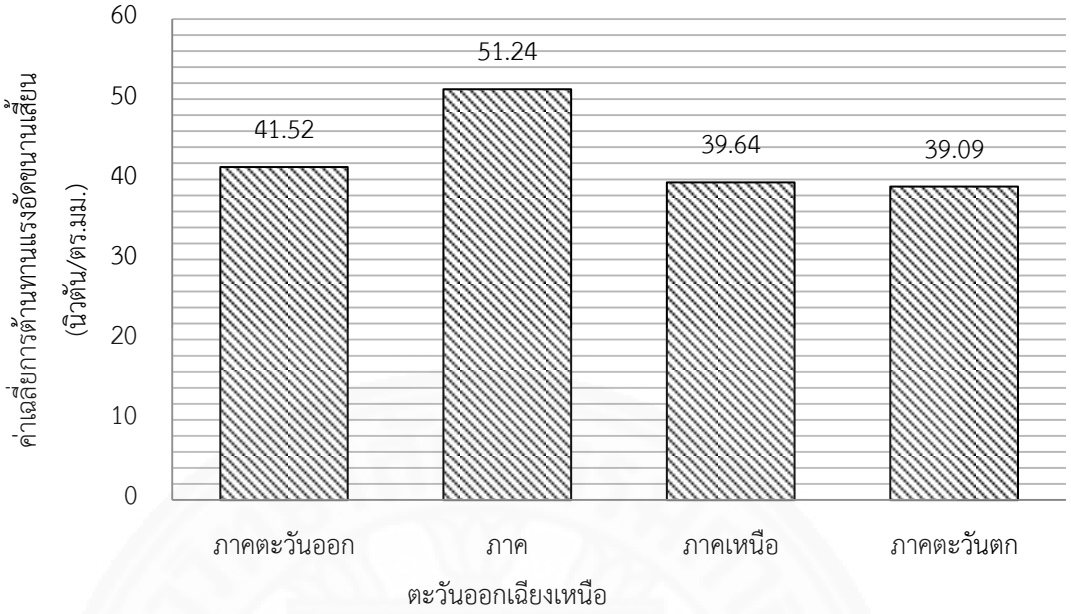
การทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของไผ่ตงตามที่ ISO (22157-1) กำหนดไว้ ได้แก่ การทดสอบกำลังต้านทานแรงอัด (Compression) การทดสอบกำลังต้านทานแรงดัด (Bending) การทดสอบกำลังต้านทานแรงเฉือน (Shear) และการทดสอบกำลังต้านทานแรงดึง (Tension) ในแต่ละการทดสอบทำการทดสอบไผ่ตงจากแต่ละภูมิภาคจำนวน 10 ตัวอย่าง รวมทั้งสิ้น 40 ตัวอย่างในหนึ่งการทดสอบ มีผลค่าเฉลี่ยคุณสมบัติทางกายภาพของไผ่ตง ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3

ค่าเฉลี่ยคุณสมบัติเชิงกลของไผ่ตงจาก 4 ภูมิภาค

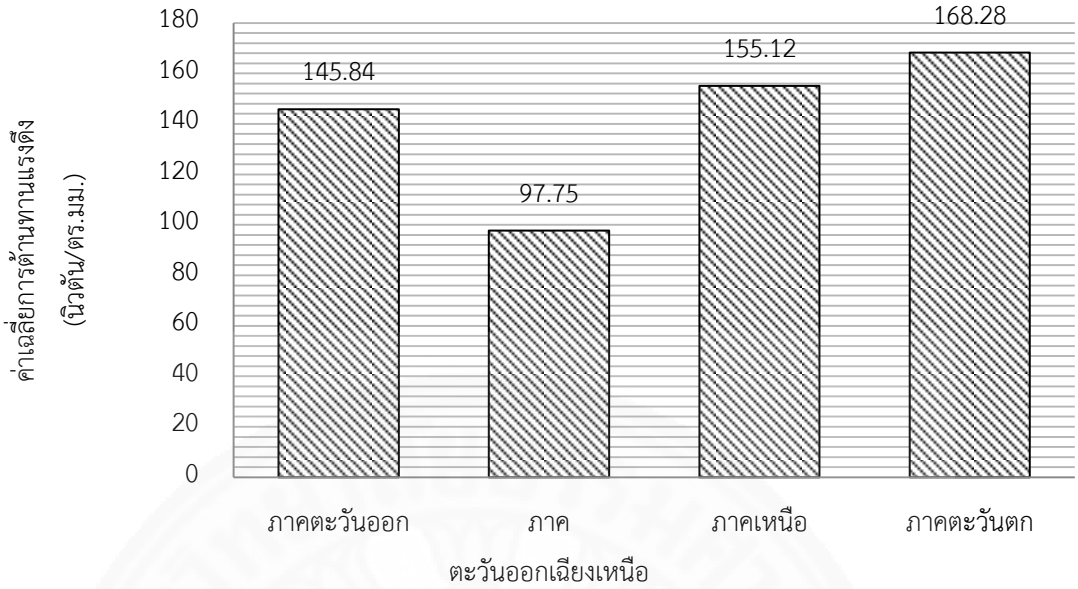
คุณสมบัติเชิงกล	ไผ่ตง			
	ภาคตะวันออก	ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	ภาคเหนือ	ภาคตะวันตก
ค่าเฉลี่ยการต้านทานแรงอัดขนานเสี้ยน (นิวตัน/ตร.มม.)	41.52	51.24	39.64	39.09
ค่าเฉลี่ยการต้านทานแรงดึง (นิวตัน/ตร.มม.)	145.84	97.75	155.12	168.28
ค่าเฉลี่ยการต้านทานแรงเฉือนขนานเสี้ยน (นิวตัน/ตร.มม.)				
มีข้อ	8.79	9.01	8.11	10.36
ไม่มีข้อ	6.02	7.26	6.68	6.06
ค่าเฉลี่ยการต้านทานแรงดัด (นิวตัน/ตร.มม.)	122.24	126.72	130.21	129.80
ค่าเฉลี่ยโมดูลัสของการยืดหยุ่น (นิวตัน/ตร.มม.)	22,707.81	24,823.79	31,603.57	31,868.38

จากตารางที่ 4.3 พบว่าค่าเฉลี่ยการต้านทานแรงอัดขนานเสี้ยนของไผ่ตงแปรผกผันกับค่าเฉลี่ยความหนาแน่น กล่าวคือไผ่ตงที่มีความหนาแน่นสูงจะมีความสามารถในการต้านทางแรงอัดได้ต่ำ และไผ่ตงที่มีความหนาแน่นต่ำจะมีความสามารถในการต้านทานแรงอัดสูงกว่า และเมื่อหาค่าเฉลี่ยการต้านทานแรงอัดจากไผ่ตงทั้ง 40 ตัวอย่างที่นำมาทดสอบ พบว่าไผ่ตงมีค่าเฉลี่ยการต้านทานแรงอัดอยู่ที่ 42.87 นิวตัน/ตร.มม. เมื่อเปรียบเทียบกับการต้านทานแรงอัดของไผ่ตงจากการทดสอบในงานวิจัยอื่น พบว่า ในงานวิจัยครั้งนี้มีกำลังต้านทานแรงอัดมีค่าน้อยกว่ากำลังต้านทานแรงอัดในงานวิจัยอื่น ซึ่งการต้านทานแรงอัดในงานวิจัยอื่น ๆ มีกำลังต้านทานแรงอัดอยู่ที่ 68.50 นิวตัน/ตร.มม. (สุชาติ ไทยเพชร,2547) 67.00 นิวตัน/ตร.มม. (ฐิติกุล ภาคศีรี,2540) และ56.80 นิวตัน/ตร.มม. (เอกลักษณ์ ตงยนต์,2554)



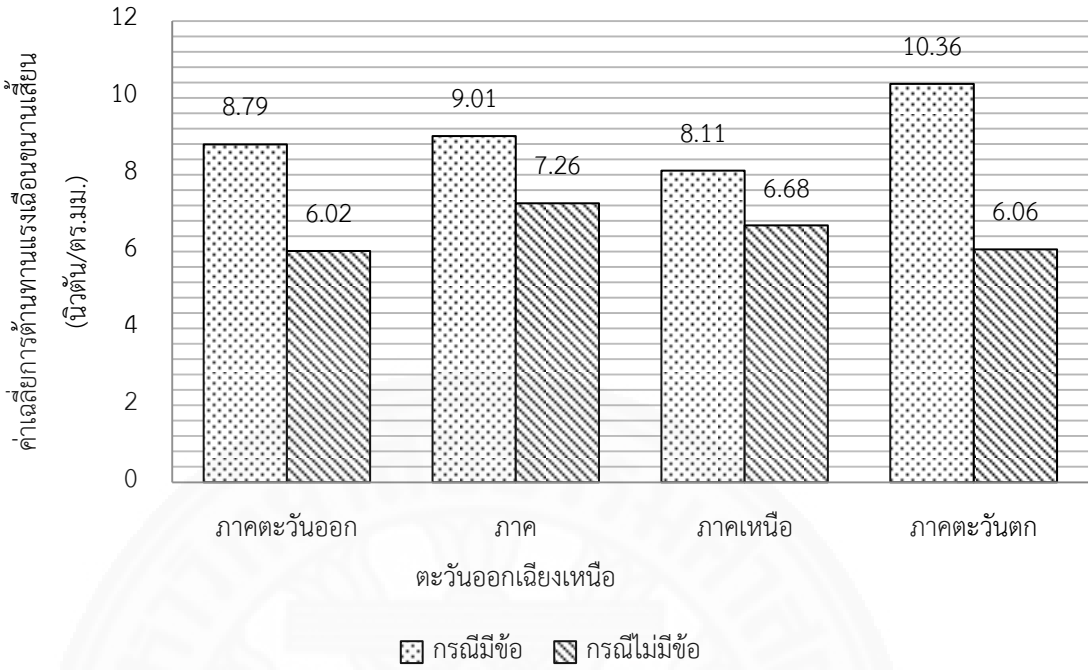
ภาพที่ 4.6 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการต้านทานแรงอัดขนานเสี้ยนของไผ่ตงจาก 4 ภูมิภาค

จากการทดสอบการต้านทานแรงดึง พบว่า ค่าเฉลี่ยการต้านทานแรงดึงสัมพันธ์กับค่าความหนาแน่นเนื้อไม้ กล่าวคือ ไผ่ตงที่มีความหนาแน่นเนื้อไม้น้อยจะมีการต้านทานแรงดึงต่ำ และไผ่ตงที่มีความหนาแน่นเนื้อไม้มากจะมีค่าการต้านทานแรงดึงสูง อย่างเช่น ไผ่ตงจากจังหวัดอุบลราชธานี ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นเนื้อไม้ต่ำกว่าไผ่ตงจากที่อื่น โดยมีค่าความหนาแน่นเนื้อไม้อยู่ที่ 545.80 กก./ลบ.ม. ส่งผลให้มีค่าเฉลี่ยการต้านทานแรงดึงต่ำกว่าไผ่ตงจากที่อื่นเช่นเดียวกัน ซึ่งมีค่าการต้านทานแรงดึงเท่ากับ 97.75 นิวตัน/ตร.มม. เช่นเดียวกับไผ่ตงจากจังหวัดกาญจนบุรี ภาคตะวันตก ที่มีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นเนื้อไม้สูงถึง 1,088.21 กก./ลบ.ม. และมีค่ากาต้านทานแรงดึงสูงที่สุดเช่นเดียวกัน โดยมีค่าการต้านทานแรงดึงอยู่ที่ 168,28 97.75 นิวตัน/ตร.มม. และเมื่อหาค่าเฉลี่ยการต้านทานแรงดึงจากไผ่ตงที่นำมาทดสอบทั้งหมด พบว่าไผ่ตงมีค่าเฉลี่ยการต้านทานแรงดึงอยู่ที่ 141.75 นิวตัน/ตร.มม. เมื่อเปรียบเทียบกับการต้านทานแรงดึงของไผ่ตงจากการทดสอบในงานวิจัยอื่น พบว่า ในงานวิจัยครั้งนี้มีกำลังต้านทานแรงดึงมีค่าสูงกว่ากำลังต้านทานแรงดึงในงานวิจัยอื่น ซึ่งการต้านทานแรงดึงในงานวิจัยอื่น ๆ มีกำลังต้านทานแรงดึงอยู่ที่ 96.00 นิวตัน/ตร.มม. (สุชาติ ไทยเพชร,2547) 61.84 นิวตัน/ตร.มม. (พัชริกา ประสงค์พรสกุล, 2554) และ61.80 นิวตัน/ตร.มม. (เอกลักษณ์ ตงยนต์,2554)



ภาพที่ 4.7 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการต้านทานแรงดึงของไผ่ตงจาก 4 ภูมิภาค

ในส่วนของการทดสอบการต้านทานแรงเฉือน ซึ่งแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 แบบคือ การทดสอบการต้านทานแรงเฉือนของไผ่ตงที่มีข้อปล้องและไผ่ตงที่ไม่มีข้อปล้อง พบว่าไผ่ตงที่ข้อปล้องจากทั้ง 4 ภูมิภาคมีค่าเฉลี่ยการต้านทานแรงเฉือนมากกว่าไผ่ตงที่ไม่มีข้อปล้อง โดยค่าเฉลี่ยการต้านทานแรงเฉือนของไผ่ตงที่มีข้อปล้องจากทั้ง 4 ภูมิภาคอยู่ที่ 9.07 นิวตัน/ตร.มม. และกรณีที่ไม่มีข้อปล้องมีค่าเฉลี่ยการต้านทานแรงเฉือนอยู่ที่ 6.51 นิวตัน/ตร.มม. เมื่อเปรียบเทียบกับการต้านทานแรงเฉือนของไผ่ตงจากการทดสอบในงานวิจัยอื่น พบว่า ในงานวิจัยครั้งนี้มีกำลังต้านทานแรงเฉือนในกรณีที่มีข้อมีค่าใกล้เคียงกับกำลังต้านทานแรงเฉือนในงานวิจัยอื่น แต่กำลังการต้านทานแรงเฉือนในกรณีที่ไม่มีข้อมีค่ากำลังต้านทานต่ำกว่า ซึ่งการต้านทานแรงเฉือนในงานวิจัยอื่นมีกำลังต้านทานแรงเฉือนอยู่ที่ กรณีมีข้อเท่ากับ 9.80 นิวตัน/ตร.มม. และ กรณีไม่มีข้อ 9.40 นิวตัน/ตร.มม. (สุชาติ ไทยเพชร ,2547) และ กรณีมีข้อเท่ากับ 10.60 นิวตัน/ตร.มม. และกรณีไม่มีข้อ 9.30 นิวตัน/ตร.มม. (เอกลักษณ์ ตงยนต์,2554)

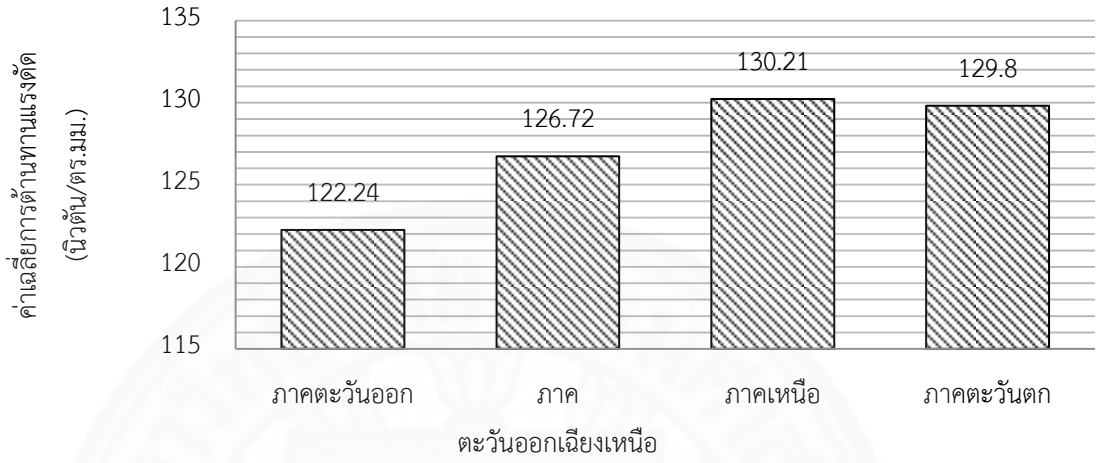


ภาพที่ 4.8 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการต้านทานแรงเฉือนของไผ่ตงจาก 4 ภูมิภาค

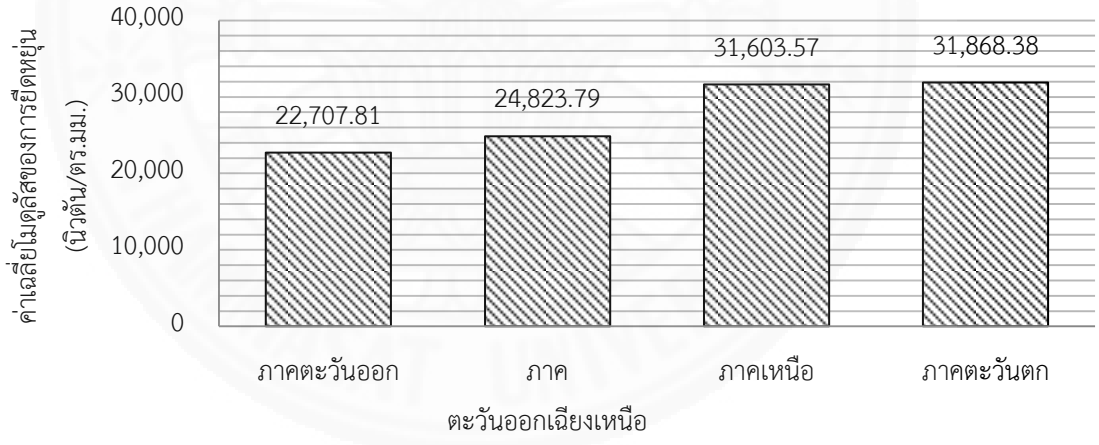
การทดสอบการต้านทานแรงดัด พบว่า ไผ่ตงจากทั้ง 4 ภูมิภาคมีค่าเฉลี่ยการต้านทานแรงดัดที่ใกล้เคียงกัน โดยไผ่ตงจากจังหวัดเชียงใหม่ ภาคเหนือ มีค่าเฉลี่ยการต้านทานแรงดัดสูงสุด คือ 130.21 นิวตัน/ตร.มม. และไผ่ตงจากจังหวัดปราจีนบุรี ภาคตะวันออก มีค่าเฉลี่ยการต้านทานแรงดัดน้อยที่สุด คือ 122.24 นิวตัน/ตร.มม. โดยค่าเฉลี่ยการต้านทานแรงดัดของไผ่ตงจากทั้ง 4 ภูมิภาคอยู่ที่ 127.24 นิวตัน/ตร.มม. เมื่อเปรียบเทียบกับการต้านทานแรงดัดของไผ่ตงจากการทดสอบในงานวิจัยอื่น พบว่า ในงานวิจัยครั้งนี้มีกำลังต้านทานแรงดัดมีค่าสูงกว่ากำลังต้านทานแรงดัดในงานวิจัยอื่น ซึ่งการต้านทานแรงดัดในงานวิจัยอื่นมีกำลังต้านทานแรงดัดอยู่ที่ 84.00 นิวตัน/ตร.มม. (สุชาติ ไทยเพชร ,2547) และ 91.80 นิวตัน/ตร.มม. (เอกลักษณ์ ตงยนต์,2554)

และในการทดสอบการต้านทานแรงดัดสามารถคำนวณหาค่าโมดูลัสของการยืดหยุ่น ซึ่งพบว่า ไผ่ตงจากจังหวัดเชียงใหม่ ภาคเหนือ และไผ่ตงจากจังหวัดกาญจนบุรี ภาคตะวันตก มีค่าเฉลี่ยโมดูลัสของการยืดหยุ่นสูงที่สุด คือ 31,603.57 นิวตัน/ตร.มม. และ 31,868.38 นิวตัน/ตร.มม. ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับค่าเฉลี่ยความหนาแน่นเนื้อไม้ โดยค่าเฉลี่ยโมดูลัสของการยืดหยุ่น ของไผ่ตงจากทั้ง 4 ภูมิภาคอยู่ที่ 27,750.89 นิวตัน/ตร.มม. และเมื่อเปรียบเทียบกับค่าโมดูลัสของการยืดหยุ่น ของไผ่ตงจากการทดสอบในงานวิจัยอื่น พบว่า ในงานวิจัยครั้งนี้มีค่าโมดูลัสของการยืดหยุ่น มีค่าสูงกว่าค่าโมดูลัสของการยืดหยุ่น ในงานวิจัยอื่น ซึ่งค่าโมดูลัสของการยืดหยุ่น ในงานวิจัยอื่นๆ มีค่า

โมดูลัสอยู่ที่ 12,530.00 นิวตัน/ตร.มม. (ฐิติกุล ภาคคีรี,2540) 22,854.75 นิวตัน/ตร.มม. (พัชริกา ประสงค์พรสกุล,2554) และ 16,319.66 นิวตัน/ตร.มม. (เอกลักษณ์ ตงยนต์,2554)



ภาพที่ 4.9 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการต้านทานแรงดัดของไผ่ตงจาก 4 ภูมิภาค



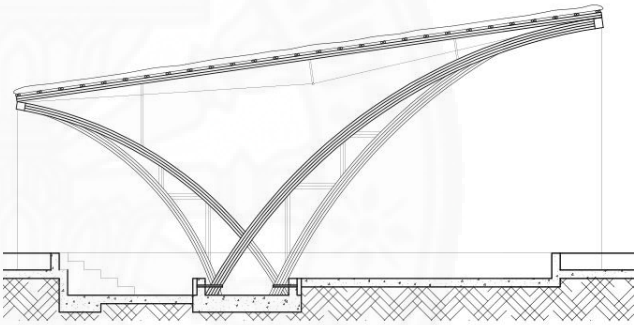
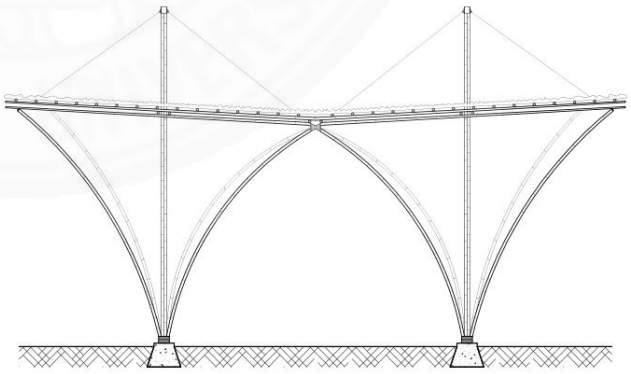
ภาพที่ 4.10 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโมดูลัสของการยืดหยุ่น ของไผ่ตงจาก 4 ภูมิภาค

4.4 ผลการศึกษาและสำรวจโครงสร้างอาคารสาธารณะ

จากการศึกษาและสำรวจโครงสร้างอาคารสาธารณะที่ใช้ไม้ไผ่เป็นวัสดุในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เพื่อศึกษาการออกแบบกรอบโครงสร้างไม้ไผ่และวิเคราะห์รูปแบบกรอบโครงสร้างที่ได้รับความนิยม นำไปสู่การจำลองและประเมินการรับน้ำหนักของโครงสร้าง มีรูปแบบกรอบโครงสร้างดังตารางที่ 4.4

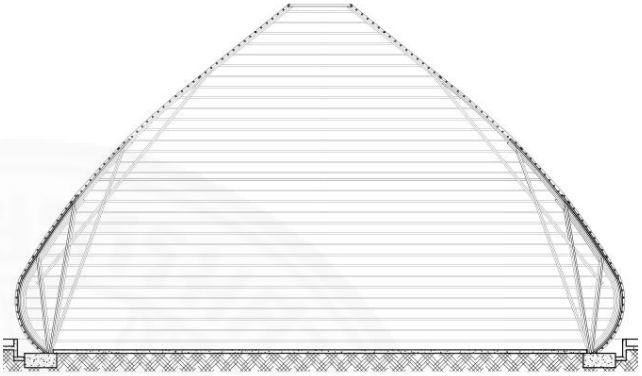
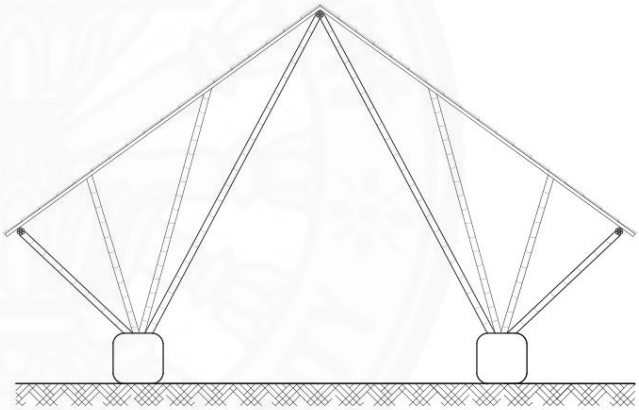
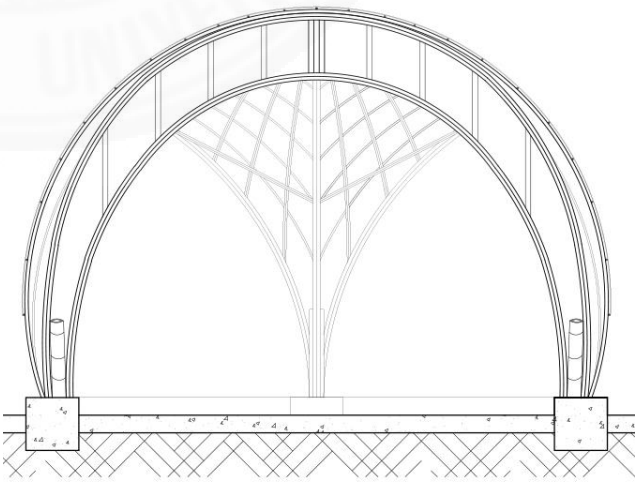
ตารางที่ 4.4

ลักษณะรูปแบบกรอบโครงสร้างไม้ไผ่ในงานสถาปัตยกรรม

ชื่อสถาปัตยกรรม	รูปแบบกรอบโครงสร้าง
Bamboo Wing, ประเทศเวียดนาม	
wNw Cafe, ประเทศเวียดนาม	

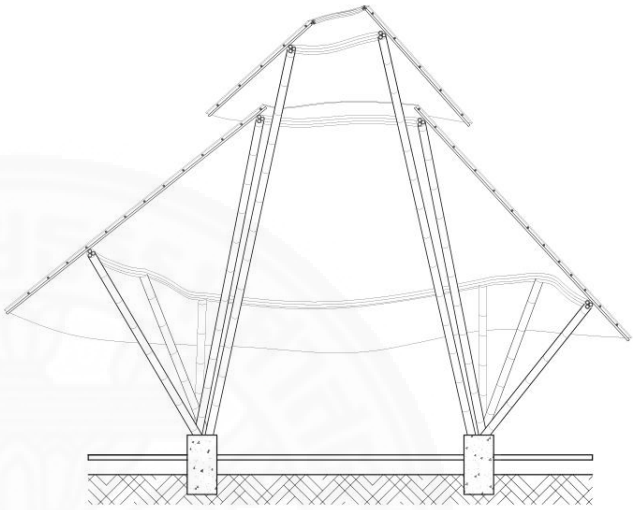
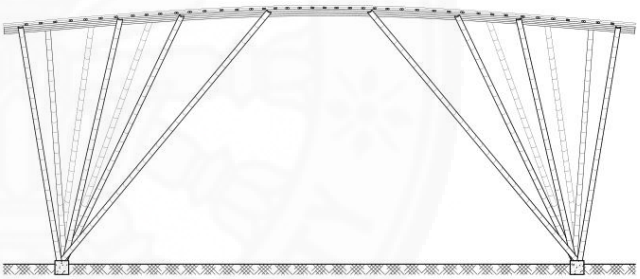
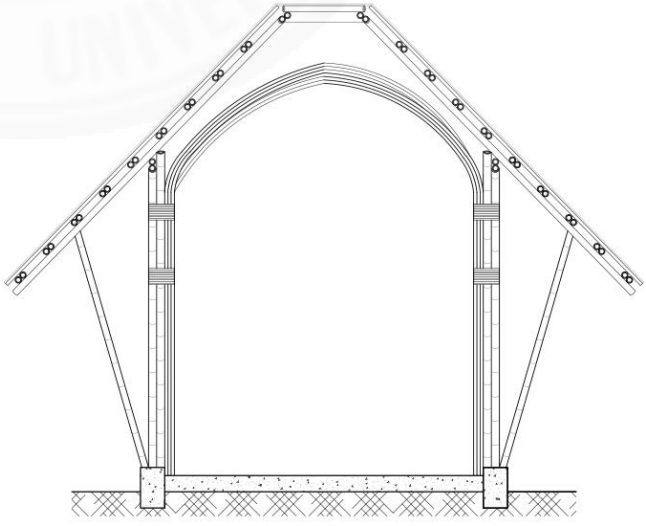
ตารางที่ 4.4

ลักษณะรูปแบบกรอบโครงสร้างไม้ไผ่ในงานสถาปัตยกรรม (ต่อ)

ชื่อสถาปัตยกรรม	รูปแบบกรอบโครงสร้าง
wNw Bar, ประเทศเวียดนาม	
โรงเรียนปัญญาเด่น, ประเทศไทย	
Hua Chanh Hotel, ประเทศไทย	

ตารางที่ 4.4

ลักษณะรูปแบบกรอบโครงสร้างไม้ไผ่ในงานสถาปัตยกรรม (ต่อ)

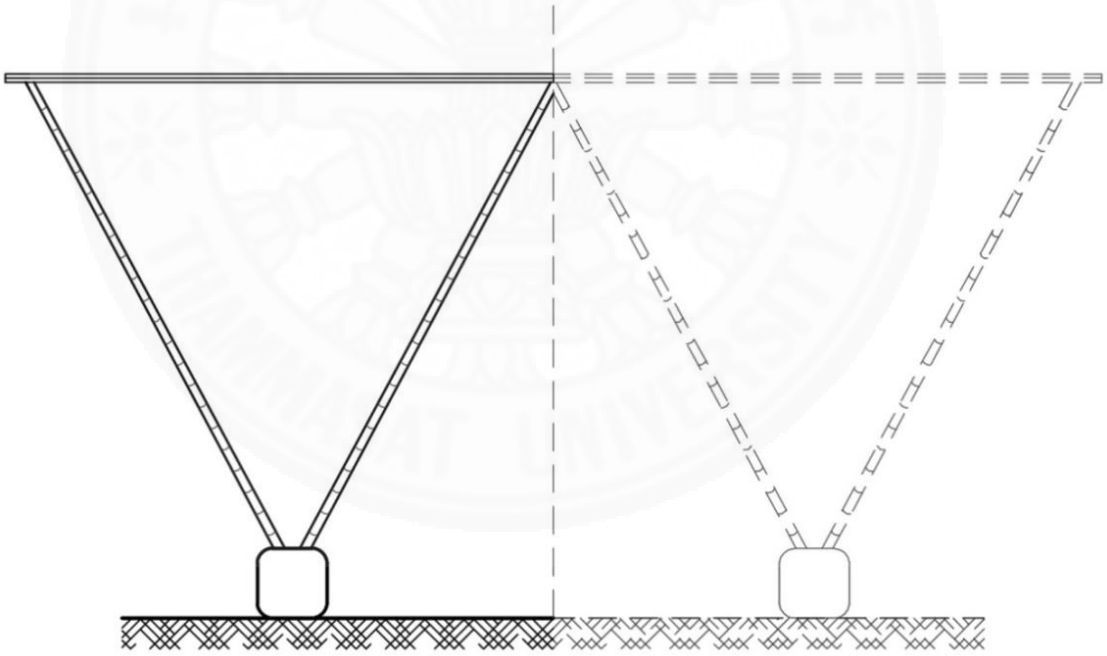
ชื่อสถาปัตยกรรม	รูปแบบกรอบโครงสร้าง
Big Tree Restaurant, ประเทศไทย	
Wonder Farm, ประเทศไทย	
Weera Waree Kaoyai, ประเทศไทย	

จากการศึกษาพบว่า สถาปัตยกรรมไม้ไผ่ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้มีลักษณะโครงสร้างที่มีพื้นฐานมาจากรูปสามเหลี่ยม เกิดการสานกันของโครงสร้าง รูปแบบโครงสร้างมีลักษณะแบบสมมาตร และเป็นอาคารที่เกิดจากกรอบโครงสร้างที่ซ้ำๆกันประกอบเป็นโครงสร้างของอาคาร โดยมีลักษณะการซ้ำกันของโครงสร้าง 2 ลักษณะ คือ ซ้ำกันตามในแนวราบ และ ซ้ำกันในแนวรัศมีวงกลม

รูปแบบโครงสร้างที่ได้ศึกษาเบื้องต้นสามารถจำแนกรูปแบบกรอบโครงสร้างที่จะใช้ในการจำลองโครงสร้างอาคารไม้ไผ่และประเมินด้านความแข็งแรงของโครงสร้างอาคารได้ 3 รูปแบบ ดังนี้

1. รูปแบบกรอบโครงสร้างที่ 1

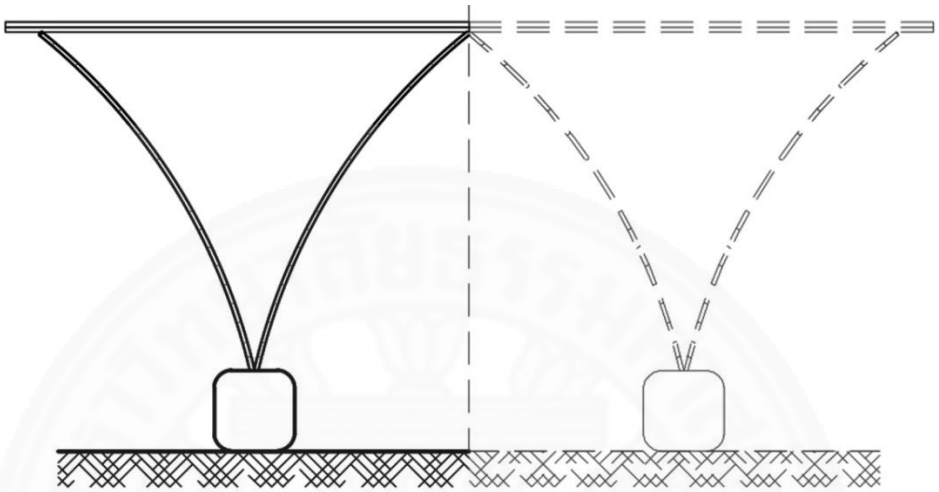
กรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 1 เป็นโครงสร้างเสาเอียง มีลักษณะเป็นรูปสามเหลี่ยมโดยโครงสร้างเสาไม้ไผ่ตรงและตั้งในแนวเอียง แต่ไม่ดัดโค้ง เพื่อรับน้ำหนักหลังคา ดังภาพที่ 4.11



ภาพที่ 4.11 รูปแบบกรอบโครงสร้างที่ 1

2. รูปแบบกรอบโครงสร้างที่ 2

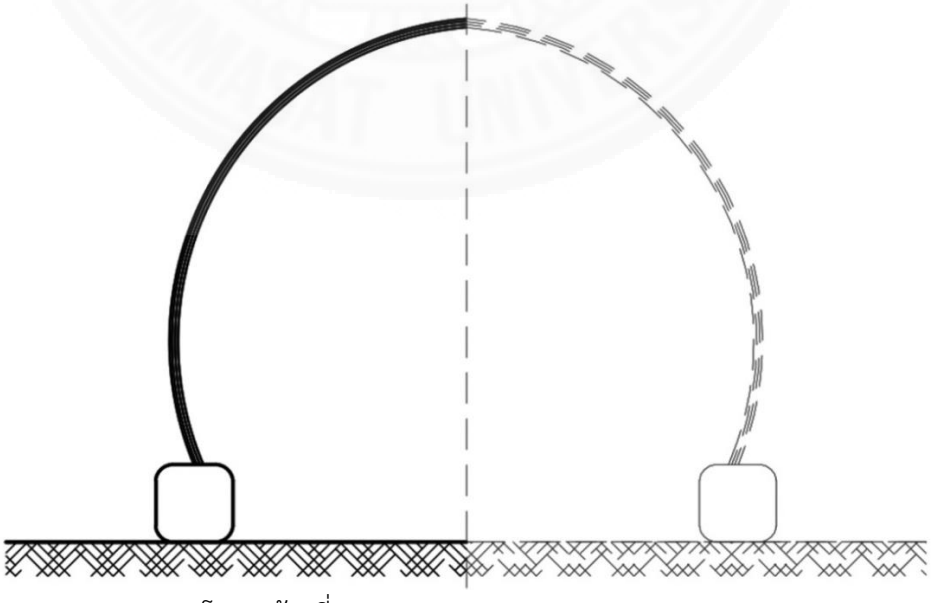
กรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 2 เป็นโครงสร้างเสาไม้ไผ่คล้ายระบบแบบที่ 1 แต่โครงสร้างเสาไม้ไผ่มีลักษณะดัดโค้ง เพื่อรับโครงสร้างหลังคา ดังภาพที่ 4.12



ภาพที่ 4.12 รูปแบบกรอบโครงสร้างที่ 2

3. รูปแบบกรอบโครงสร้างที่ 3

กรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 3 เป็นโครงสร้างเสาไม้ไผ่ดัดโค้ง ซึ่งกรอบโครงสร้างนี้จะส่งผลให้เกิดอาคารที่มีรูปทรงโค้งหรือเป็นโดม ดังภาพที่ 4.13



ภาพที่ 4.13 รูปแบบกรอบโครงสร้างที่ 3

จากการศึกษารูปแบบกรอบโครงสร้างไม้ไผ่ทั้ง 3 รูปแบบ พบว่า ในการก่อสร้างกรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 2 และ 3 ที่มีลักษณะของโครงสร้างแบบดัดโค้งมักจะใช้ไม้ไผ่ลำเล็กหลายลำประกอบกันและดัดโค้ง เนื่องจากไม้ไผ่ลำเล็กนั้นสามารถดัดโค้งได้ง่ายกว่าไม้ไผ่ลำใหญ่ ทำให้ไม้ไผ่ลำใหญ่เช่นไผ่ตงนั้น มักถูกนำไปใช้ในการก่อสร้างกรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 1 มากกว่านำมาดัดโค้งในกรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 2 และ 3

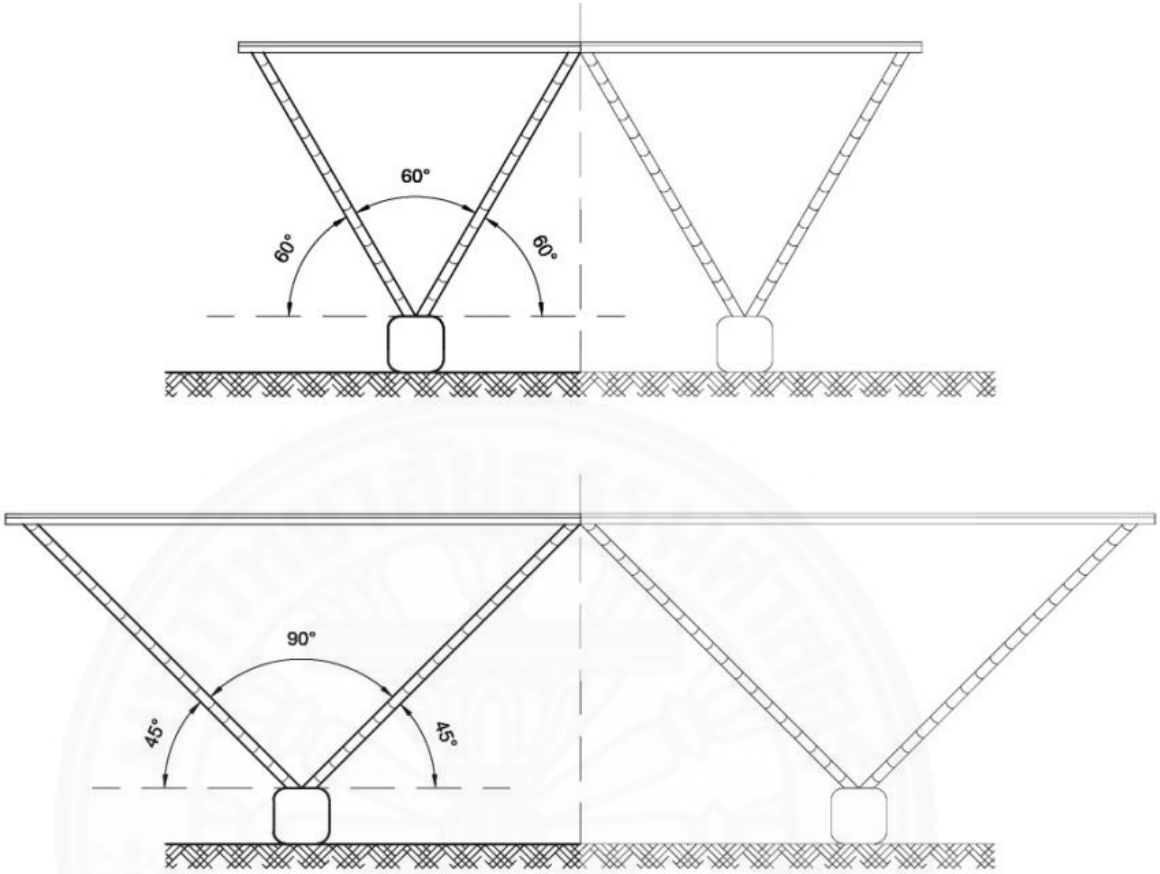
ดังนั้นในการศึกษาในขั้นตอนต่อไปคือการจำลองและประเมินความสามารถในการรับน้ำหนักของโครงสร้างไม้ไผ่ จึงเลือกศึกษากรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 1 เนื่องจากเป็นรูปแบบโครงสร้างที่สอดคล้องกับการศึกษาในขั้นตอนก่อนหน้านี้ คือ การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไผ่ตง ซึ่งไผ่ตงเป็นไผ่ที่มีลำไผ่ขนาดใหญ่ ดัดโค้งได้ยากกว่าไผ่ลำเล็ก ไผ่ตงจึงเหมาะสมกับการนำมาใช้ในกรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 1 มากกว่ากรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 2 และ 3

4.5 ผลการจำลองและประเมินการรับน้ำหนักของกรอบโครงสร้างไม้ไผ่

จากการศึกษากรอบโครงสร้างในข้อ 4.4 สามารถคัดเลือกรูปแบบกรอบโครงสร้างที่จะนำมาทำการจำลองโดยโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้าง ได้แก่กรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 1 ที่มีโครงสร้างเสาไม้ไผ่ตั้งตง ไม่ดัดโค้ง และทำมุมเอียงมีลักษณะเป็นรูปสามเหลี่ยม ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาความแข็งแรงและการรับน้ำหนักของกรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 1 โดยการศึกษาเปรียบเทียบกรอบโครงสร้างที่มีสัดส่วนของชิ้นส่วนโครงสร้างที่แตกต่างกัน ดังนี้

1. มุมองศาของชิ้นส่วนโครงสร้างที่เอียงออดจากกัน

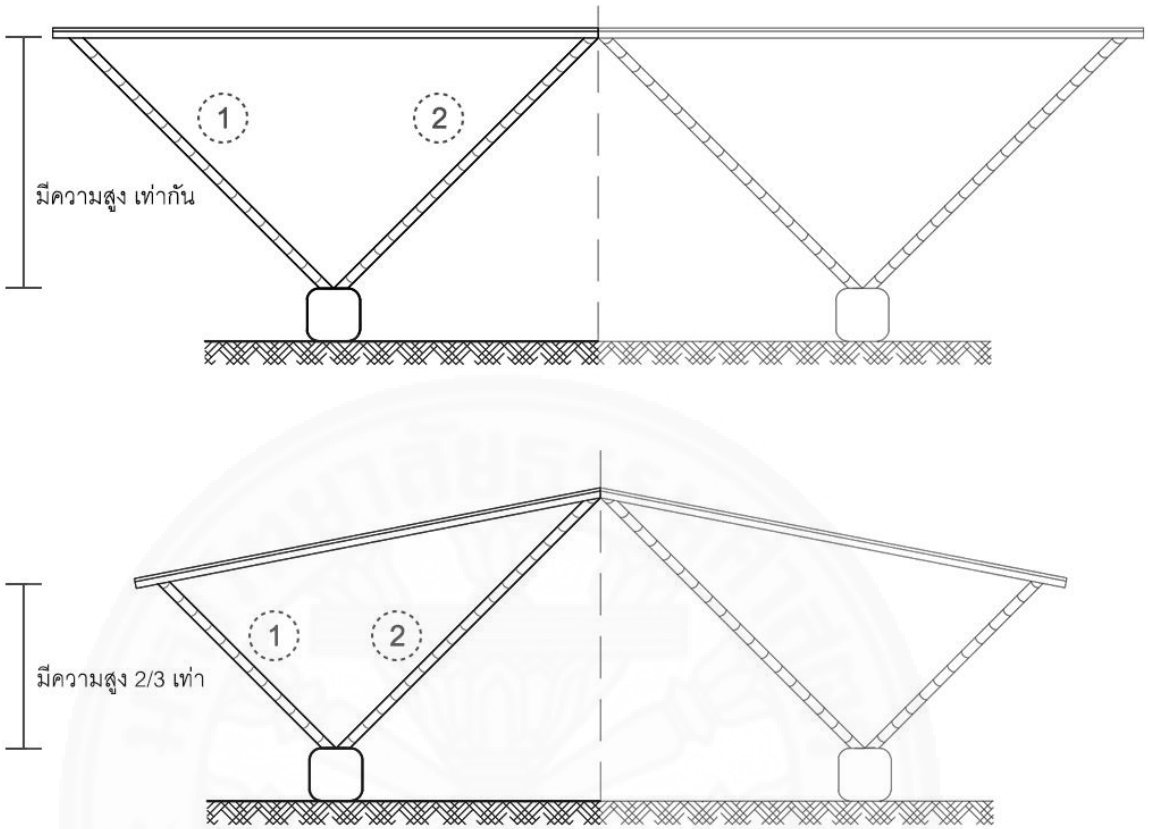
ชิ้นส่วนโครงสร้างของกรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 1 ที่มีลักษณะเป็นรูปสามเหลี่ยม ชิ้นส่วนโครงสร้างทำมุมเอียงในองศาที่แตกต่างกัน ซึ่งส่งผลต่อการรับหนักโครงสร้างหลังคาที่กระทำต่อกรอบโครงสร้าง การจำลองกรอบโครงสร้างในงานวิจัยนี้ได้กำหนดองศาของชิ้นส่วนโครงสร้างที่ทำมุมเอียงออกจากกัน โดยกำหนดมุมองศาของชิ้นส่วนโครงสร้างดังนี้ ชิ้นส่วนของกรอบโครงสร้างทำมุมเอียง 60 องศา และ 90 องศา ซึ่งเป็นการทำมุมเอียงที่มีความสมมาตร ดังภาพที่ 4.14



ภาพที่ 4.14 องศาที่ชิ้นส่วนโครงสร้างทำมุมเอียงออกจากกัน

2. สัดส่วนของชิ้นส่วนโครงสร้าง

ชิ้นส่วนของโครงสร้างในกรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 1 มีสัดส่วนความสูงของชิ้นส่วนโครงสร้างที่แตกต่างกันออกไป สัดส่วนที่ต่างกันส่งผลต่อความลาดเอียงของโครงสร้างหลังคาและการรับน้ำหนักของกรอบโครงสร้าง ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดสัดส่วนความสูงของชิ้นส่วนกรอบโครงสร้างดังนี้ ชิ้นส่วนโครงสร้างที่ 1 มีความสูง 2/3 และ 1 เท่าของชิ้นส่วนโครงสร้างที่ 2 ดังที่แสดงในภาพที่ 4.15



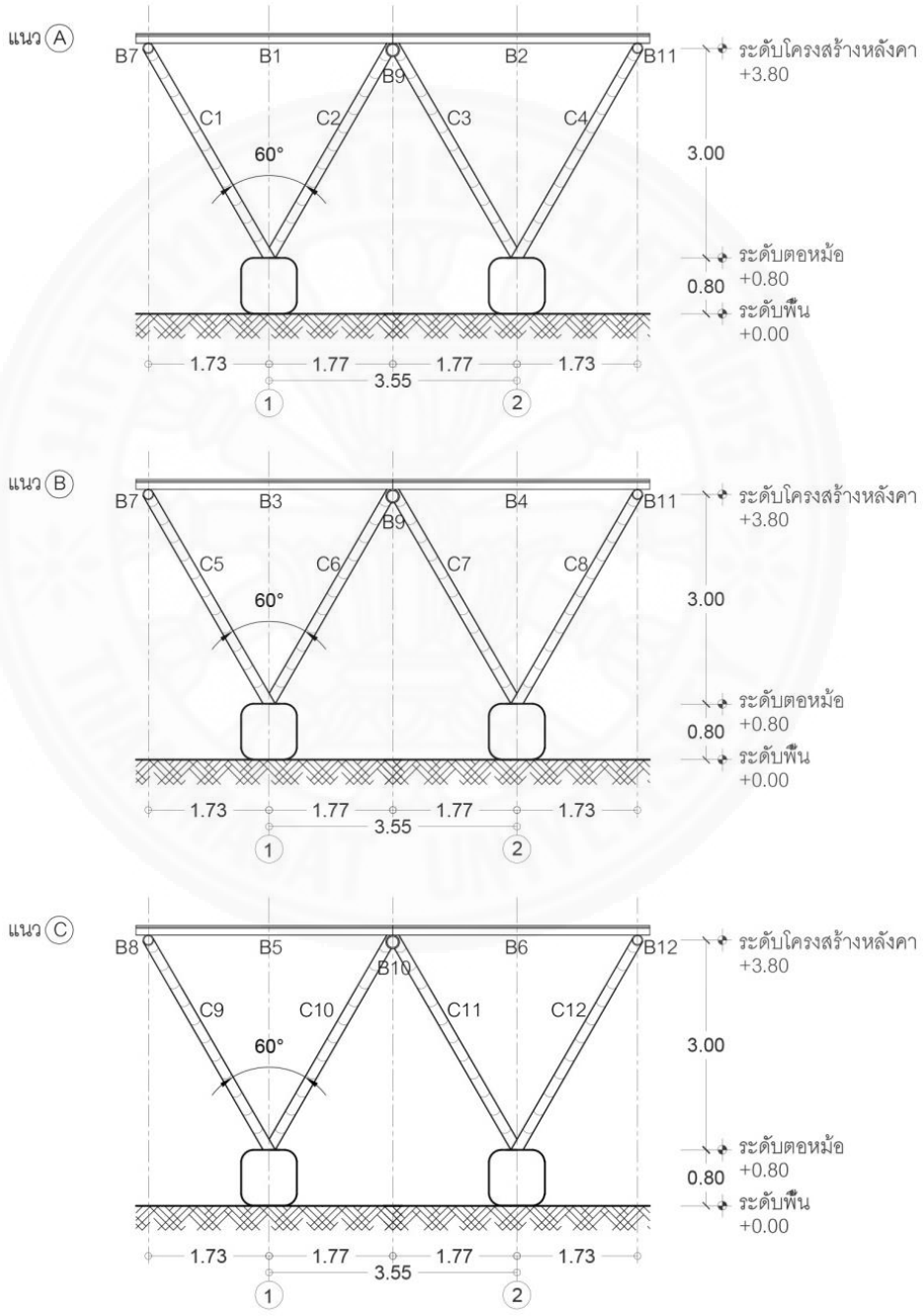
ภาพที่ 4.15 สัดส่วนความสูงของชิ้นส่วนโครงสร้าง

กรอบโครงสร้างที่ทำการทำลองขึ้นนั้น มีลักษณะการวางคานและโครงสร้างหลังคาคือ มีคานไม้ไผ่วางพาดลงบนเสาไม้ไผ่ทั้ง 2 ในกรอบโครงสร้างเดียวกัน และมีคานไม้ไผ่ที่วางพาดระหว่างเสาของกรอบโครงสร้างในแต่ละชุด เพื่อการเชื่อมกรอบโครงสร้างแต่ละชุดเข้าได้กัน คานทั้งหมดรับน้ำหนักจากแปไม้ไผ่และวัสดุมุงหลังคา (เมทัลชีท) อีกทั้งยังมีหน้าที่ช่วยการทรงตัวของโครงสร้างอาคารอีกด้วย

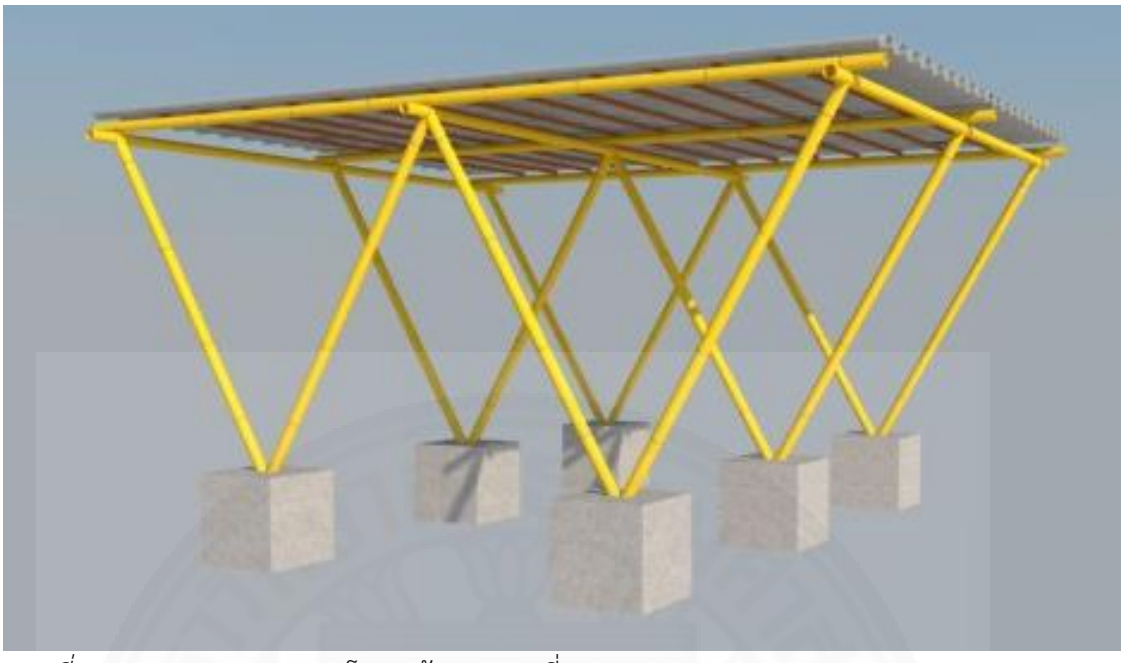
กรอบโครงสร้างที่ทำการจำลองและประเมินผลมีทั้งหมด 4 รูปแบบ ดังนี้

1. กรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 1

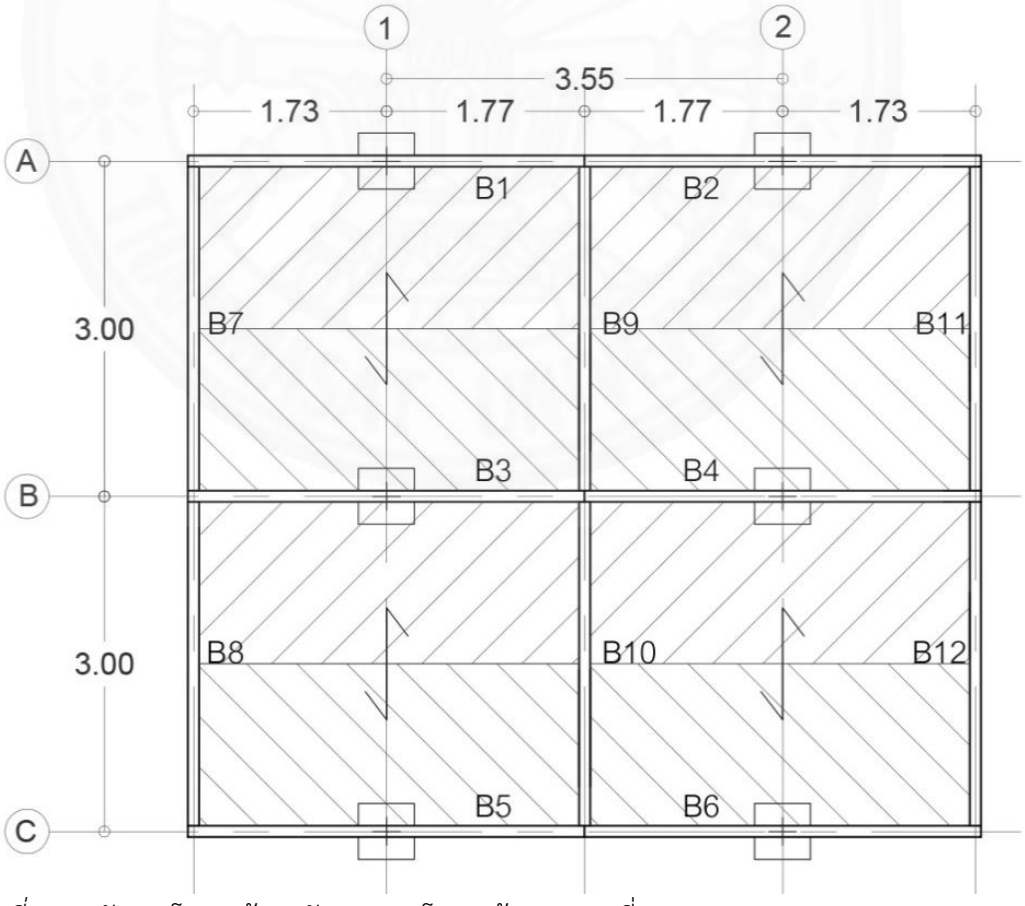
กรอบโครงสร้างที่รูปแบบที่ 1 เป็นโครงสร้างที่ชิ้นส่วนโครงสร้างทำมุมเอียง 60 องศาออกจากกัน และชิ้นส่วนโครงสร้างทั้ง 2 มีความความสูงเท่ากัน ดังภาพที่ 4.16



ภาพที่ 4.16 กรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 1



ภาพที่ 4.17 ภาพรวมของกรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 1



ภาพที่ 4.18 ผังคานโครงสร้างหลังคากรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 1

การคำนวณหาค่าน้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อคาน มีดังนี้

น้ำหนักบรรทุกที่กระทำลงบนคาน B1 B2 B5 และB6 มีการคำนวณดังนี้

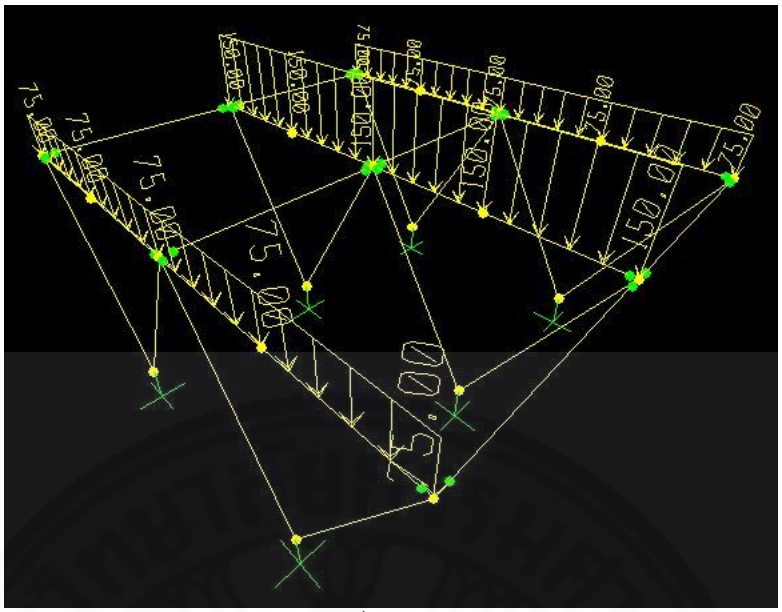
น้ำหนักบรรทุกคงที่		10.00	กก./ตร.ม.
	พื้นที่โครงสร้างหลังคาที่คานรับน้ำหนัก	5.25	ตร.ม.
	มีน้ำหนักที่กระทำลงบนคาน	52.50	กก.
	คานมีความยาว	3.50	เมตร
ดังนี้	น้ำหนักบรรทุกคงที่ที่กระทำลงบนคานเท่ากับ	15.00	กก./ม.

น้ำหนักบรรทุกจร		50.00	กก./ตร.ม.
	พื้นที่โครงสร้างหลังคาที่คานรับน้ำหนัก	5.25	ตร.ม.
	มีน้ำหนักที่กระทำลงบนคาน	262.50	กก.
	คานมีความยาว	3.50	เมตร
ดังนี้	น้ำหนักบรรทุกคงที่ที่กระทำลงบนคานเท่ากับ	75.00	กก./ม.

น้ำหนักบรรทุกที่กระทำลงบนคาน B3 และB4 มีการคำนวณดังนี้

น้ำหนักบรรทุกคงที่		10.00	กก./ตร.ม.
	พื้นที่โครงสร้างหลังคาที่คานรับน้ำหนัก	10.50	ตร.ม.
	มีน้ำหนักที่กระทำลงบนคาน	105.00	กก.
	คานมีความยาว	3.50	เมตร
ดังนี้	น้ำหนักบรรทุกคงที่ที่กระทำลงบนคานเท่ากับ	30.00	กก./ม.

น้ำหนักบรรทุกจร		50.00	กก./ตร.ม.
	พื้นที่โครงสร้างหลังคาที่คานรับน้ำหนัก	10.50	ตร.ม.
	มีน้ำหนักที่กระทำลงบนคาน	525.00	กก.
	คานมีความยาว	3.50	เมตร
ดังนี้	น้ำหนักบรรทุกคงที่ที่กระทำลงบนคานเท่ากับ	150.00	กก./ม.



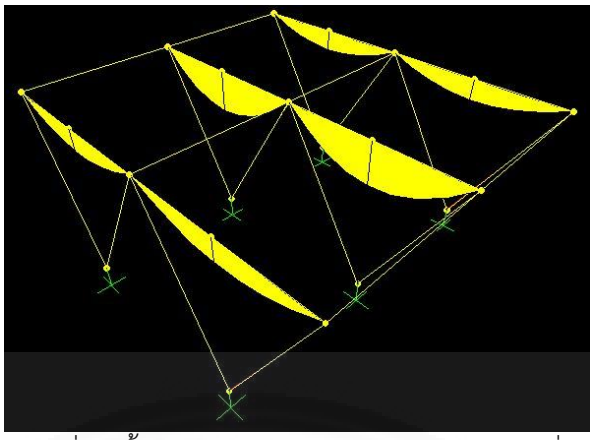
ภาพที่ 4.19 การจำลองกรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 1

จากการคำนวณค่าน้ำหนักบรรทุกที่กระทำลงบนโครงสร้าง นำไปสู่การจำลองโครงสร้างอาคารและการกำหนดน้ำหนักบรรทุกในโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้าง ดังภาพที่ 4.19 เพื่อช่วยในการประเมินหาค่าโมเมนต์ดัดสูงสุดที่เกิดขึ้นในคานทั้งหมด ซึ่งคาน B1 B2 B5 และB6 มีค่าโมเมนต์ดัดสูงสุด 1,351,479 นิวตัน/ตร.มม. ส่วนคาน B3 และB4 มีค่าโมเมนต์ดัดสูงสุด 2,702,958 นิวตัน/ตร.มม. ค่าโมเมนต์สูงสุดที่ได้นำไปประกอบการพิจารณาความเป็นไปได้ในการรับน้ำหนักของคานไม้ไผ่กรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 1 ซึ่งมีผลการพิจารณาดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5

การพิจารณาความเป็นไปได้ในการรับน้ำหนักของคานไม้ไผ่กรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 1

ชิ้นส่วนโครงสร้าง	โมเมนต์ดัดสูงสุด (นิวตัน/มม.)	ค่าเฉลี่ยกำลังต้านทานแรงดัด (นิวตัน/ตร.มม)	หน่วยแรงที่ยอมให้ (นิวตัน/ตร.มม)	หน่วยแรงที่คาดว่าจะเกิดขึ้น (นิวตัน/ตร.มม)	เกณฑ์
คาน B1 B2 B5 B6 ความยาว 3.50 เมตร	1,351,479	127.24	42.41	23.33	ผ่าน
คาน B3 B4 ความยาว 3.50 เมตร	2,702,958			46.66	ไม่ผ่าน



ภาพที่ 4.20 โมเมนต์ดัดสูงสุดที่เกิดขึ้นในคานไม้ไผ่กรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 1

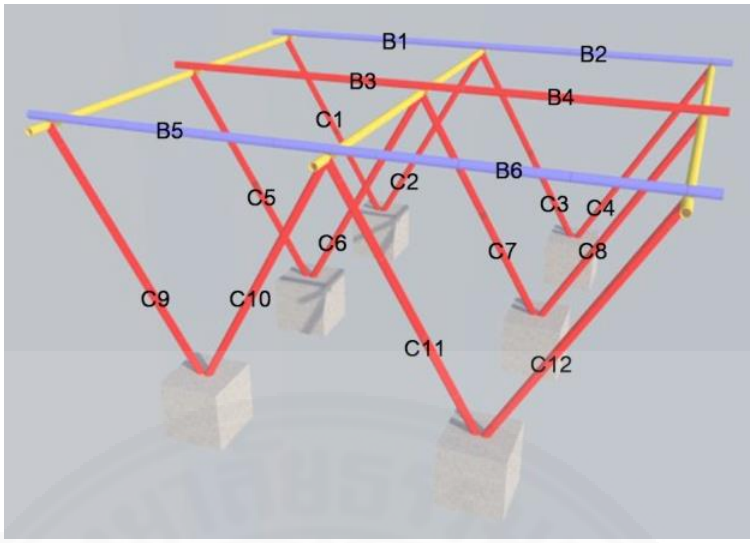
จากประกอบการพิจารณาความเป็นไปได้ในการรับน้ำหนักของคานไม้ไผ่กรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 1 พบว่า คาน B1 B2 B5 และB6 ผ่านเกณฑ์การพิจารณา กล่าวคือ คาน B1 B2 B5 และB6 สามารถรับน้ำหนักได้จริง แต่คาน B3 และB4 ไม่ผ่านเกณฑ์การพิจารณา กล่าวคือ คาน B3 และB4 ไม่สามารถรับน้ำหนักได้จริงและอาจจะทำให้คานนั้นพังทลายลงมาได้ ในส่วนของการพิจารณาความเป็นไปได้ในการรับน้ำหนักของเสาไม้ไผ่กรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 1 มีผลการพิจารณาดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6

การพิจารณาความเป็นไปได้ในการรับน้ำหนักของเสาไม้ไผ่กรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 1

ชิ้นส่วนโครงสร้าง	แรงในชิ้นส่วนโครงสร้าง (นิวตัน)	ค่าเฉลี่ยกำลังต้านทานแรงอัด (นิวตัน/ตร.มม)	หน่วยแรงที่ยอมให้ (นิวตัน/ตร.มม)	หน่วยแรงที่คาดว่าจะเกิดขึ้น (นิวตัน/ตร.มม)	เกณฑ์
เสาทั้งหมด พื้นที่หน้าตัด 2,827.44 ตร.มม. ความยาว 3.46 เมตร	135,108.90	42.87	14.29	41.38	ไม่ผ่าน

จากการพิจารณาความเป็นไปได้ในการรับน้ำหนักของเสาไม้ไผ่กรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 1 พบว่า เสาทั้งหมดมีหน่วยแรงที่ยอมให้น้อยกว่าหน่วยแรงที่คาดว่าจะเกิดขึ้น ส่งผลให้เสาไม้ไผ่ในกรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 1 ไม่ผ่านเกณฑ์และเสาทั้งหมดไม่สามารถรับน้ำหนักได้จริง



ภาพที่ 4.21 การรับน้ำหนักของชิ้นส่วนโครงสร้างในกรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 1

ในกรณีที่ชิ้นโครงสร้างของกรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 1 ไม่ผ่านเกณฑ์ จึงนำมาพิจารณาอีกครั้งเพื่อหาแนวทางในการแก้ไขโครงสร้างให้ผ่านเกณฑ์กำหนดไว้และเพื่อความแข็งแรงของกรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 1 โดยพิจารณาดังนี้

คาน B3 และB4 มีหน่วยแรงที่คาดว่าจะเกิดขึ้น 46.66 นิวตัน/ตร.มม. และมีหน่วยแรงที่ยอมให้ต่อคานไม้ไผ่ 1 ลำ 42.41 นิวตัน/ตร.มม. โดยหน่วยแรงที่คาดว่าจะเกิดขึ้นมีมากกว่าหน่วยแรงที่ยอมให้ คิดเป็น 1.1 เท่า ดังนั้น คาน B3 และB4 ควรเพิ่มจำนวนไม้ไผ่เป็นคานไม้ไผ่ 2 ลำ โดยคานไม้ไผ่แต่ละลำเป็นอิสระต่อกัน ซึ่งมีรายละเอียด ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7

การพิจารณาจำนวนลำไผ่ของคานไม้ไผ่ในกรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 1

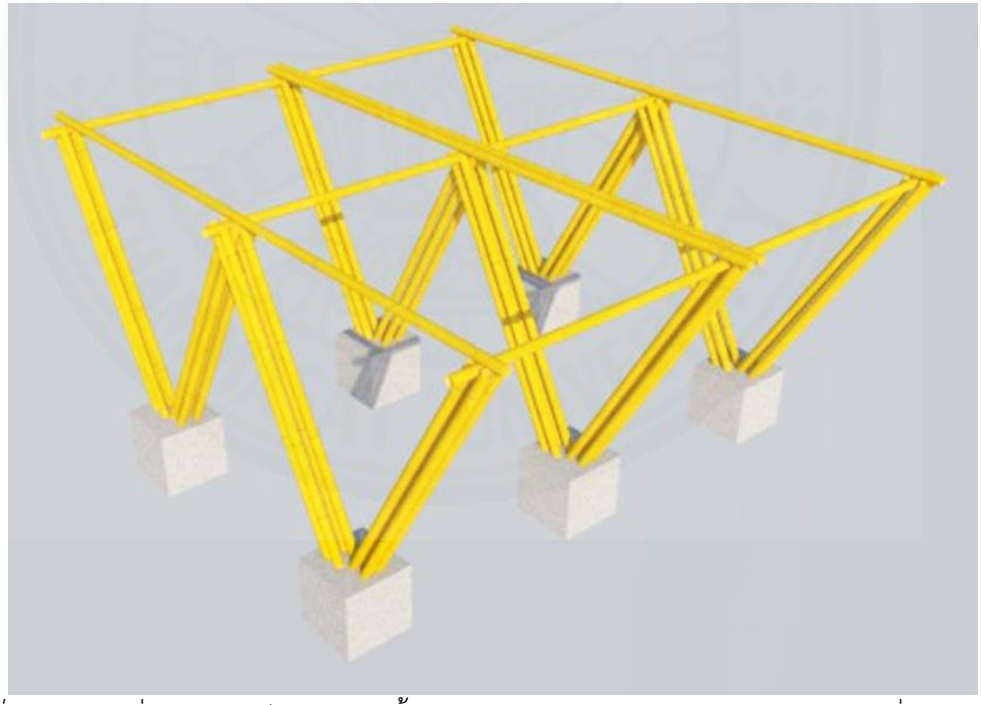
ชิ้นส่วนโครงสร้าง	หน่วยแรงที่ยอมให้ต่อคานไม้ไผ่ 1 ลำ (นิวตัน/ตร.มม)	จำนวนลำไผ่ (ลำ)	หน่วยแรงที่ยอมให้ (นิวตัน/ตร.มม)	หน่วยแรงที่คาดว่าจะเกิดขึ้น (นิวตัน/ตร.มม)	เกณฑ์
คาน B1 B2 B5 B6 ความยาว 3.50 เมตร	42.41	1	42.41	23.33	ผ่าน
คาน B3 B4 ความยาว 3.50 เมตร		2	84.82	46.66	ผ่าน

เสาทั้งหมด มีหน่วยแรงที่คาดว่าจะเกิดขึ้น 41.38 นิวตัน/ตร.มม. และมีหน่วยแรงที่ยอมให้ต่อคานไม้ไผ่ 1 ลำ 14.29 นิวตัน/ตร.มม. โดยหน่วยแรงที่คาดว่าจะเกิดขึ้นมีมากกว่าหน่วยแรงที่ยอมให้ คิดเป็น 2.8 เท่า ดังนั้น เสาทั้งหมด ควรเพิ่มจำนวนไม้ไผ่เป็นคานไม้ไผ่ 3 ลำ โดยเสาไม้ไผ่แต่ละลำเป็นอิสระต่อกัน ซึ่งมีรายละเอียด ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8

การพิจารณาจำนวนลำไผ่ของเสาไม้ไผ่ในกรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 1

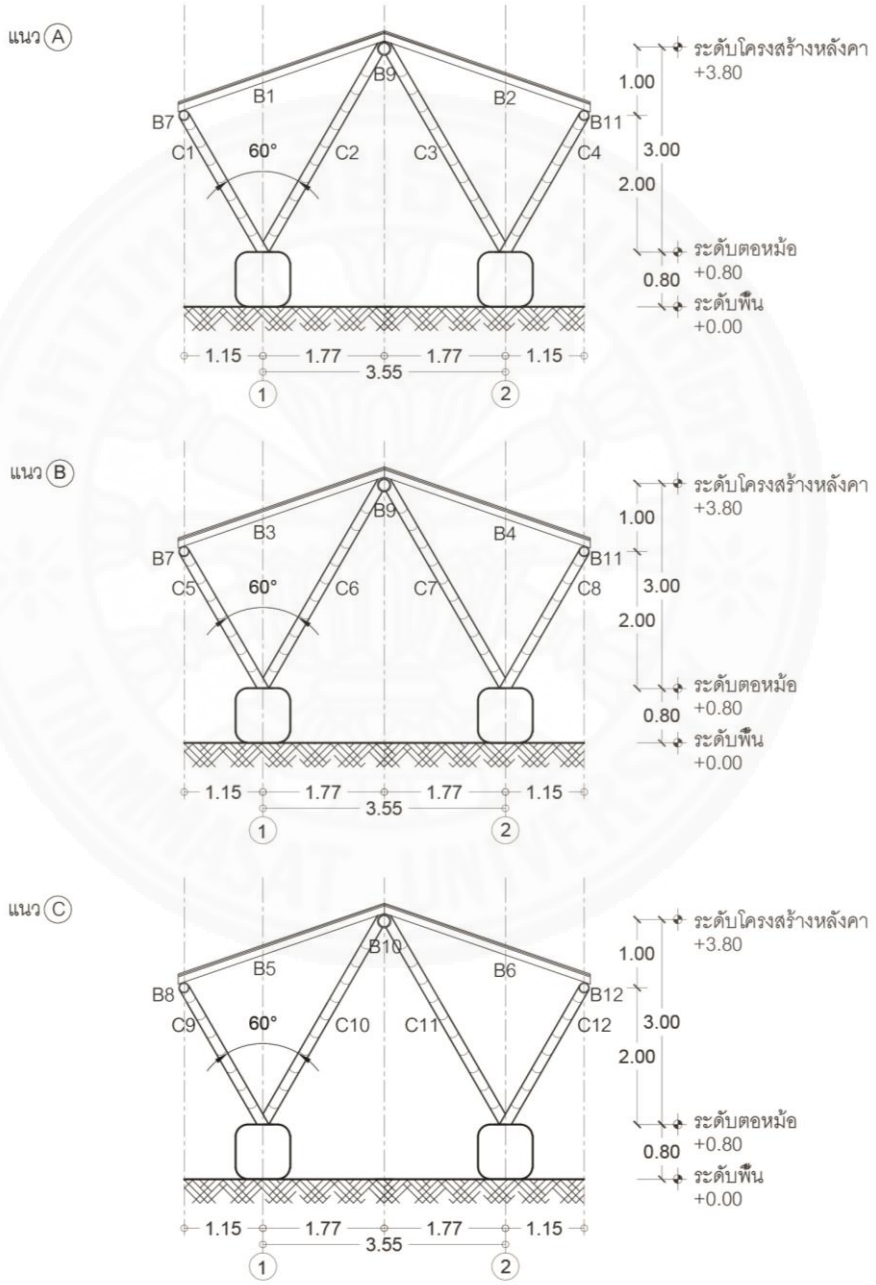
ชิ้นส่วนโครงสร้าง	หน่วยแรงที่ยอมให้ต่อเสาไม้ไผ่ 1 ลำ (นิวตัน/ตร.มม)	จำนวนลำไผ่ (ลำ)	หน่วยแรงที่ยอมให้ (นิวตัน/ตร.มม)	หน่วยแรงที่คาดว่าจะเกิดขึ้น (นิวตัน/ตร.มม)	เกณฑ์
เสาทั้งหมด ความยาว 3.46 เมตร	14.29	3	42.87	41.38	ผ่าน



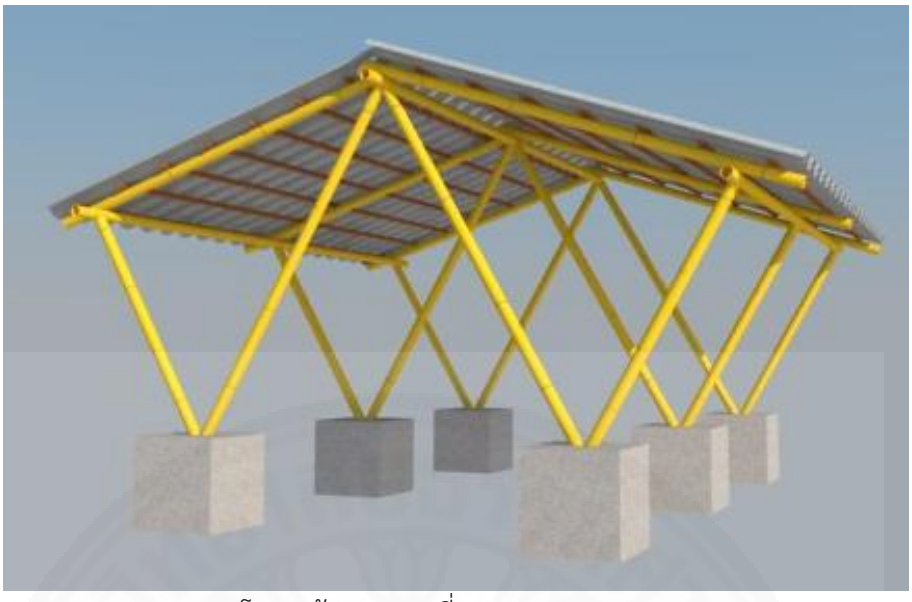
ภาพที่ 4.22 การเพิ่มจำนวนลำไผ่ในแต่ละชิ้นส่วนโครงสร้างของกรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 1

2. กรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 2

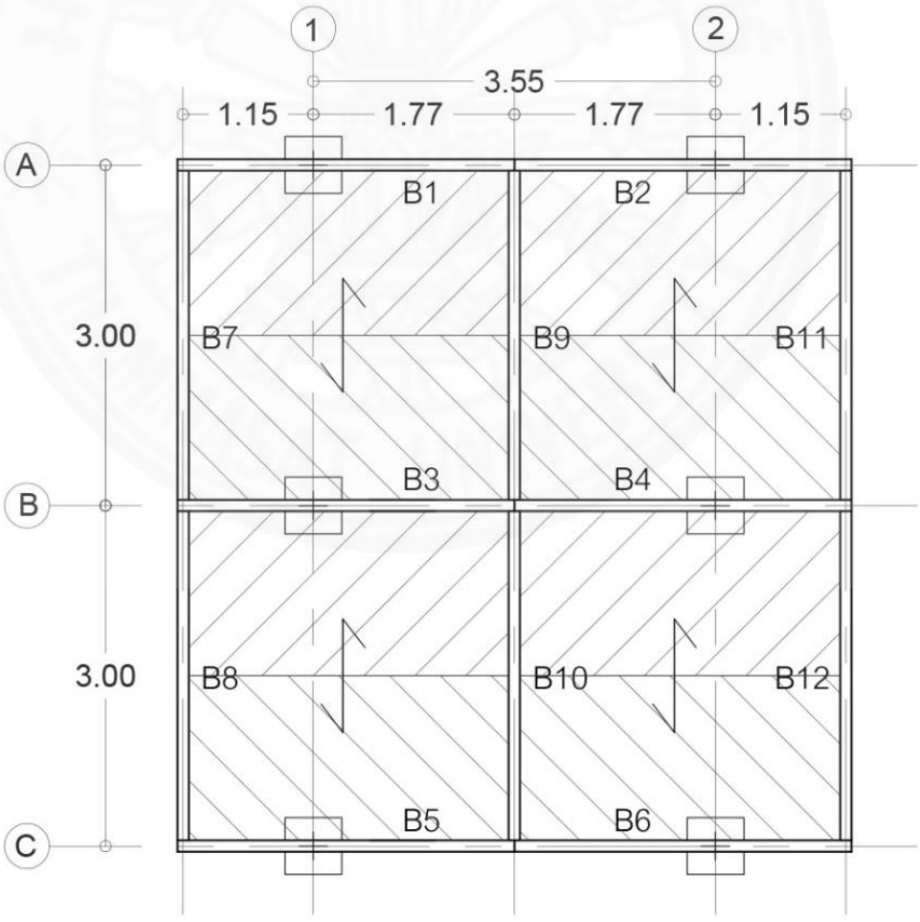
กรอบโครงสร้างที่รูปแบบที่ 2 เป็นโครงสร้างที่ชิ้นส่วนโครงสร้างทำมุมเอียง 60 องศาออกจากกัน และชิ้นส่วนโครงสร้างที่ 1 มีความความสูงเป็น 2/3 เท่าของความสูงชิ้นส่วนโครงสร้างที่ 2 ดังภาพที่ 4.21



ภาพที่ 4.23 กรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 2



ภาพที่ 4.24 ภาพรวมของกรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 2



ภาพที่ 4.25 ผังคานโครงสร้างหลังคากรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 2

การคำนวณหาค่าน้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อคาน มีดังนี้

น้ำหนักบรรทุกที่กระทำลงบนคาน B1 B2 B5 และB6 มีการคำนวณดังนี้

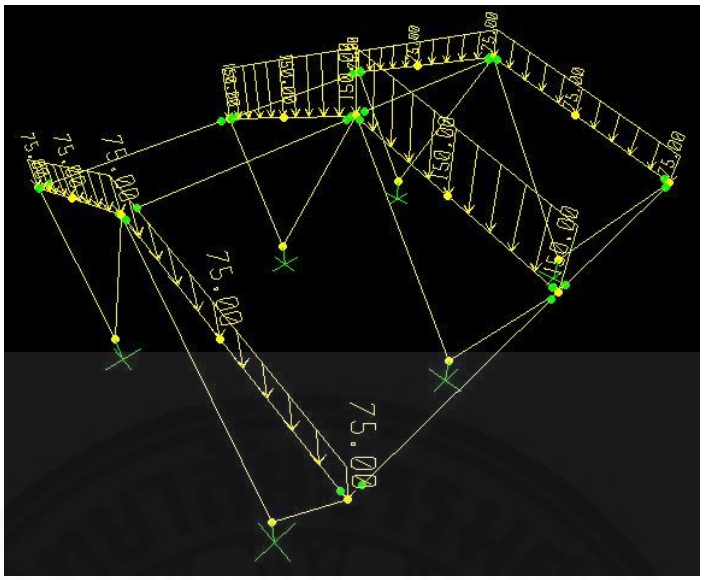
น้ำหนักบรรทุกคงที่		10.00	กก./ตร.ม.
	พื้นที่โครงสร้างหลังคาที่คานรับน้ำหนัก	4.38	ตร.ม.
	มีน้ำหนักที่กระทำลงบนคาน	43.80	กก.
	คานมีความยาว	2.92	เมตร
ดังนี้	น้ำหนักบรรทุกคงที่ที่กระทำลงบนคานเท่ากับ	15.00	กก./ม.

น้ำหนักบรรทุกจร		50.00	กก./ตร.ม.
	พื้นที่โครงสร้างหลังคาที่คานรับน้ำหนัก	4.38	ตร.ม.
	มีน้ำหนักที่กระทำลงบนคาน	219.00	กก.
	คานมีความยาว	2.92	เมตร
ดังนี้	น้ำหนักบรรทุกคงที่ที่กระทำลงบนคานเท่ากับ	75.00	กก./ม.

น้ำหนักบรรทุกที่กระทำลงบนคาน B3 และB4 มีการคำนวณดังนี้

น้ำหนักบรรทุกคงที่		10.00	กก./ตร.ม.
	พื้นที่โครงสร้างหลังคาที่คานรับน้ำหนัก	8.76	ตร.ม.
	มีน้ำหนักที่กระทำลงบนคาน	87.60	กก.
	คานมีความยาว	2.92	เมตร
ดังนี้	น้ำหนักบรรทุกคงที่ที่กระทำลงบนคานเท่ากับ	30.00	กก./ม.

น้ำหนักบรรทุกจร		50.00	กก./ตร.ม.
	พื้นที่โครงสร้างหลังคาที่คานรับน้ำหนัก	8.76	ตร.ม.
	มีน้ำหนักที่กระทำลงบนคาน	438.00	กก.
	คานมีความยาว	2.92	เมตร
ดังนี้	น้ำหนักบรรทุกคงที่ที่กระทำลงบนคานเท่ากับ	150.00	กก./ม.



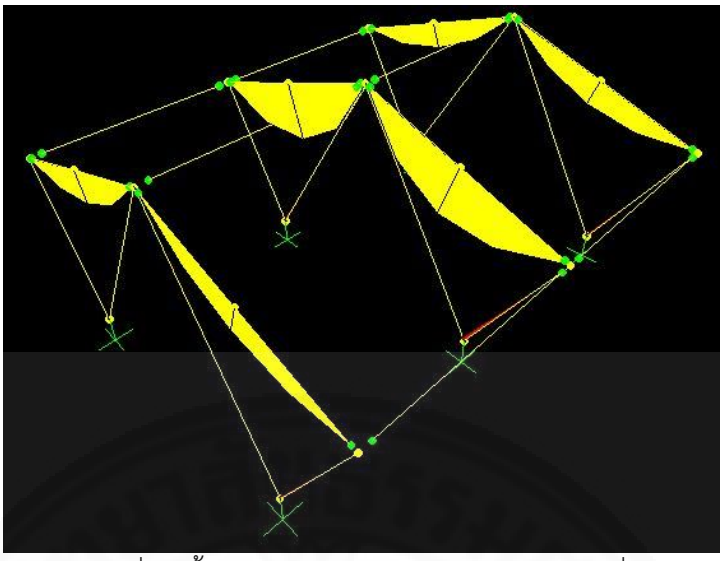
ภาพที่ 4.26 การจำลองกรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 2

จากการคำนวณค่าน้ำหนักบรรทุกที่กระทำลงบนโครงสร้าง นำไปสู่การจำลองโครงสร้างอาคารและการกำหนดน้ำหนักบรรทุกในโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้าง ดังภาพที่ 4.24 เพื่อช่วยในการประเมินหาค่าโมเมนต์ดัดสูงสุดที่เกิดขึ้นในคานทั้งหมด ซึ่งคาน B1 B2 B5 และB6 มีค่าโมเมนต์ดัดสูงสุด 994,306.88 นิวตัน/ตร.มม. ส่วนคาน B3 และB4 มีค่าโมเมนต์ดัดสูงสุด 1,988,613.80 นิวตัน/ตร.มม. ค่าโมเมนต์สูงสุดที่ได้นำไปประกอบการพิจารณาความเป็นไปได้ในการรับน้ำหนักของคานไม้ไผ่กรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 2 ซึ่งมีผลการพิจารณาดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9

การพิจารณาความเป็นไปได้ในการรับน้ำหนักของคานไม้ไผ่กรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 2

ชิ้นส่วนโครงสร้าง	โมเมนต์ดัดสูงสุด (นิวตัน/มม.)	ค่าเฉลี่ยกำลังต้านทานแรงดัด (นิวตัน/ตร.มม)	หน่วยแรงที่ยอมให้ (นิวตัน/ตร.มม)	หน่วยแรงที่คาดว่าจะเกิดขึ้น (นิวตัน/ตร.มม)	เกณฑ์
คาน B1 B2 B5 B6 ความยาว 3.10 เมตร	994,306.88	127.24	42.41	17.16	ผ่าน
คาน B3 B4 ความยาว 3.10 เมตร	1,988,613.80			34.33	ผ่าน



ภาพที่ 4.27 โมเมนต์ดัดสูงสุดที่เกิดขึ้นในคานไม้ไผ่กรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 2

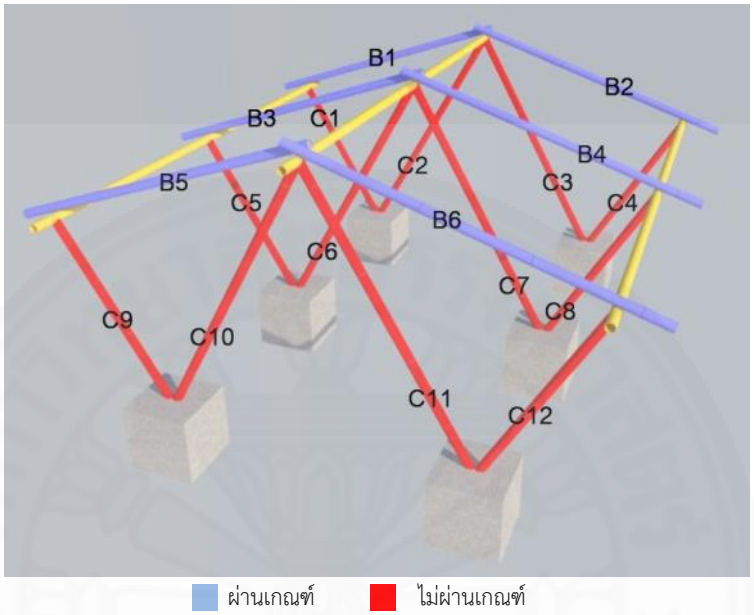
จากประกอบการพิจารณาความเป็นไปได้ในการรับน้ำหนักของคานไม้ไผ่กรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 2 พบว่า คานทั้งหมดมีหน่วยแรงที่ยอมให้น้อยกว่าหน่วยแรงที่คาดว่าจะเกิดขึ้น ส่งผลให้คานไม้ไผ่ในกรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 2 ผ่านเกณฑ์ กล่าวคือคานทั้งหมดสามารถรับน้ำหนักได้จริง ในส่วนของการพิจารณาความเป็นไปได้ในการรับน้ำหนักของเสาไม้ไผ่กรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 2 มีผลการพิจารณาดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10

การพิจารณาความเป็นไปได้ในการรับน้ำหนักของเสาไม้ไผ่กรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 2

ชิ้นส่วนโครงสร้าง	แรงในชิ้นส่วนโครงสร้าง (นิวตัน)	ค่าเฉลี่ยกำลังต้านทานแรงอัด (นิวตัน/ตร.มม)	หน่วยแรงที่ยอมให้ (นิวตัน/ตร.มม)	หน่วยแรงที่คาดว่าจะเกิดขึ้น (นิวตัน/ตร.มม)	เกณฑ์
เสา C1 C4 C5 C8 C9 C12 พื้นที่หน้าตัด 2,827.44 ตร.มม. ความยาว 2.31 เมตร	303,118.33	42.87	14.29	92.84	ไม่ผ่าน
เสา C2 C3 C6 C7 C10 C11 พื้นที่หน้าตัด 2,827.44 ตร.มม. ความยาว 3.46 เมตร	135,108.90			41.38	ไม่ผ่าน

จากการพิจารณาความเป็นไปได้ในการรับน้ำหนักของเสาไม้ไผ่กรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 2 พบว่า เสาทั้งหมดมีหน่วยแรงที่ยอมให้น้อยกว่าหน่วยแรงที่คาดว่าจะเกิดขึ้น ส่งผลให้เสาไม้ไผ่ในกรอบโครงสร้างรูปแบบที่ ไม่ผ่านเกณฑ์และเสาทั้งหมดไม่สามารถรับน้ำหนักได้จริง



ภาพที่ 4.28 การรับน้ำหนักของชิ้นส่วนโครงสร้างในกรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 2

ในกรณีที่เสาทั้งหมดของกรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 2 ไม่ผ่านเกณฑ์ จึงนำมาพิจารณาอีกครั้งเพื่อหาแนวทางในการแก้ไขโครงสร้างให้ผ่านเกณฑ์กำหนดไว้และเพื่อความแข็งแรงของกรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 2 โดยพิจารณาดังนี้

เสา C1 C4 C5 C8 C9 และC12 มีหน่วยแรงที่คาดว่าจะเกิดขึ้น 92.84 นิวตัน/ตร.มม. และมีหน่วยแรงที่ยอมให้ต่อคานไม้ไผ่ 1 ลำ 14.29 นิวตัน/ตร.มม. โดยหน่วยแรงที่คาดว่าจะเกิดขึ้นมีมากกว่าหน่วยแรงที่ยอมให้ คิดเป็น 6.4 เท่า ดังนั้น เสา C1 C4 C5 C8 C9 และC12 ควรเพิ่มจำนวนไม้ไผ่เป็นคานไม้ไผ่ 7 ลำ โดยเสาไม้ไผ่แต่ละลำเป็นอิสระต่อกัน

เสา C2 C3 C6 C7 C10 และC11 มีหน่วยแรงที่คาดว่าจะเกิดขึ้น 41.38 นิวตัน/ตร.มม. และมีหน่วยแรงที่ยอมให้ต่อคานไม้ไผ่ 1 ลำ 14.29 นิวตัน/ตร.มม. โดยหน่วยแรงที่คาดว่าจะเกิดขึ้นมีมากกว่าหน่วยแรงที่ยอมให้ คิดเป็น 2.8 เท่า ดังนั้น C2 C3 C6 C7 C10 และC11 ควรเพิ่มจำนวนไม้ไผ่เป็นคานไม้ไผ่ 3 ลำ โดยเสาไม้ไผ่แต่ละลำเป็นอิสระต่อกัน ซึ่งมีรายละเอียด ดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11

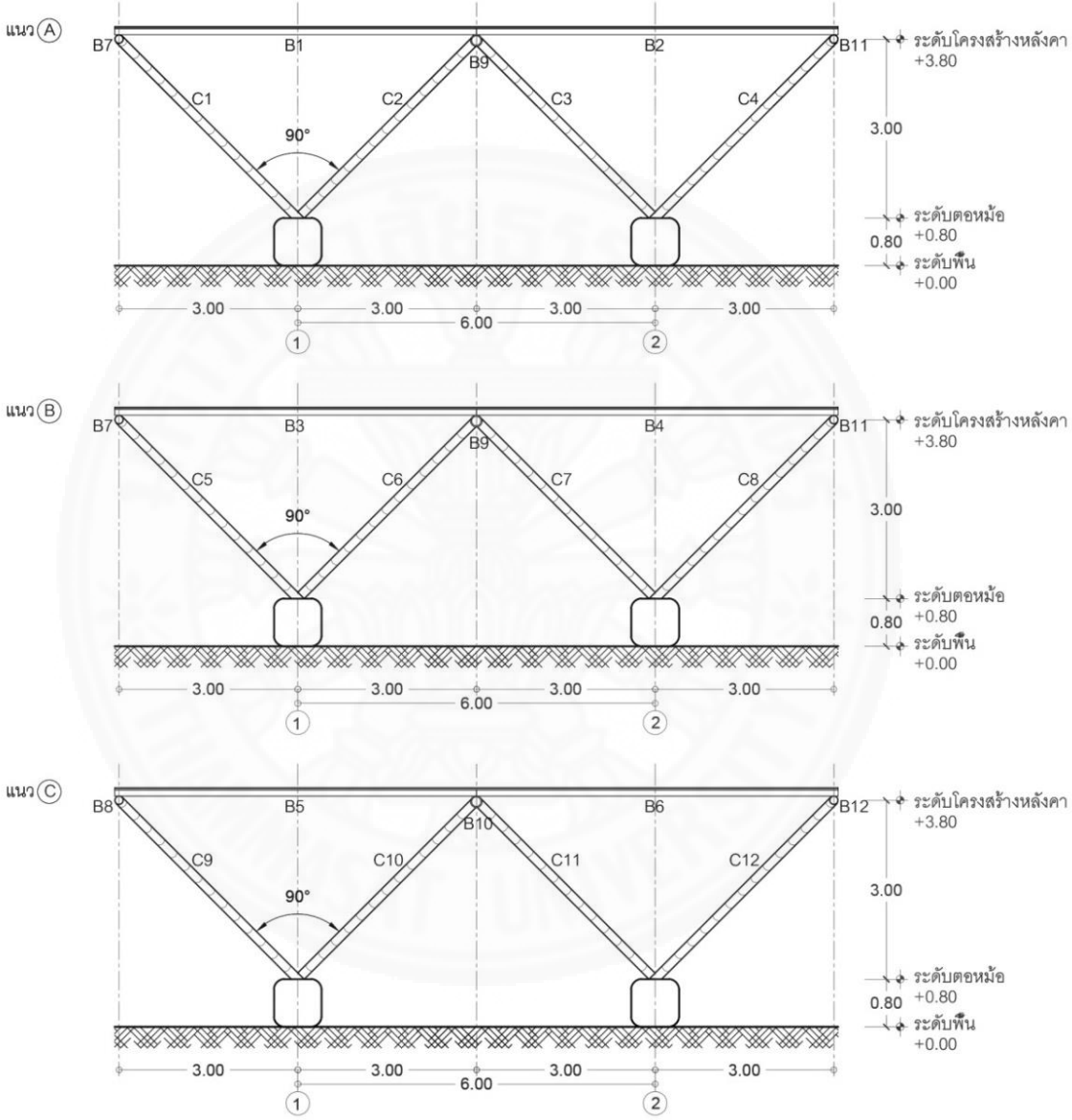
การพิจารณาจำนวนลำไผ่ของเสาไม้ไผ่ในกรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 2

ชิ้นส่วนโครงสร้าง	หน่วยแรงที่ยอมให้ต่อเสาไม้ไผ่ 1 ลำ (นิวตัน/ตร.มม)	จำนวนลำไผ่ (ลำ)	หน่วยแรงที่ยอมให้ (นิวตัน/ตร.มม)	หน่วยแรงที่คาดว่าจะเกิดขึ้น (นิวตัน/ตร.มม)	เกณฑ์
เสา C1 C4 C5 C8 C9 และC12 ความยาว 2.31 เมตร	14.29	7	100.03	92.84	ผ่าน
เสา C2 C3 C6 C7 C10 และC11 ความยาว 3.46 เมตร		3	42.87	41.38	ผ่าน

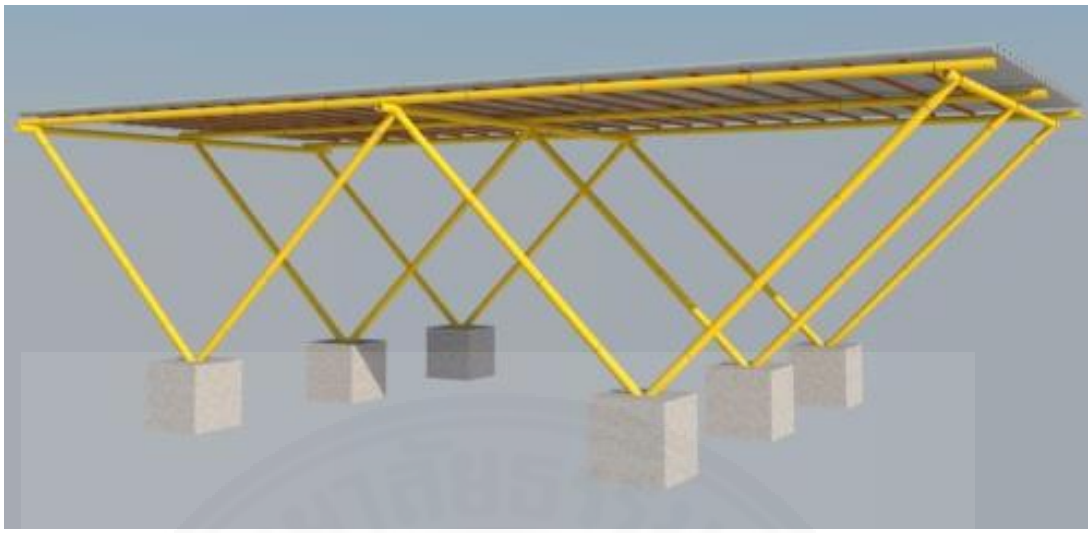
ภาพที่ 4.29 การเพิ่มจำนวนลำไผ่ในแต่ละชิ้นส่วนโครงสร้างของกรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 2

3. กรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 3

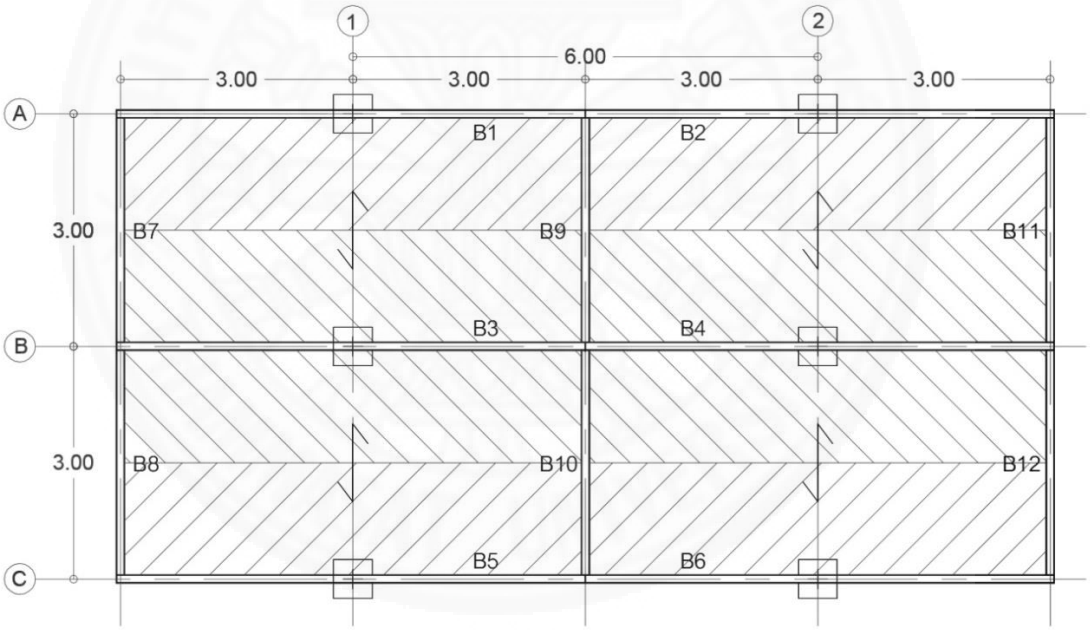
กรอบโครงสร้างที่รูปแบบที่ 3 เป็นโครงสร้างที่ชิ้นส่วนโครงสร้างทำมุมเอียง 90 องศาออกจากกัน และชิ้นส่วนโครงสร้างทั้ง 2 มีความความสูงเท่ากัน ดังภาพที่ 4.26



ภาพที่ 4.30 กรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 3



ภาพที่ 4.31 ภาพรวมของกรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 3



ภาพที่ 4.32 ผังคานโครงสร้างหลังคากรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 3

การคำนวณหาค่าน้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อคาน มีดังนี้

น้ำหนักบรรทุกที่กระทำลงบนคาน B1 B2 B5 และB6 มีการคำนวณดังนี้

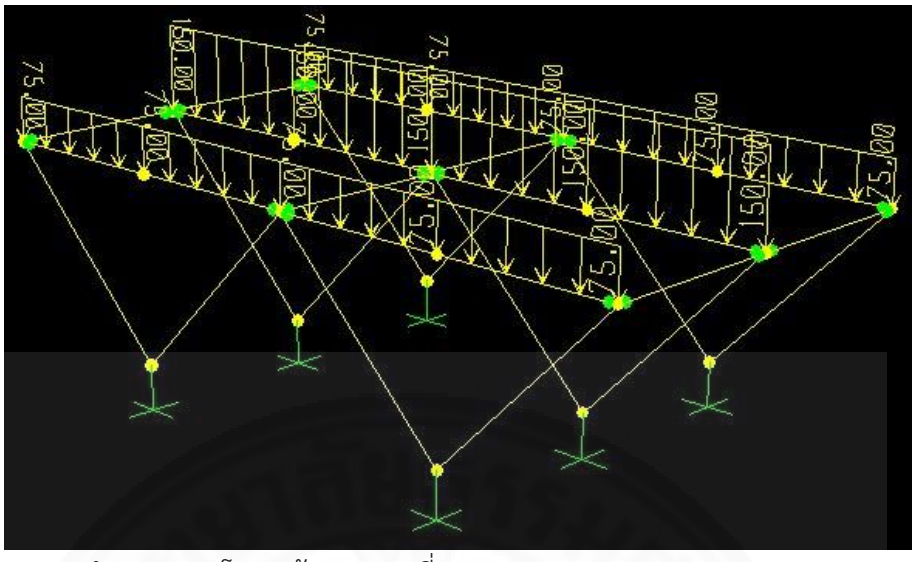
น้ำหนักบรรทุกคงที่		10.00	กก./ตร.ม.
	พื้นที่โครงสร้างหลังคาที่คานรับน้ำหนัก	9.00	ตร.ม.
	มีน้ำหนักที่กระทำลงบนคาน	90.00	กก.
	คานมีความยาว	6.00	เมตร
ดังนี้	น้ำหนักบรรทุกคงที่ที่กระทำลงบนคานเท่ากับ	15.00	กก./ม.

น้ำหนักบรรทุกจร		50.00	กก./ตร.ม.
	พื้นที่โครงสร้างหลังคาที่คานรับน้ำหนัก	9.00	ตร.ม.
	มีน้ำหนักที่กระทำลงบนคาน	450.00	กก.
	คานมีความยาว	6.00	เมตร
ดังนี้	น้ำหนักบรรทุกคงที่ที่กระทำลงบนคานเท่ากับ	75.00	กก./ม.

น้ำหนักบรรทุกที่กระทำลงบนคาน B3 และB4 มีการคำนวณดังนี้

น้ำหนักบรรทุกคงที่		10.00	กก./ตร.ม.
	พื้นที่โครงสร้างหลังคาที่คานรับน้ำหนัก	18.00	ตร.ม.
	มีน้ำหนักที่กระทำลงบนคาน	180.00	กก.
	คานมีความยาว	6.00	เมตร
ดังนี้	น้ำหนักบรรทุกคงที่ที่กระทำลงบนคานเท่ากับ	30.00	กก./ม.

น้ำหนักบรรทุกจร		50.00	กก./ตร.ม.
	พื้นที่โครงสร้างหลังคาที่คานรับน้ำหนัก	18.00	ตร.ม.
	มีน้ำหนักที่กระทำลงบนคาน	900.00	กก.
	คานมีความยาว	6.00	เมตร
ดังนี้	น้ำหนักบรรทุกคงที่ที่กระทำลงบนคานเท่ากับ	150.00	กก./ม.



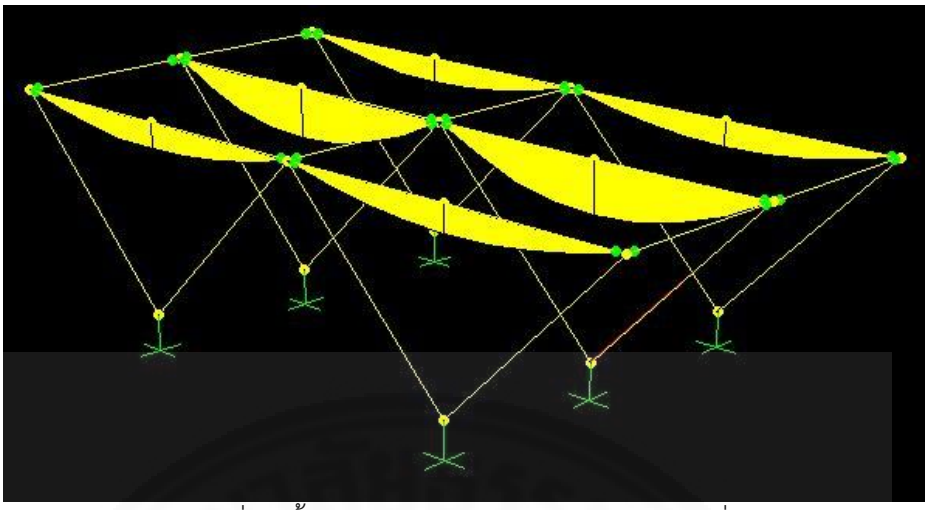
ภาพที่ 4.33 การจำลองกรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 3

จากการคำนวณค่าน้ำหนักบรรทุกที่กระทำลงบนโครงสร้าง นำไปสู่การจำลองโครงสร้างอาคารและการกำหนดน้ำหนักบรรทุกในโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้าง ดังภาพที่ 4.29 เพื่อช่วยในการประเมินหาค่าโมเมนต์ดัดสูงสุดที่เกิดขึ้นในคานทั้งหมด ซึ่งคาน B1 B2 B5 และB6 มีค่าโมเมนต์ดัดสูงสุด 3,971,693 นิวตัน/ตร.มม. ส่วนคาน B3 และB4 มีค่าโมเมนต์ดัดสูงสุด 7,943,387 นิวตัน/ตร.มม. ค่าโมเมนต์สูงสุดที่ได้นำไปประกอบการพิจารณาความเป็นไปได้ในการรับน้ำหนักของคานไม้ใผ่กรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 3 ซึ่งมีผลการพิจารณาดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12

การพิจารณาความเป็นไปได้ในการรับน้ำหนักของคานไม้ไผ่กรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 3

ชิ้นส่วนโครงสร้าง	โมเมนต์ดัดสูงสุด (นิวตัน/มม.)	ค่าเฉลี่ยกำลังต้านทานแรงดัด (นิวตัน/ตร.มม)	หน่วยแรงที่ยอมให้ (นิวตัน/ตร.มม)	หน่วยแรงที่คาดว่าจะเกิดขึ้น (นิวตัน/ตร.มม)	เกณฑ์
คาน B1 B2 B5 B6 ความยาว 6.00 เมตร	3,971,693	127.24	42.41	68.56	ไม่ผ่าน
คาน B3 B4 ความยาว 6.00 เมตร	7,943,387			137.11	ไม่ผ่าน



ภาพที่ 4.34 โมเมนต์ดัดสูงสุดที่เกิดขึ้นในคานไม้ไผ่กรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 3

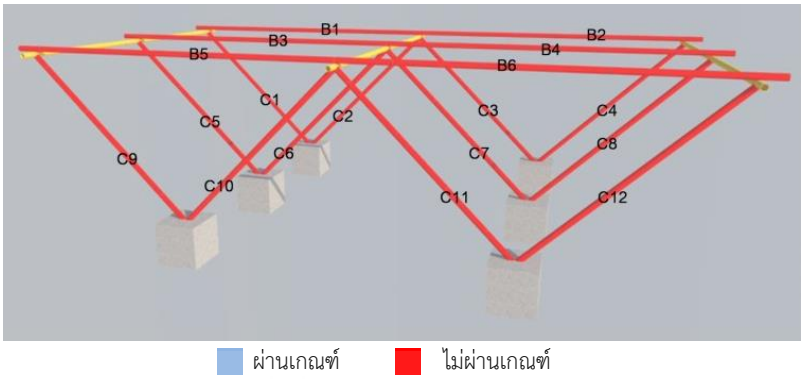
จากประกอบการพิจารณาความเป็นไปได้ในการรับน้ำหนักของคานไม้ไผ่กรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 3 คานทั้งหมดมีหน่วยแรงที่ยอมให้น้อยกว่าหน่วยแรงที่คาดว่าจะเกิดขึ้น ส่งผลให้เสาไม้ไผ่ในกรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 3 ไม่ผ่านเกณฑ์ และในส่วนของการพิจารณาความเป็นไปได้ในการรับน้ำหนักของเสาไม้ไผ่กรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 3 มีผลการพิจารณาดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13

การพิจารณาความเป็นไปได้ในการรับน้ำหนักของเสาไม้ไผ่กรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 3

ชิ้นส่วนโครงสร้าง	แรงในชิ้นส่วนโครงสร้าง (นิวตัน)	ค่าเฉลี่ยกำลังต้านทานแรงอัด (นิวตัน/ตร.มม)	หน่วยแรงที่ยอมให้ (นิวตัน/ตร.มม)	หน่วยแรงที่คาดว่าจะเกิดขึ้น (นิวตัน/ตร.มม)	เกณฑ์
เสาทั้งหมด พื้นที่หน้าตัด 2,827.44 ตร.มม. ความยาว 4.24 เมตร	89,971.39	42.87	14.29	22.50	ไม่ผ่าน

จากการพิจารณาความเป็นไปได้ในการรับน้ำหนักของเสาไม้ไผ่กรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 3 พบว่า เสาทั้งหมดมีหน่วยแรงที่ยอมให้น้อยกว่าหน่วยแรงที่คาดว่าจะเกิดขึ้น ส่งผลให้เสาไม้ไผ่ในกรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 3 ไม่ผ่านเกณฑ์และเสาทั้งหมดไม่สามารถรับน้ำหนักได้จริง



ภาพที่ 4.35 การรับน้ำหนักของชิ้นส่วนโครงสร้างในกรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 3

ในกรณีที่ชิ้นโครงสร้างของกรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 3 ไม่ผ่านเกณฑ์ จึงนำมาพิจารณาอีกครั้งเพื่อหาแนวทางในการแก้ไขโครงสร้างให้ผ่านเกณฑ์กำหนดไว้และเพื่อความแข็งแรงของกรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 3 โดยพิจารณาดังนี้

คาน B1 B2 B5 และB6 มีหน่วยแรงที่คาดว่าจะเกิดขึ้น 68.56 นิวตัน/ตร.มม. และมีหน่วยแรงที่ยอมให้ต่อคานไม้ไผ่ 1 ลำ 42.41 นิวตัน/ตร.มม. โดยหน่วยแรงที่คาดว่าจะเกิดขึ้นมีมากกว่าหน่วยแรงที่ยอมให้ คิดเป็น 1.6 เท่า ดังนั้น คาน B1 B2 B5 และB6 ควรเพิ่มจำนวนไม้ไผ่เป็นคานไม้ไผ่ 2 ลำ โดยคานไม้ไผ่แต่ละลำเป็นอิสระต่อกัน

คาน B3 และB4 มีหน่วยแรงที่คาดว่าจะเกิดขึ้น 137.11 นิวตัน/ตร.มม. และมีหน่วยแรงที่ยอมให้ต่อคานไม้ไผ่ 1 ลำ 42.41 นิวตัน/ตร.มม. โดยหน่วยแรงที่คาดว่าจะเกิดขึ้นมีมากกว่าหน่วยแรงที่ยอมให้ คิดเป็น 3.2 เท่า ดังนั้น คาน B3 และB4 ควรเพิ่มจำนวนไม้ไผ่เป็นคานไม้ไผ่ 4 ลำ โดยคานไม้ไผ่แต่ละลำเป็นอิสระต่อกัน ซึ่งมีรายละเอียด ดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14

การพิจารณาจำนวนลำไผ่ของคานไม้ไผ่ในกรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 3

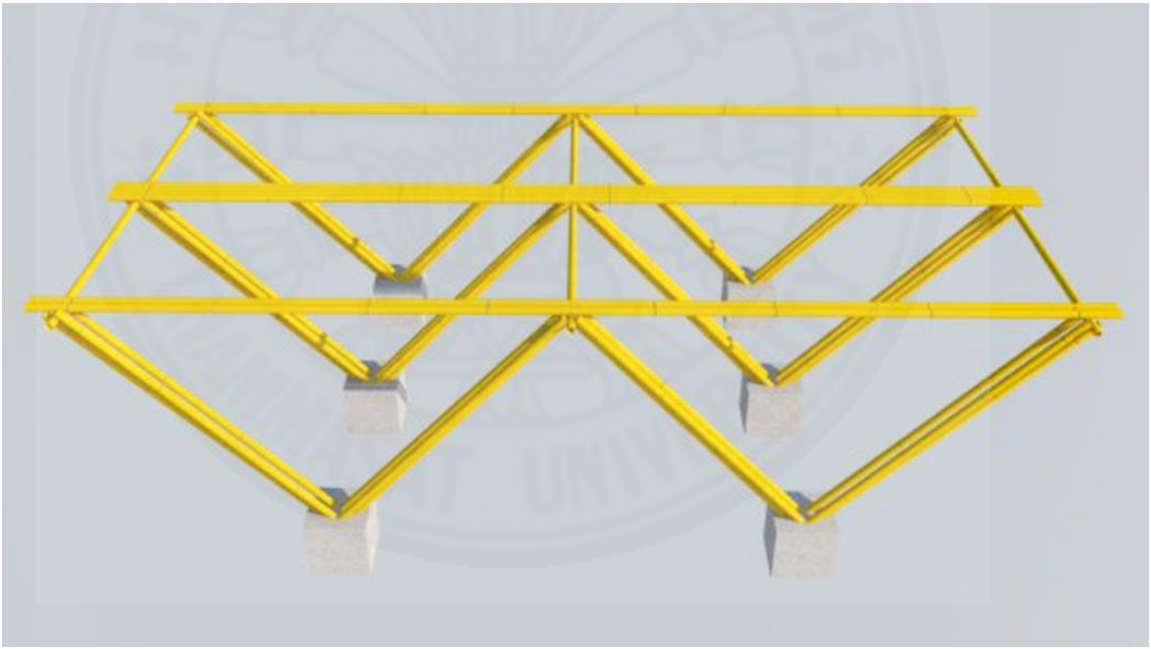
ชิ้นส่วนโครงสร้าง	หน่วยแรงที่ยอมให้ต่อคานไม้ไผ่ 1 ลำ (นิวตัน/ตร.มม)	จำนวนลำไผ่ (ลำ)	หน่วยแรงที่ยอมให้ (นิวตัน/ตร.มม)	หน่วยแรงที่คาดว่าจะเกิดขึ้น (นิวตัน/ตร.มม)	เกณฑ์
คาน B1 B2 B5 B6 ความยาว 6.00 เมตร	42.41	2	84.82	68.56	ผ่าน
คาน B3 B4 ความยาว 6.00 เมตร		4	169.64	137.11	ผ่าน

เสาทั้งหมด มีหน่วยแรงที่คาดว่าจะเกิดขึ้น 22.50 นิวตัน/ตร.มม. และมีหน่วยแรงที่ยอมให้ต่อคานไม้ไผ่ 1 ลำ 14.29 นิวตัน/ตร.มม. โดยหน่วยแรงที่คาดว่าจะเกิดขึ้นมีมากกว่าหน่วยแรงที่ยอมให้ คิดเป็น 1.57 เท่า ดังนั้น เสาทั้งหมด ควรเพิ่มจำนวนไม้ไผ่เป็นคานไม้ไผ่ 2 ลำ โดยคานไม้ไผ่แต่ละลำเป็นอิสระต่อกัน ซึ่งมีรายละเอียด ดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15

การพิจารณาจำนวนลำไผ่ของเสาไม้ไผ่ในกรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 3

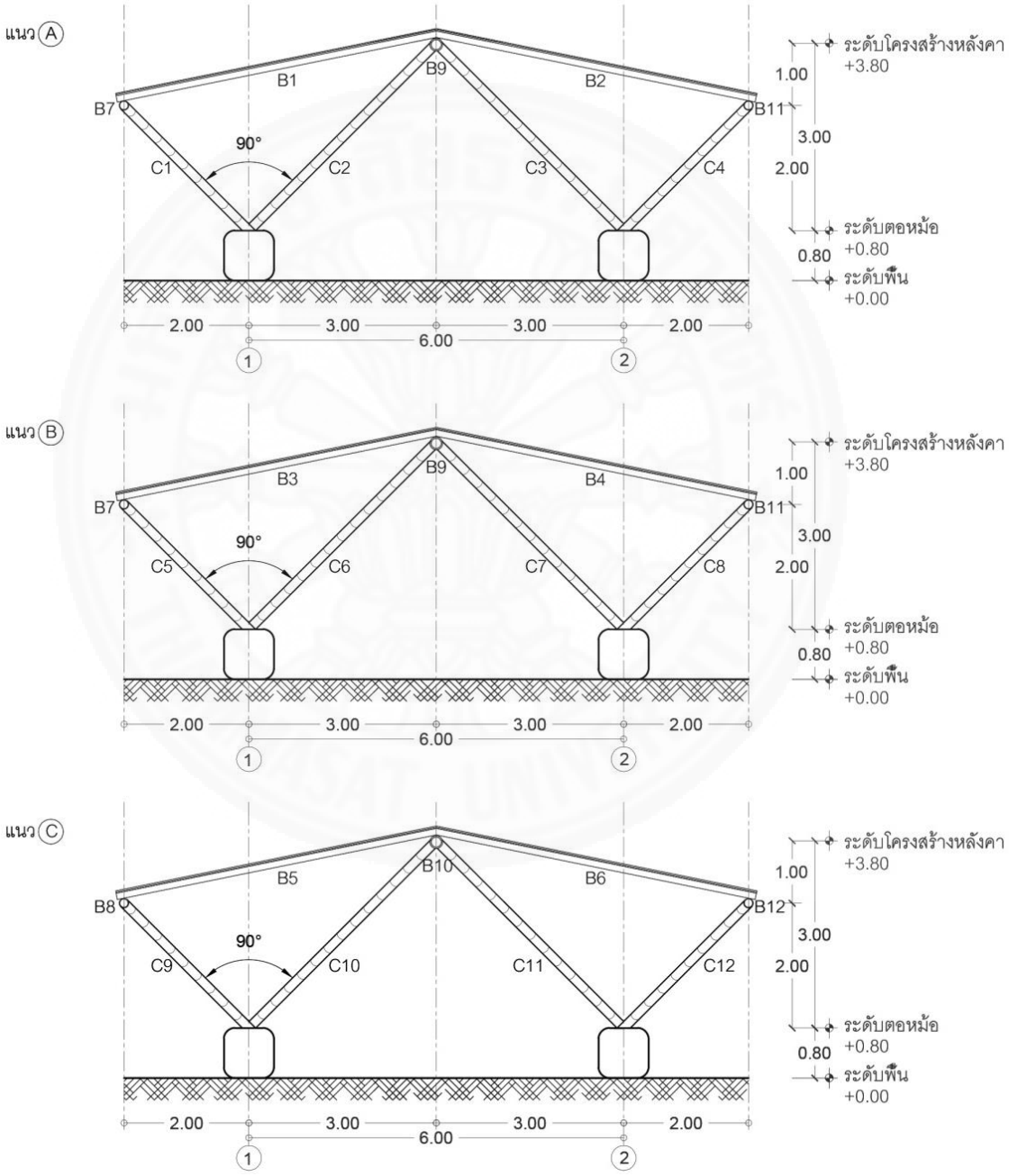
ชิ้นส่วนโครงสร้าง	หน่วยแรงที่ยอมให้ต่อเสาไม้ไผ่ 1 ลำ (นิวตัน/ตร.มม)	จำนวนลำไผ่ (ลำ)	หน่วยแรงที่ยอมให้ (นิวตัน/ตร.มม)	หน่วยแรงที่คาดว่าจะเกิดขึ้น (นิวตัน/ตร.มม)	เกณฑ์
เสาทั้งหมด ความยาว 4.24 เมตร	14.29	2	28.58	22.50	ผ่าน



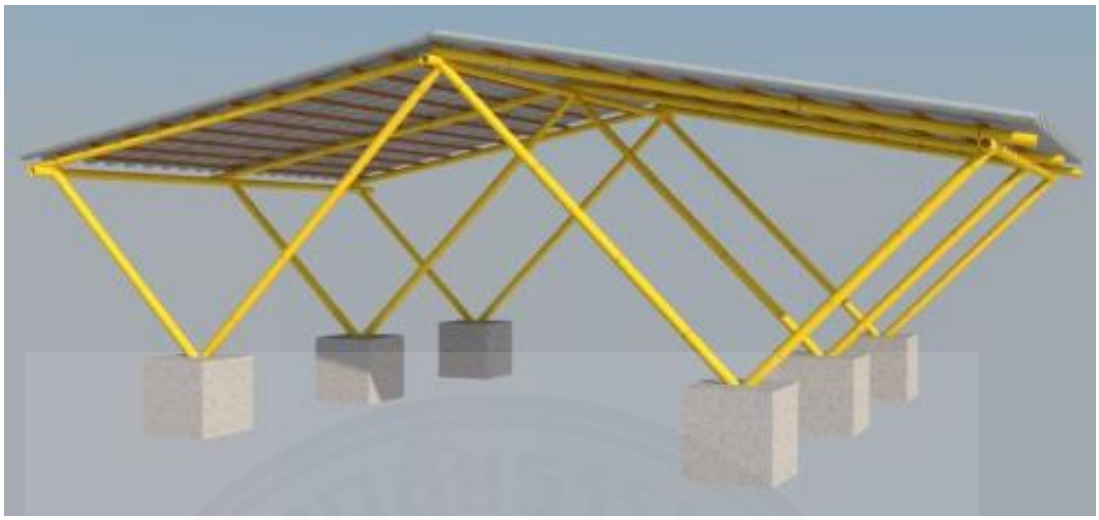
ภาพที่ 4.36 การเพิ่มจำนวนลำไผ่ในแต่ละชิ้นส่วนโครงสร้างของกรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 3

4. กรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 4

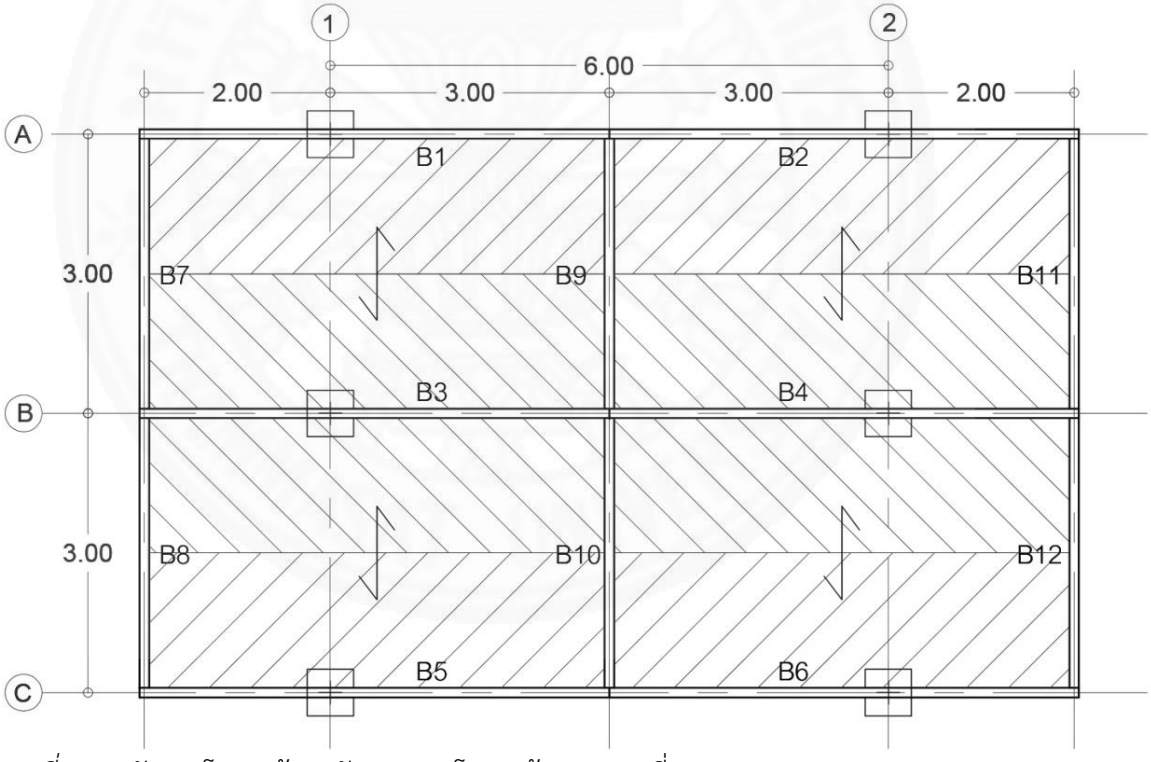
กรอบโครงสร้างที่รูปแบบที่ 4 เป็นโครงสร้างที่ชิ้นส่วนโครงสร้างทำมุมเอียง 90 องศาออกจากกัน และชิ้นส่วนโครงสร้างที่ 1 มีความความสูงเป็น 2/3 เท่าของความสูงชิ้นส่วนโครงสร้างที่ 2 ดังภาพที่ 4.31



ภาพที่ 4.37 กรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 4



ภาพที่ 4.38 ภาพรวมของกรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 4



ภาพที่ 4.39 ผังคานโครงสร้างหลังคากรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 4

การคำนวณหาค่าน้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อคาน มีดังนี้

น้ำหนักบรรทุกที่กระทำลงบนคาน B1 B2 B5 และB6 มีการคำนวณดังนี้

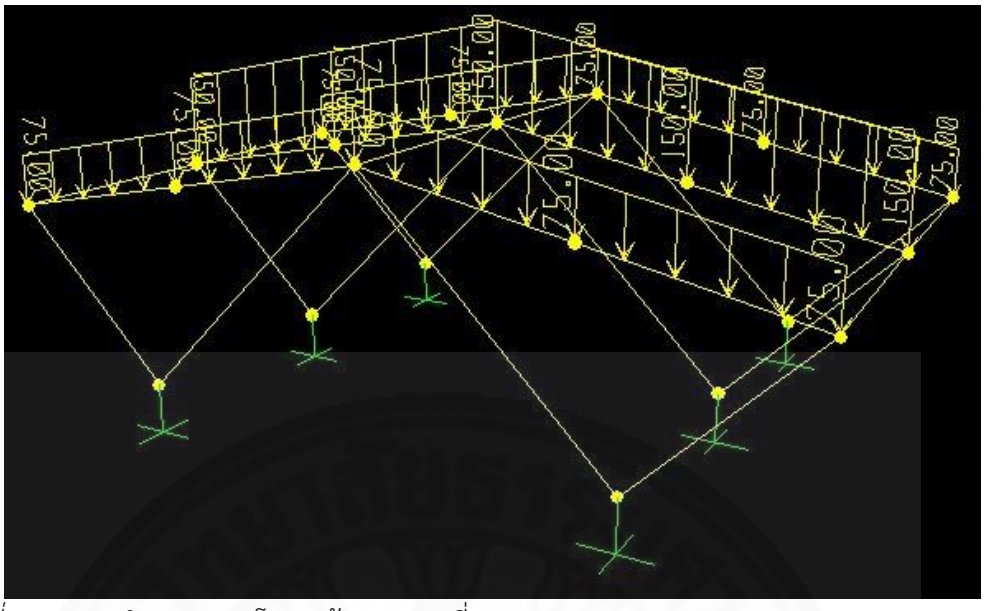
น้ำหนักบรรทุกคงที่		10.00	กก./ตร.ม.
	พื้นที่โครงสร้างหลังคาที่คานรับน้ำหนัก	7.50	ตร.ม.
	มีน้ำหนักที่กระทำลงบนคาน	75.00	กก.
	คานมีความยาว	5.00	เมตร
ดังนี้	น้ำหนักบรรทุกคงที่ที่กระทำลงบนคานเท่ากับ	15.00	กก./ม.

น้ำหนักบรรทุกจร		50.00	กก./ตร.ม.
	พื้นที่โครงสร้างหลังคาที่คานรับน้ำหนัก	7.50	ตร.ม.
	มีน้ำหนักที่กระทำลงบนคาน	375.00	กก.
	คานมีความยาว	5.00	เมตร
ดังนี้	น้ำหนักบรรทุกคงที่ที่กระทำลงบนคานเท่ากับ	75.00	กก./ม.

น้ำหนักบรรทุกที่กระทำลงบนคาน B3 และB4 มีการคำนวณดังนี้

น้ำหนักบรรทุกคงที่		10.00	กก./ตร.ม.
	พื้นที่โครงสร้างหลังคาที่คานรับน้ำหนัก	15.00	ตร.ม.
	มีน้ำหนักที่กระทำลงบนคาน	150.00	กก.
	คานมีความยาว	5.00	เมตร
ดังนี้	น้ำหนักบรรทุกคงที่ที่กระทำลงบนคานเท่ากับ	30.00	กก./ม.

น้ำหนักบรรทุกจร		50.00	กก./ตร.ม.
	พื้นที่โครงสร้างหลังคาที่คานรับน้ำหนัก	15.00	ตร.ม.
	มีน้ำหนักที่กระทำลงบนคาน	750.00	กก.
	คานมีความยาว	5.00	เมตร
ดังนี้	น้ำหนักบรรทุกคงที่ที่กระทำลงบนคานเท่ากับ	150.00	กก./ม.



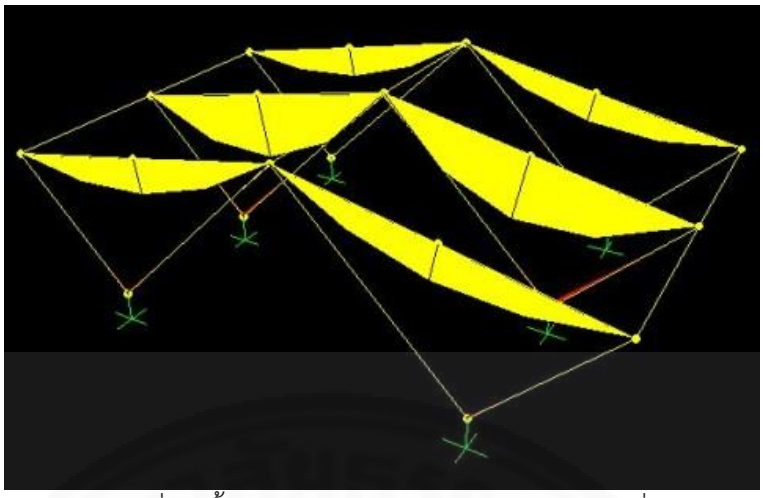
ภาพที่ 4.40 การจำลองกรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 4

จากการคำนวณค่าน้ำหนักบรรทุกที่กระทำลงบนโครงสร้าง นำไปสู่การจำลองโครงสร้างอาคารและการกำหนดน้ำหนักบรรทุกในโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้าง ดังภาพที่ 4.34 เพื่อช่วยในการประเมินหาค่าโมเมนต์ดัดสูงสุดที่เกิดขึ้นในคานทั้งหมด ซึ่งคาน B1 B2 B5 และB6 มีค่าโมเมนต์ดัดสูงสุด 2,812,741.90 นิวตัน/ตร.มม. ส่วนคาน B3 และB4 มีค่าโมเมนต์ดัดสูงสุด 5,625,484 นิวตัน/ตร.มม. ค่าโมเมนต์สูงสุดที่ได้นำไปประกอบการพิจารณาความเป็นไปได้ในการรับน้ำหนักของคานไม้ไผ่กรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 4 ซึ่งมีผลการพิจารณาดังตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16

การพิจารณาความเป็นไปได้ในการรับน้ำหนักของคานไม้ไผ่กรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 4

ชิ้นส่วนโครงสร้าง	โมเมนต์ดัดสูงสุด (นิวตัน/มม.)	ค่าเฉลี่ยกำลังต้านทานแรงดัด (นิวตัน/ตร.มม)	หน่วยแรงที่ยอมให้ (นิวตัน/ตร.มม)	หน่วยแรงที่คาดว่าจะเกิดขึ้น (นิวตัน/ตร.มม)	เกณฑ์
คาน B1 B2 B5 B6 ความยาว 5.10 เมตร	2,812,741.90	127.24	42.41	48.55	ไม่ผ่าน
คาน B3 B4 ความยาว 5.10 เมตร	5,625,484			97.10	ไม่ผ่าน



ภาพที่ 4.41 โมเมนต์ดัดสูงสุดที่เกิดขึ้นในคานไม้ไผ่กรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 4

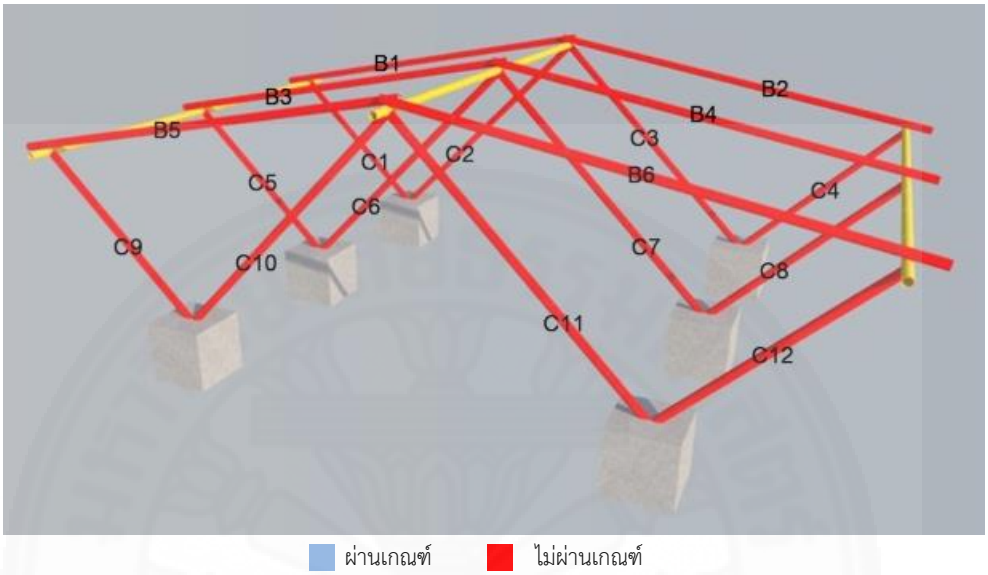
จากประกอบการพิจารณาความเป็นไปได้ในการรับน้ำหนักของคานไม้ไผ่กรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 4 คานทั้งหมดมีหน่วยแรงที่ยอมให้น้อยกว่าหน่วยแรงที่คาดว่าจะเกิดขึ้น ส่งผลให้เสาไม้ไผ่ในกรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 4 ไม่ผ่านเกณฑ์ กล่าวคือ คานทั้งหมดไม่สามารถรับน้ำหนักได้จริงและอาจจะทำให้คานนั้นพังทลายลงมาได้ ในส่วนของการพิจารณาความเป็นไปได้ในการรับน้ำหนักของเสาไม้ไผ่กรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 4 มีผลการพิจารณาดังตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17

การพิจารณาความเป็นไปได้ในการรับน้ำหนักของคานไม้ไผ่กรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 4

ชิ้นส่วนโครงสร้าง	แรงในชิ้นส่วนโครงสร้าง (นิวตัน)	ค่าเฉลี่ยกำลังต้านทานแรงอัด (นิวตัน/ตร.มม)	หน่วยแรงที่ยอมให้ (นิวตัน/ตร.มม)	หน่วยแรงที่คาดว่าจะเกิดขึ้น (นิวตัน/ตร.มม)	เกณฑ์
เสา C1 C4 C5 C8 C9 C12 พื้นที่หน้าตัด 2,827.44 ตร.มม. ความยาว 2.83 เมตร	201,959.03	42.87	14.29	50.55	ไม่ผ่าน
เสา C2 C3 C6 C7 C10 C11 พื้นที่หน้าตัด 2,827.44 ตร.มม. ความยาว 4.24 เมตร	89,971.39			22.50	ไม่ผ่าน

จากการพิจารณาความเป็นไปได้ในการรับน้ำหนักของเสาไม้ไผ่กรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 4 พบว่า เสาทั้งหมดมีหน่วยแรงที่ยอมให้น้อยกว่าหน่วยแรงที่คาดว่าจะเกิดขึ้น ส่งผลให้เสาไม้ไผ่ในกรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 4 ไม่ผ่านเกณฑ์และเสาทั้งหมดไม่สามารถรับน้ำหนักได้จริง



ภาพที่ 4.42 การรับน้ำหนักของชิ้นส่วนโครงสร้างในกรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 4

ในกรณีที่ชิ้นโครงสร้างของกรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 3 ไม่ผ่านเกณฑ์ จึงนำมาพิจารณาอีกครั้งเพื่อหาแนวทางในการแก้ไขโครงสร้างให้ผ่านเกณฑ์กำหนดไว้และเพื่อความแข็งแรงของกรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 3 โดยพิจารณาดังนี้

คาน B1 B2 B5 และB6 มีหน่วยแรงที่คาดว่าจะเกิดขึ้น 48.55 นิวตัน/ตร.มม. และมีหน่วยแรงที่ยอมให้ต่อคานไม้ไผ่ 1 ลำ 42.41 นิวตัน/ตร.มม. โดยหน่วยแรงที่คาดว่าจะเกิดขึ้นมีมากกว่าหน่วยแรงที่ยอมให้ คิดเป็น 1.1 เท่า ดังนั้น คาน B1 B2 B5 และB6 ควรเพิ่มจำนวนไม้ไผ่เป็นคานไม้ไผ่ 2 ลำ โดยคานไม้ไผ่แต่ละลำเป็นอิสระต่อกัน

คาน B3 และB4 มีหน่วยแรงที่คาดว่าจะเกิดขึ้น 97.10 นิวตัน/ตร.มม. และมีหน่วยแรงที่ยอมให้ต่อคานไม้ไผ่ 1 ลำ 42.41 นิวตัน/ตร.มม. โดยหน่วยแรงที่คาดว่าจะเกิดขึ้นมีมากกว่าหน่วยแรงที่ยอมให้ คิดเป็น 2.3 เท่า ดังนั้น คาน B3 และB4 ควรเพิ่มจำนวนไม้ไผ่เป็นคานไม้ไผ่ 3 ลำ โดยคานไม้ไผ่แต่ละลำเป็นอิสระต่อกัน ซึ่งมีรายละเอียด ดังตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.18

การพิจารณาจำนวนลำไผ่ของคานไม้ไผ่ในกรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 4

ชิ้นส่วนโครงสร้าง	หน่วยแรงที่ยอมให้ต่อคานไม้ไผ่ 1 ลำ (นิวตัน/ตร.มม)	จำนวนลำไผ่ (ลำ)	หน่วยแรงที่ยอมให้ (นิวตัน/ตร.มม)	หน่วยแรงที่คาดว่าจะเกิดขึ้น (นิวตัน/ตร.มม)	เกณฑ์
คาน B1 B2 B5 B6 ความยาว 5.10 เมตร	42.41	2	84.82	48.55	ผ่าน
คาน B3 B4 ความยาว 5.10 เมตร		3	127.23	97.10	ผ่าน

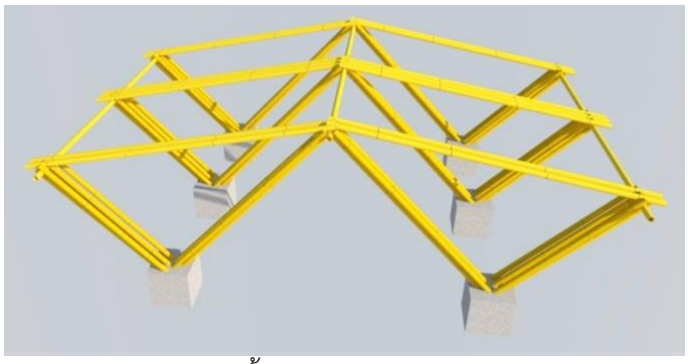
เสา C1 C4 C5 C8 C9 และ C12 มีหน่วยแรงที่คาดว่าจะเกิดขึ้น 50.55 นิวตัน/ตร.มม. และมีหน่วยแรงที่ยอมให้ต่อคานไม้ไผ่ 1 ลำ 14.29 นิวตัน/ตร.มม. โดยหน่วยแรงที่คาดว่าจะเกิดขึ้นมีมากกว่าหน่วยแรงที่ยอมให้ คิดเป็น 3.53 เท่า ดังนั้น เสา C1 C4 C5 C8 C9 และ C12 ควรเพิ่มจำนวนไม้ไผ่เป็นคานไม้ไผ่ 4 ลำ โดยเสาไม้ไผ่แต่ละลำเป็นอิสระต่อกัน

เสา C2 C3 C6 C7 C10 และ C11 มีหน่วยแรงที่คาดว่าจะเกิดขึ้น 22.50 นิวตัน/ตร.มม. และมีหน่วยแรงที่ยอมให้ต่อคานไม้ไผ่ 1 ลำ 14.29 นิวตัน/ตร.มม. โดยหน่วยแรงที่คาดว่าจะเกิดขึ้นมีมากกว่าหน่วยแรงที่ยอมให้ คิดเป็น 1.57 เท่า ดังนั้น C2 C3 C6 C7 C10 และ C11 ควรเพิ่มจำนวนไม้ไผ่เป็นคานไม้ไผ่ 2 ลำ โดยเสาไม้ไผ่แต่ละลำเป็นอิสระต่อกัน ซึ่งมีรายละเอียด ดังตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.19

การพิจารณาจำนวนลำไผ่ของเสาไม้ไผ่ในกรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 4

ชิ้นส่วนโครงสร้าง	หน่วยแรงที่ยอมให้ต่อเสาไม้ไผ่ 1 ลำ (นิวตัน/ตร.มม)	จำนวนลำไผ่ (ลำ)	หน่วยแรงที่ยอมให้ (นิวตัน/ตร.มม)	หน่วยแรงที่คาดว่าจะเกิดขึ้น (นิวตัน/ตร.มม)	เกณฑ์
เสา C1 C4 C5 C8 C9 และC12 ความยาว 2.83 เมตร	14.29	4	57.16	50.55	ผ่าน
เสา C2 C3 C6 C7 C10 และ C11 ความยาว 4.24 เมตร		2	28.58	22.50	ผ่าน



ภาพที่ 4.43 การเพิ่มจำนวนลำไผ่ในแต่ละชิ้นส่วนโครงสร้างของกรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 3

จากกาการจำลองกรอบโครงสร้างทั้ง4รูปแบบพบว่า ชิ้นส่วนโครงสร้างของกรอบโครงสร้างในแต่ละรูปแบบมีความสามารถในการรับน้ำหนักที่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 4.20

ตารางที่ 4.20

ความเป็นไปได้ในการรับน้ำหนักของชิ้นส่วนโครงสร้างในกรอบโครงสร้างทั้ง 4 รูปแบบ

รูปแบบกรอบโครงสร้าง		ชิ้นส่วนโครงสร้าง		เกณฑ์
กรอบโครงสร้าง รูปแบบที่ 1	- ทำมุมเอียง 60 องศา - ชิ้นส่วนโครงสร้างทั้ง 2 มีความความสูงเท่ากัน	คาน	B1 B2 B5 B6	ผ่าน
			B3 B4	ไม่ผ่าน
		เสา	ทั้งหมด	ไม่ผ่าน
กรอบโครงสร้าง รูปแบบที่ 2	- มุมเอียง 60 องศา - ชิ้นส่วนโครงสร้างที่ 1 มีความความสูงเป็น 2/3 เท่าของความสูงชิ้นส่วนโครงสร้างที่ 2	คาน	B1 B2 B5 B6	ผ่าน
			B3 B4	ผ่าน
		เสา	C1 C4 C5 C8 C9 C12	ไม่ผ่าน
			C2 C3 C6 C7 C10 C11	ไม่ผ่าน
กรอบโครงสร้าง รูปแบบที่ 3	- ทำมุมเอียง 90 องศา - ชิ้นส่วนโครงสร้างทั้ง 2 มีความความสูงเท่ากัน	คาน	B1 B2 B5 B6	ไม่ผ่าน
			B3 B4	ไม่ผ่าน
		เสา	ทั้งหมด	ไม่ผ่าน
กรอบโครงสร้าง รูปแบบที่ 4	- มุมเอียง 90 องศา - ชิ้นส่วนโครงสร้างที่ 1 มีความความสูงเป็น 2/3 เท่าของความสูงชิ้นส่วนโครงสร้างที่ 2	คาน	B1 B2 B5 B6	ไม่ผ่าน
			B3 B4	ไม่ผ่าน
		เสา	C1 C4 C5 C8 C9 C12	ไม่ผ่าน
			C2 C3 C6 C7 C10 C11	ไม่ผ่าน

จากการพิจารณาความเป็นไปได้ในการรับน้ำหนักของชิ้นส่วนโครงสร้างในกรอบโครงสร้างทั้ง 4 รูปแบบ พบว่า ชิ้นส่วนโครงสร้างส่วนใหญ่ไม่ผ่านเกณฑ์ กล่าวคือ ชิ้นส่วนโครงสร้างส่วนใหญ่ไม่สามารถรับน้ำหนักได้จริง ทั้งนี้ยังคงมีชิ้นส่วนโครงสร้างที่ผ่านเกณฑ์คือชิ้นส่วนโครงสร้างคานของกรอบโครงสร้างที่ชิ้นส่วนโครงสร้างทำมุมเอียง 60 องศาออกจากกัน ได้แก่ กรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 1 และ 2 โดยกรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 2 ชิ้นส่วนโครงสร้างคานผ่านเกณฑ์การพิจารณาทั้งหมด ในส่วนของกรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 1 ชิ้นส่วนโครงสร้างคาน B1 B2 B5 และ B6 ผ่านเกณฑ์การพิจารณาแต่คาน B3 และ B4 ไม่ผ่านเกณฑ์การพิจารณา เพราะคาน B3 และ B4 เป็นคานที่อยู่ตรงกลางของโครงสร้างทั้งหมด จึงรับน้ำหนักมากกว่าคาน B1 B2 B5 และ B6 เป็น 2 เท่า อีกทั้งระยะช่วงพาดของคานในกรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 1 มีระยะช่วงพาดที่ยาวกว่ากรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 2 ระยะช่วงพาดที่มีมากกว่าส่งผลต่อโมเมนต์ดัดสูงสุดของคานในกรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 1 มีค่าสูงตามไปด้วย และส่งผลให้คานในกรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 1 มีหน่วยแรงที่คาดว่าจะเกิดขึ้นมากกว่าคานในกรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 2 ทำให้คานในกรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 1 ผ่านเกณฑ์การพิจารณาน้อยกว่าคานในกรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 1 จากที่กล่าวมาข้างต้นนี้สามารถสรุปได้ว่า ระยะช่วงพาดของคานมีผลต่อการรับน้ำหนักที่กระทำลงบนคาน และในกรณีที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ปัจจัยที่ส่งผลต่อระยะช่วงพาดของคานคือสัดส่วนความสูงของชิ้นส่วนโครงสร้างเสาในกรอบโครงสร้าง กล่าวคือ ระยะช่วงพาดของคานที่ต่างกันเกิดจากสัดส่วนความสูงของชิ้นส่วนโครงสร้างเสา กรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 1 มีสัดส่วนความสูงของชิ้นส่วนโครงสร้างเสาเท่ากัน แต่กรอบโครงสร้างรูปแบบที่ 2 มีสัดส่วนความสูงของชิ้นส่วนโครงสร้างเสาที่ 1 มีความสูง 2/3 ของชิ้นส่วนโครงสร้างเสาที่ 2 ความสูงที่ต่างกันของชิ้นส่วนโครงสร้างเสาส่งผลต่อความลาดเอียงและระยะช่วงพาดของคาน

จากการพิจารณาความเป็นไปได้ในการรับน้ำหนักของเสาในกรอบโครงสร้างทั้ง 4 รูปแบบ พบว่า ไม่มีกรอบโครงสร้างรูปแบบใดที่ชิ้นส่วนโครงสร้างเสาสามารถผ่านเกณฑ์การพิจารณาและสามารถรับน้ำหนักได้จริง ซึ่งกรณีนี้จึงนำไปสู่การพิจารณาโครงสร้างใหม่อีกครั้งเพื่อหาแนวทางในการแก้ไขโครงสร้างให้ผ่านเกณฑ์กำหนดไว้และเพื่อความแข็งแรงของกรอบโครงสร้าง แนวทางการแก้ไขการรับน้ำหนักของเสาในกรอบโครงสร้างในงานวิจัยคือการเพิ่มจำนวนเสาไม้ไผ่ในแต่ละตำแหน่งเสา โดยเสาไม้ไผ่แต่ลำเสาเป็นอิสระต่อกัน ไม่ได้รับแรงหรือน้ำหนักที่กระทำร่วมกัน ซึ่งผลจากการพิจารณาจำนวนลำไผ่ของชิ้นส่วนโครงสร้างในกรอบโครงสร้างทั้ง 4 รูปแบบ มีรายละเอียดดังตารางที่ 4.21

ตารางที่ 4.21

จำนวนลำไผ่ของชิ้นส่วนโครงสร้างในกรอบโครงสร้างทั้ง 4 รูปแบบ

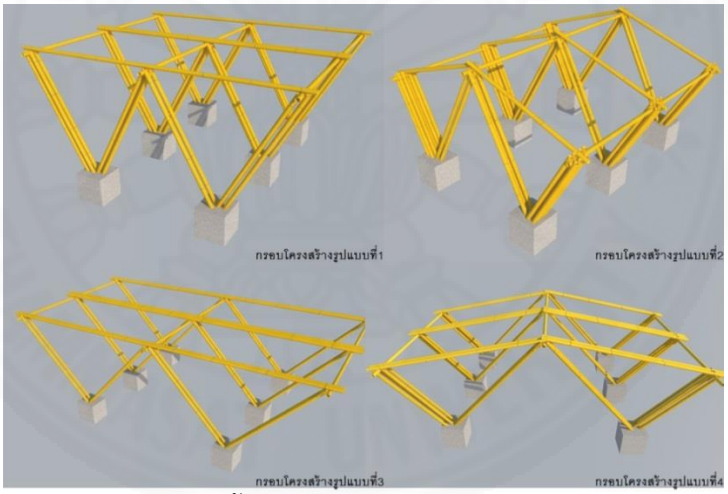
รูปแบบกรอบโครงสร้าง		ชิ้นส่วนโครงสร้าง		จำนวนลำไผ่
กรอบโครงสร้าง รูปแบบที่ 1	- ทำมุมเอียง 60 องศา - ชิ้นส่วนโครงสร้างทั้ง 2 มีความความสูงเท่ากัน	คาน	B1 B2 B5 B6	1
			B3 B4	2
		เสา	ทั้งหมด	3
กรอบโครงสร้าง รูปแบบที่ 2	- มุมเอียง 60 องศา - ชิ้นส่วนโครงสร้างที่ 1 มีความความสูงเป็น 2/3 เท่าของความสูงชิ้นส่วนโครงสร้างที่ 2	คาน	B1 B2 B5 B6	1
			B3 B4	1
		เสา	C1 C4 C5 C8 C9 C12	7
			C2 C3 C6 C7 C10 C11	3
กรอบโครงสร้าง รูปแบบที่ 3	- ทำมุมเอียง 90 องศา - ชิ้นส่วนโครงสร้างทั้ง 2 มีความความสูงเท่ากัน	คาน	B1 B2 B5 B6	2
			B3 B4	4
		เสา	ทั้งหมด	2
กรอบโครงสร้าง รูปแบบที่ 4	- มุมเอียง 90 องศา - ชิ้นส่วนโครงสร้างที่ 1 มีความความสูงเป็น 2/3 เท่าของความสูงชิ้นส่วนโครงสร้างที่ 2	คาน	B1 B2 B5 B6	2
			B3 B4	3
		เสา	C1 C4 C5 C8 C9 C12	4
			C2 C3 C6 C7 C10 C11	2

จากการเพิ่มจำนวนลำไผ่ในชิ้นส่วนโครงสร้างเพื่อให้สามารถรับหน่วยแรงที่คาดว่าจะเกิดขึ้น เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของชิ้นส่วนโครงสร้างกับจำนวนลำไผ่ที่ต้องใช้ในแต่ละชิ้นส่วนโครงสร้าง สามารถสรุปความสัมพันธ์นี้ได้ตามตารางที่ 4.22

ตารางที่ 4.22

ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของชิ้นส่วนโครงสร้างกับจำนวนลำไผ่ที่ต้องใช้ในแต่ละชิ้นส่วนโครงสร้าง

ชิ้นส่วนโครงสร้าง	ความยาวของชิ้นส่วนโครงสร้าง	จำนวนลำไผ่
คาน	3.50 – 5.00 ม.	2
	5.01 – 6.00 ม.	2 - 3
	มากกว่า 6.00 ม.	2 - 4
เสา	2.30 – 2.80 ม.	7
	2.81 – 3.40 ม.	4
	3.41 – 4.20 ม.	3
	มากกว่า 4.20 ม.	2



ภาพที่ 4.44 ตัวอย่างการเพิ่มลำไผ่ของชิ้นส่วนโครงสร้าง

จากภาพที่ 4.44 เป็นภาพตัวอย่างการเพิ่มจำนวนลำไผ่ของชิ้นส่วนโครงสร้าง โดยเพิ่มตามความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของชิ้นส่วนโครงสร้างกับจำนวนลำไผ่ที่ต้องใช้ในแต่ละชิ้นส่วนโครงสร้าง เช่น รูปภาพกรอบโครงสร้างที่ 1 เสาของกรอบโครงสร้างที่ 1 มีความยาว 3.46 เมตร จึงต้องเพิ่มจำนวนลำไผ่เป็น 3 ลำ เป็นต้น

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะงานวิจัย เรื่องการศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของไผ่ตง เพื่อสร้างค่ามาตรฐานกลางของวัสดุและการประยุกต์ใช้ในงานโครงสร้างสำหรับอาคารสาธารณะ โดยศึกษาลักษณะทางกายภาพ คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไผ่ตงจาก 4 ภูมิภาคคือ ภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคตะวันออก และภาคตะวันตก เพื่อหาค่าเฉลี่ยของคุณสมบัติต่างๆ และกำหนดเป็นค่ามาตรฐานกลางของไผ่ตงที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการออกแบบโครงสร้างไม้ไผ่ ซึ่งสามารถสรุปผลที่ได้จากการทดสอบและการศึกษาดังนี้ คือ

5.1 ข้อสรุปผลจากการวิจัย

5.1.1 สรุปผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพของไผ่ตง

จากการศึกษาลักษณะทางกายภาพของไผ่ตงทั้ง 4 ภูมิภาค คือ ไผ่ตงจากจังหวัดปราจีนบุรี ภาคตะวันออก ไผ่ตงจากจังหวัดอุบลราชธานี ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ไผ่ตงจากจังหวัดเชียงใหม่ ภาคเหนือ และไผ่ตงจากจังหวัดกาญจนบุรี ภาคตะวันตก ลักษณะทางกายภาพของไผ่ตงในแต่ละภูมิภาคมีความแตกต่างกันในด้านความหน้าของเนื้อไม้ เส้นผ่านศูนย์กลาง และพื้นที่หน้าตัดของลำไผ่ ทั้งนี้เนื่องจากความแตกต่างของสภาพภูมิประเทศและภูมิอากาศของพื้นที่ที่ไม้ไผ่เจริญเติบโต โดยไผ่ตงจากไผ่ตงจากจังหวัดอุบลราชธานี ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีความหนาเนื้อไม้สูงสุด รองลงมาคือไผ่ตงจากจังหวัดกาญจนบุรี ภาคตะวันตก ด้านความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางและพื้นที่หน้าตัดของลำไผ่ พบว่า ไผ่ตงจากจังหวัดกาญจนบุรี ภาคตะวันตก มีเส้นผ่านศูนย์กลางและพื้นที่หน้าตัดของลำไผ่สูงที่สุด ไผ่ตงที่มีลักษณะทางกายภาพน้อยที่สุดคือ ไผ่ตงจากจังหวัดปราจีนบุรี ภาคตะวันออก ซึ่งค่าเฉลี่ยลักษณะทางภาพของไผ่ตงทั้งหมดที่ทำการทดสอบ สามารถสรุปได้ดังนี้ ค่าเฉลี่ยความหนาเนื้อไม้เท่ากับ 14.18 มิลลิเมตร ค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 116.48 มิลลิเมตร และค่าเฉลี่ยพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ 4,548.11 ตารางมิลลิเมตร

5.1.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไผ่ตง

จากการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไผ่ตงทั้ง 4 ภูมิภาค สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1

สรุปค่าเฉลี่ยคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไผ่ตงในงานวิจัย

หัวข้อ		ไผ่ตงที่ทดสอบในงานวิจัย				ค่าเฉลี่ยรวม
		ภาคตะวันออก	ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	ภาคเหนือ	ภาคตะวันตก	
คุณสมบัติทางกายภาพ	ค่าเฉลี่ยความชื้น (%)	20.33	12.42	12.52	16.84	15.33
	ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นเนื้อไม้ (กก./ลบ.ม.)	667.30	545.80	740.31	1,088.21	760.41
	ค่าเฉลี่ยการหดตัว (%)					
	ตามยาว	-	-	-	-	-
	ความหนา	0.19	0.083	0.17	0.36	0.20
คุณสมบัติเชิงกล	ค่าเฉลี่ยการต้านทานแรงอัดขนานเสี้ยน (นิวตัน/ตร.มม., MPa)	41.52	51.24	39.64	39.09	42.87
	ค่าเฉลี่ยการต้านทานแรงดึง (นิวตัน/ตร.มม., MPa)	145.84	97.75	155.12	168.28	141.84
	ค่าเฉลี่ยการต้านทานแรงเฉือนขนานเสี้ยน (นิวตัน/ตร.มม., MPa)					
	มีข้อ	8.79	9.01	8.11	10.36	9.67
	ไม่มีข้อ	6.02	7.26	6.68	6.06	6.51
	ค่าเฉลี่ยการต้านทานแรงดัด (นิวตัน/ตร.มม., MPa)	122.24	126.72	130.21	129.8	127.24
	ค่าเฉลี่ยโมดูลัสของการยืดหยุ่น (นิวตัน/ตร.มม., MPa)	22,707.81	24,823.79	31,603.57	31,868.38	27,750.89

จากการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไผ่ตงจากทั้ง 4 ภูมิภาค พบว่าไผ่ตงจากจังหวัดกาญจนบุรี ภาคตะวันตก มีค่าเฉลี่ยคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลที่สูงกว่าไผ่ตงจากภูมิภาคอื่น ๆ แต่ในด้านการต้านทานแรงอัดขนานเสี้ยนไผ่ตงจากจังหวัดกาญจนบุรี ภาคตะวันตกกลับมีค่าเฉลี่ยการต้านแรงอัดขนานเสี้ยนต่ำกว่าไผ่ตงจากภูมิภาคอื่น

โดยภาพรวมแล้วไผ่ตงจากจังหวัดกาญจนบุรี ภาคตะวันตก เหมาะกับการนำมาใช้เป็นวัสดุโรงสร้างในงานสถาปัตยกรรมมากที่สุด เนื่องจากมีความแข็งแรงและความยืดหยุ่นมากกว่าไผ่ตงจากภูมิภาคอื่น เว้นแต่เรื่องการต้านทานแรงอัดที่มีความสามารถการต้านทานแรงอัดได้น้อย

ทั้งนี้คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไผ่ตงจากจังหวัดอุบลราชธานี ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีค่าเฉลี่ยคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลที่ต่ำกว่าไผ่ตงจากภูมิภาคอื่น ๆ แต่ในด้านการต้านทานแรงอัดขนานเสี้ยนไผ่ตงจากจังหวัดอุบลราชธานี ภาคตะวันออกเฉียงเหนือกลับมีค่าเฉลี่ยการต้านแรงอัดขนานเสี้ยนสูงกว่าไผ่ตงจากภูมิภาคอื่น ๆ เมื่อเปรียบเทียบผลการการทดสอบพบว่า ไผ่ตงจากจังหวัดกาญจนบุรี ภาคตะวันตก มีค่าความหนาแน่นเนื้อไม้สูงที่สุดแต่มีการต้านทานแรงอัดขนานเสี้ยนต่ำที่สุด และไผ่ตงจากจังหวัดอุบลราชธานี ภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่มีค่าความหนาแน่นเนื้อไม้ต่ำที่สุดกลับมีการต้านทานแรงอัดขนานเสี้ยนสูงที่สุด ซึ่งจากการศึกษาในงานวิจัยครั้งนี้สามารถสรุปความสัมพันธ์ของค่าความหนาแน่นเนื้อไม้กับการต้านทานแรงอัดขนานเสี้ยนได้ว่าค่าความหนาแน่นเนื้อไม้มีความสัมพันธ์แบบผกผันกับการต้านทานแรงอัดขนานเสี้ยน

นอกจากนี้ยังพบว่า ระยะเวลาในการนำไม้ไผ่ออกมาผึ่งแดดหลังจากการถนอมไม้ไผ่ด้วยระบบอัดน้ำยาสุญญากาศมีผลต่อค่าความชื้นของไม้ไผ่ เนื่องจากการผึ่งแดดทำให้ปริมาณน้ำยาที่ถูกอัดเข้าไปในเนื้อไม้ลดลง ส่งผลต่อค่าความชื้นที่ลดลงตามไปด้วย ดังนั้นไม้ไผ่ที่ได้รับการผึ่งแดดเป็นระยะเวลานานจะมีค่าความชื้นที่น้อยลงเรื่อย ๆ และจากการหดตัวของไผ่ตงในงานวิจัยนี้พบว่าไม่มีการหดตัวความความยาวของลำไผ่ และมีการหดตัวตามความหนาเพียงบางจุดในชิ้นไผ่ที่ทดสอบ ถือว่ามีการหดตัวน้อย ทั้งนี้เป็นเพราะไผ่ตงที่นำมาทดสอบนั้นได้รับการถนอมไม้ไผ่มาก่อนแล้ว ซึ่งใช้ความร้อนในการถนอมไม้ไผ่ ไผ่ตงที่ทดสอบจึงมีการหดตัวตั้งแต่กระบวนการถนอมไม้ไผ่เรียบร้อยแล้ว

5.1.3 ผลการกำหนดค่ามาตรฐานกลางของวัสดุ

จากการทดสอบและวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไผ่ตงจากทั้ง 4 ภูมิภาค นำมาซึ่งการกำหนดค่าสามาตรฐานกลางของไผ่ตง เพื่อนำไผ่ใช้ประโยชน์ในด้านวิศวกรรมโครงสร้างและการออกแบบโครงสร้างไม้ไผ่ที่สามารถตรวจสอบความแข็งแรงของโครงสร้างได้ โดยสามารถสรุปค่ามาตรฐานกลางได้ ดังนี้

คุณสมบัติทางกายภาพ		
ความชื้น	15.33	%
ความหนาแน่นเนื้อไม้	760.41	กก./ลบ.ม.
การหดตัว		
ตามความยาว	-	%
ตามความหนา	0.20	%
คุณสมบัติเชิงกล		
การต้านทานแรงอัดขนานเสี้ยน	42.87	นิวตัน/ตร.มม.
การต้านทานแรงดึง	141.84	นิวตัน/ตร.มม.
การต้านทานแรงเฉือน		
มีข้อ	9.67	นิวตัน/ตร.มม.
ไม่มีข้อ	6.51	นิวตัน/ตร.มม.
การต้านทานแรงดัด	127.24	นิวตัน/ตร.มม.
โมดูลัสของการยืดหยุ่น	27,750.89	นิวตัน/ตร.มม.

ตารางที่ 5.2

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไผ่ตงกับงานวิจัยอื่น

หัวข้อ		ไผ่ตงที่ทดสอบในงานวิจัย	ไผ่ตงในงานวิจัยอื่น			
			1	2	3	4
คุณสมบัติทางกายภาพ	ค่าเฉลี่ยความชื้น (%)	15.33	11	11	19.98	11.73
	ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นเนื้อไม้ (กก./ลบ.ม.)	760.41	-	767	-	797.95
	ค่าเฉลี่ยการหดตัว (%)					
	ตามยาว	-	0.21	0.1	-	-
	ความหนา	0.2	-	4.2	-	-
คุณสมบัติเชิงกล	ค่าเฉลี่ยการต้านทานแรงอัดขนานเสี้ยน (นิวตัน/ตร.มม., MPa)	42.87	67	68.5	34	56.8
	ค่าเฉลี่ยการต้านทานแรงดึง (นิวตัน/ตร.มม., MPa)	141.84	-	96	61.84	61.8
	ค่าเฉลี่ยการต้านทานแรงเฉือนขนานเสี้ยน (นิวตัน/ตร.มม., MPa)					
	มีข้อ	9.67	-	9.8	34.68	10.6
	ไม่มีข้อ	6.51	14	9.4	35.16	9.3
	ค่าเฉลี่ยการต้านทานแรงดัด (นิวตัน/ตร.มม., MPa)	127.24	-	84	-	91.8
	ค่าเฉลี่ยโมดูลัสของการยืดหยุ่น (นิวตัน/ตร.มม., MPa)	27,750.89	12,530.00	59,500.00	22,854.75	16,319.66

หมายเหตุ. จาก 1. ฐิติกุล ภาคคีรี (2540); 2. สุชาติ ไทยเพชร (2547); 3. พัชริกา ประสงค์พรสกุล (2554); 4. เอกลักษณ์ ตงยนต์ (2554)

จากตารางที่ 5.2 เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไผ่ตงจากงานวิจัยนี้กับไผ่ตงจากงานวิจัยอื่น พบว่า ค่าเฉลี่ยคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไผ่ตงมีค่าใกล้เคียงกันกับงานวิจัยอื่น แต่ในส่วนของการต้านทานแรงดึง การต้านทานแรงดัด และค่าโมดูลัสของการยืดหยุ่น พบว่ามีค่าเฉลี่ยสูงกว่าไผ่ตงจากงานวิจัยอื่น แสดงให้เห็นว่าไผ่ตงจากงานวิจัยนี้ มีความเหนียวและยืดหยุ่นได้ดีกว่าไผ่ตงจากงานวิจัยอื่น

ตารางที่ 5.3

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและคุณสมบัติเชิงกลของไผ่ตงกับเหล็กและไม้

หัวข้อ		ไผ่ตงที่ทดสอบในงานวิจัย	ไผ่ซางหม่น	เหล็ก	ไม้		
					ไม้แดง	ไม้ตะแบก	ไม้สัก
คุณสมบัติเชิงกล	การต้านทานแรงอัด (นิวตัน/ตร.มม., MPa)	42.87	26.78	400	68.80	50.70	42.50
	การต้านทานแรงดึง (นิวตัน/ตร.มม., MPa)	141.84	152.13	400	159.90	115.70	91.00
	การต้านทานแรงเฉือน (นิวตัน/ตร.มม., MPa) มีข้อ ไม่มีข้อ	9.67 6.51	26.36	-	12.00	19.20	13.4
	การต้านทานแรงดัด (นิวตัน/ตร.มม., MPa)	127.24	79.42	-	159.90	115.70	91.00
	โมดูลัสของการยืดหยุ่น (นิวตัน/ตร.มม., MPa)	27,750.89	2,743.66	200,000	15,312.90	11,255.60	8,157.30

หมายเหตุ. ดัดแปลจาก R. C. Hibbeler (2002), วินิต ช่อวิเชียร (2545)

จากตารางที่ 5.3 พบว่าเมื่อเปรียบเทียบไผ่ตงในงานวิจัยนี้กับเหล็ก ไผ่ตงในงานวิจัยนี้มีความสามารถการต้านทานแรงอัด การต้านทานแรงดึงและค่าโมดูลัสของการยืดหยุ่นน้อยกว่าเหล็ก เมื่อเปรียบเทียบกับไผ่ซางหม่นซึ่งเป็นไม้ไผ่เหมือนกันแต่คนละสายพันธ์พบว่า ไผ่ตงมีคุณสมบัติเชิงกลที่ดีกว่าในเรื่องของการต้านทานแรงอัด การต้านทานแรงดัดและมีค่าโมดูลัสของการยืดหยุ่นที่ใกล้เคียงกัน เมื่อเปรียบเทียบไผ่ตงในงานวิจัยกับไม้ การต้านทานแรงอัดขนานเสี้ยน พบว่าไผ่ตงมีการต้านทานแรงอัดน้อยกว่าไม้แดงและไม้ตะแบกที่เป็นไม้เนื้อแข็ง แต่กลับมีค่าต้านทานอัดใกล้เคียงไม้สักที่เป็นไม้เนื้ออ่อน การต้านทานแรงดึงและแรงดัด พบว่า ไผ่ตงมีค่าการต้านทานแรงดึงน้อยกว่าไม้แดง แต่มีค่าการต้านทานแรงดึงมากกว่าไม้ตะแบกและไม้สัก ส่วนการต้านทานแรงเฉือนไผ่ตงมีการต้านทานแรงเฉือนที่น้อยกว่าไม้ทั้ง 3 ชนิด และค่าโมดูลัสของการยืดหยุ่น ไผ่ตงมีค่าโมดูลัสของการยืดหยุ่นมากกว่าไม้ทั้ง 3 ชนิด

5.1.4 ผลการจำลองและประเมินการรับน้ำหนักของกรอบโครงสร้างไม้ไผ่

จากการสำรวจสถาปัตยกรรมไม้ไผ่ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ที่ปรากฏอยู่ในปัจจุบัน เพื่อศึกษารูปแบบกรอบโครงสร้างของสถาปัตยกรรมไม้ไผ่ พบว่า สถาปัตยกรรมไม้ไผ่มีลักษณะกรอบโครงสร้างที่มีพื้นฐานมาจากรูปสามเหลี่ยม โดยรูปแบบของกรอบโครงสร้างมีลักษณะแบบสมมาตรกัน และเป็นอาคารที่เกิดจากกรอบโครงสร้างที่ซ้ำ ๆ กันประกอบเป็นโครงสร้างของอาคาร ซึ่งการซ้ำกันของกรอบโครงสร้างมี 2 ลักษณะ คือ ซ้ำกันตามในแนวราบ และ ซ้ำกันในแนวรัศมีวงกลม และจากการสำรวจจนไปสู่การเลือกรูปแบบกรอบโครงสร้างไม้ไผ่ที่นำมาทำการจำลองโครงสร้าง โดยกรอบโครงสร้างที่ได้รับการคัดเลือกเป็นกรอบโครงสร้างแบบเสาเอียง ชิ้นส่วนโครงสร้างเอียงทำมุมออกจากกันเป็นรูปสามเหลี่ยม ไม่ดัดโค้ง

ในการจำลองกรอบโครงสร้างได้กำหนดให้กรอบโครงสร้างเป็นโครงสร้างไม้ไผ่ลำเดียว มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร และมีความหนาของเนื้อไม้ 1 เซนติเมตร การศึกษากรอบโครงสร้างได้ศึกษาเปรียบเทียบสัดส่วนของกรอบโครงสร้าง ซึ่งมีประเด็นการศึกษา 2 ประเด็น คือ ประเด็นที่ 1 การทำมุมเอียงของชิ้นส่วนโครงสร้าง โดยศึกษาชิ้นส่วนโครงสร้างทำมุมเอียง 60 องศา และ 90 องศาออกจากกัน และประเด็นที่ 2 สัดส่วนความสูงที่ต่างกันของชิ้นส่วนโครงสร้าง โดยชิ้นส่วนโครงสร้างเสาที่ 1 มีความสูง 2/3 และ 1 เท่าของชิ้นส่วนโครงสร้างเสาที่ 2 ทำให้รูปแบบของกรอบโครงสร้างที่ศึกษามีทั้งหมด 4 รูปแบบ แต่ละรูปแบบของกรอบโครงสร้างสามารถประกอบกันเป็นอาคารที่มีรูปแบบและขนาดของอาคารที่แตกต่างกัน ในการพิจารณาความเป็นไปได้ในการรับน้ำหนักของชิ้นส่วนโครงสร้างต่าง ๆ ซึ่งประกอบด้วยชิ้นส่วนโครงสร้างเสา และคาน โดยพิจารณาเปรียบเทียบจากการคำนวณหน่วยแรงที่ยอมให้และหน่วยแรงที่คาดว่าจะเกิดขึ้น จากการศึกษาพบว่าชิ้นส่วนโครงสร้างของกรอบโครงสร้างในแต่ละรูปแบบมีประสิทธิภาพในการรับน้ำหนักที่แตกต่างกัน และบางรูปแบบโครงสร้างไม่สามารถรับน้ำหนักโดยใช้ไม้ไผ่เพียงลำเดียวได้ จึงจำเป็นที่จะต้องมีการเพิ่มจำนวนลำไผ่ในโครงสร้างเพื่อช่วยในการรับน้ำหนัก

จากการเพิ่มจำนวนลำไผ่ในชิ้นส่วนโครงสร้างเพื่อให้สามารถรับหน่วยแรงที่คาดว่าจะเกิดขึ้น พบว่า คานที่มีความยาว 3.50 - 5.00 เมตรต้องใช้ไม้ไผ่ 2 ลำ คานที่มีความยาวมากกว่า 5.01 – 6.00 เมตรต้องใช้ไม้ไผ่ 2 – 3 ลำ และคานที่มีความยาวมากกว่า 6.00 เมตรขึ้นไปต้องใช้ไม้ไผ่ 2 – 4 ลำ ในส่วนของเสา เสาที่มีความยาว 2.30 – 2.80 เมตรควรใช้ลำไผ่อย่างน้อย 7 ลำ เสาที่มีความยาว 2.81 – 3.40 เมตรใช้ลำไผ่อย่างน้อย 4 ลำ เสาที่มีความยาว 3.41 – 4.20 เมตรใช้ลำไผ่อย่างน้อย 3 ลำ และเสาที่มีความยาวมากกว่า 4.20 เมตรใช้ลำไผ่อย่างน้อย 2 ลำ ในการเพิ่มจำนวนลำไผ่ทั้งหมดนี้ จำนวนลำไผ่ที่มีความเป็นไปได้ในการก่อสร้างจริงคือ 2 – 4 ลำต่อชิ้นส่วนโครงสร้าง

เพราะนอกจากจะเพิ่มความสามารถในการรับแรงแล้วยังเป็นจำนวนลำไผ่ที่ง่ายต่อการจัดการก่อสร้างในโครงสร้างไม้ไผ่แบบง่าย

การวิจัยในส่วนนี้ถือเป็นตัวอย่างในการนำค่ามาตรฐานกลางของไผ่ตงมาใช้ในการออกแบบโครงสร้างไม้ไผ่ ในงานวิจัยนี้มีค่าคุณสมบัติของไผ่ตงที่นำมาใช้ในการคำนวนและประเมินโครงสร้าง ได้แก่ ค่ากำลังการต้านทานแรงอัด โมดูลัสของการยืดหยุ่น และค่ากำลังการต้านทานแรงดัด โดยค่ากำลังการต้านทานแรงอัดนำมาใช้ในการคำนวณหน่วยแรงที่ยอมให้ของเสาไม้ไผ่ในโครงสร้างเพื่อนำไปเปรียบเทียบกับหน่วยแรงที่คาดว่าจะเกิดขึ้น ซึ่งสามารถคำนวณโดยใช้ค่าโมดูลัสของการยืดหยุ่นของไผ่ตง ส่วนค่ากำลังการต้านทานแรงดัดนำมาใช้ในการคำนวณหน่วยแรงที่ยอมให้ของคานไม้ไผ่ในโครงสร้างโครงสร้าง เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับหน่วยแรงที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในคายไม้ไผ่ ซึ่งในส่วนนี้สามารถคำนวณโดยใช้ค่าโมเมนต์ดัดสูงสุดที่ได้จากการจำลองโครงสร้างไม้ไผ่ในโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้าง การวิจัยครั้งนี้เป็นแนวทางของการใช้ค่ามาตรฐานกลางของไผ่ตงไปใช้ในการออกแบบโครงสร้างไม้ไผ่ เพื่อประเมินในด้านการรับน้ำหนักของโครงสร้างก่อนการก่อสร้างจริง

5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต

จากการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไผ่ตงพบว่ามีปัจจัยบางอย่างที่ส่งผลต่อความชื้นของไผ่ตงคือระยะเวลาในการผึ่งแดดของไม้ไผ่หลังจากได้รับการถนอมเนื้อไม้ ซึ่งระยะเวลาในการผึ่งแดดมีผลต่อความชื้นของไม้ไผ่ ในงานวิจัยนี้ทางผู้วิจัยไม่ได้กำหนดระยะเวลาในการผึ่งแดดอย่างแน่ชัด เนื่องจากมีข้อจำกัดทางด้านระยะเวลาในการทำวิจัย จึงทำให้ผลการทดสอบค่าความชื้นของไผ่ตงในแต่ละภูมิภาคมีความแตกต่างกันพอสมควร หากในอนาคตมีการศึกษาการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลไม้ไผ่ที่ได้รับการถนอมเนื้อไม้ก่อนนำไปทดสอบ การกำหนดระยะเวลาในการผึ่งแดดของไม้ไผ่หลังจากได้รับการถนอมเนื้อไม้ถือว่าเป็นสิ่งสำคัญและเป็นตัวแปรที่ต้องควบคุมในงานวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ศึกษาไผ่ตงจาก 4 ภูมิภาค เนื่องจากมีข้อจำกัดทางด้านระยะเวลาในการทำวิจัยผู้วิจัยได้เลือกศึกษาไผ่ตงจากแหล่งที่มาเพียงแหล่งเดียวในแต่ละภูมิภาค ซึ่งในความเป็นจริงนั้นแต่ละภูมิภาคมีไผ่ตงจากหลายแหล่งที่มาที่สามารถนำมาศึกษาและทดสอบได้ หากมีการวิจัยในอนาคตเพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไผ่ตง สามารถศึกษาในไผ่ตงในแต่ละภูมิภาคโดยศึกษาและทดสอบไผ่ตงจากหลายแหล่งที่มาในภูมิภาคเดียวกัน เพื่อหาค่าเฉลี่ยคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไผ่ตงในภูมิภาคนั้น นำไปสู่การใช้ประโยชน์ของไผ่ตงในแต่ภูมิภาคได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

และในงานวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษารูปแบบกรอบโครงสร้างเพียงรูปแบบเดียวเนื่องจากเป็นรูปแบบที่เหมาะสมกับการใช้ไผ่ตงเป็นวัดสุก่อสร้าง คือรูปแบบโครงสร้างที่ไม่มีการดัดโค้ง จากการศึกษารูปแบบโครงสร้างในปัจจุบันพบว่า มีโครงสร้างไม้ไผ่ในรูปแบบที่เป็นการดัดโค้งอยู่มากมาย ซึ่งเป็นโครงสร้างไม้ไผ่ที่น่าสนใจและสามารถนำมาศึกษาวิจัยด้านความแข็งแรงของรูปแบบโครงสร้างในอนาคตต่อไปได้

รายการอ้างอิง

บทความวารสาร

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

วิทยานิพนธ์

กานต์ คำแก้ว. (2546). *ไม้ไผ่กับสถาปัตยกรรมที่เลือนหาย*. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). มหาวิยาลัยศิลปกร, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์, สาขาวิชาสถาปัตยกรรม.

ชุติมณฑน์ เสียงสุทธิวงศ์. (2556). *การศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุไผ่ประกับที่ทำจากพันธุ์ไผ่ไทยเพื่อใช้ออกแบบคานไม้สำหรับอาคารสาธารณะขนาดเล็ก.* (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). มหาวิยาลัยธรรมศาสตร์, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง, สาขาวิชาสถาปัตยกรรม.

ฐิติกุล ภาคคีรี. (2540). *สมบัติทางกายภาพและเชิงกลของไผ่ตง*. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, คณะวนศาสตร์, สาขาวิชาวนผลิตภัณฑ์.

พัชริกา ประสงค์พรสกุล. (2554). *การศึกษาพฤติกรรมและกำลังรับน้ำหนักตามแนวแกนของเสาไม้ไผ่*. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

ภัทฐิตา พงศ์ธนา. (2556). *การศึกษาความสามารถการรับน้ำหนักของโครงสร้างไผ่โดยวิธีการรวบลำเพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบสถาปัตยกรรม*. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). มหาวิยาลัยธรรมศาสตร์, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง, สาขาวิชาสถาปัตยกรรม.

อิทธิพงษ์ อินพล. (2540). *คุณสมบัติการดัดของไม้ไผ่ประกับกาว*. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา.

เอกลักษณ์ ตงยนต์. (2554). *พฤติกรรมการรับแรงดัดของไผ่ตง*. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สาขาวิศวกรรมโยธา.

Book

ISO. (2004). *Bamboo-Determination of Physical and Mechanical Properties*. *ISO 22157-1:2004(E)*. Switzerland: International Organization for Standardization

R. C. Hibbeler. (2002). *Mechanics of Materials*. Bangkok: Pearson Education Indochina Ltd.

Supreedee Rittironk. (2011). *Thai Bamboo: Material Explored*. Bangkok: G7 Published.

Vegesack, Alexander von and Kries Mateo. (2000). *Grow your own house-Simon Velez and bamboo architecture*. 97-142.

Theses

Andry Widyowijitnoko. (2012). *Traditional and Innovative Joints in Bamboo Construction*. RWTH Aachen University, Faculty of Architecture.

F.Albermani,G.Y. Goh and S.L. Chan. (2006). *Lightweight bamboo double layer grid system*. Hong Kong Polytechnic University.

K. A. Solomon-Ayeh. (2005). *Use of bamboo for buildings – a sustainable, strong, versatile and economic option for the preservation of timber in Ghana*. Building and Road Research Institute (BRRI).

.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไผ่ตง จาก 4 ภูมิภาค

สัญลักษณ์/คำย่อ	คำจำกัดความ/คำเต็ม
N	ไผ่ตงจากจังหวัดเชียงใหม่ (ภาคเหนือ)
NE	ไผ่ตงจากจังหวัดอุบลราชธานี (ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ)
E	ไผ่ตงจากจังหวัดปราจีนบุรี (ภาคตะวันออก)
W	ไผ่ตงจากจังหวัดกาญจนบุรี (ภาคตะวันตก)
t	ความหนาเนื้อไม้ (มิลลิเมตร)
D	ความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางของลำไผ่ (มิลลิเมตร)
L	ความยาวของลำไผ่ (มิลลิเมตร)

ตารางที่ ก.1

ลักษณะทางกายภาพของไผ่ตงจากภาคตะวันออกและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

รหัสไผ่ตง		ลักษณะทางกายภาพของไผ่ตง						
		ความหนาเนื้อไม้ (มม.)				เส้นผ่านศูนย์กลาง (มม.)		พื้นที่หน้าตัด (ตร.มม.)
		t1	*t2*	*t3*	*t4*	*D1*	*D2*	
ภาคตะวันออก	E1	11	13	12	12	101	108	3,485.40
	E2	11	13	11	14	107	107	3,644.56
	E3	13	11	10	10	100	98	3,039.52
	E4	10	10	9	9	101	95	2,639.96
	E5	12	12	10	12	100	98	3,159.63
	E6	12	11	13	13	97	100	3,317.61
	E7	16	15	15	15	110	108	4,489.22
	E8	14	13	14	13	108	108	4,005.86
	E9	11	14	13	13	97	99	3,412.98
	E10	15	13	13	15	108	110	4,176.20
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	NE1	19	16	2	17	104	103	3,815.10
	NE2	17	15	15	15	117	113	4,842.67
	NE3	13	16	17	17	109	115	4,760.04
	NE4	17	18	17	18	108	107	4,945.50
	NE5	15	15	15	17	113	112	4,720.99
	NE6	15	17	15	15	117	113	4,842.67
	NE7	18	19	17	17	110	110	5,141.55
	NE8	18	19	17	17	115	110	5,280.89
	NE9	20	20	20	20	100	112	5,400.80
	NE10	20	18	18	18	107	105	5,082.88

ตารางที่ ก.2

ลักษณะทางกายภาพของไผ่ตงจากภาคตะวันเหนือและภาคตะวันตก

รหัสไผ่ตง		ลักษณะทางกายภาพของไผ่ตง						
		ความหนาเนื้อไม้ (มม.)				เส้นผ่านศูนย์กลาง (มม.)		พื้นที่หน้าตัด (ตร.มม.)
		t1	*t2*	*t3*	*t4*	*D1*	*D2*	
ภาคเหนือ	N1	11	13	11.5	12.5	121	118	4,050.60
	N2	15	13	15	15	117	118	4,689.59
	N3	13	13	13	14	117	121	4,399.73
	N4	11	11	12	12	115	122	3,863.77
	N5	13	12	12	13	116	112	3,983.88
	N6	13	14	14	14	119	121	4,587.34
	N7	15	14	14.5	16	115	121	4,816.71
	N8	13.5	14	13	15	118	119	4,558.25
	N9	13.5	15	14	14	112	113	4,363.18
	N10	14	13	14	13	105	103	3,836.30
ภาคตะวันตก	W1	14	15	15	17	138	137	5,853.94
	W2	14	14.5	13.5	12	135	136	5,171.58
	W3	15.5	16	17	16	145	138	6,348.05
	W4	13	14.5	13	13	129	128	4,834.96
	W5	13.5	14	14	14	138	140	5,451.38
	W6	14.5	15	14	15	140	136.5	5,677.17
	W7	11	13.5	13	13	133	134	4,791.79
	W8	14	14	14	14	122	128	4,879.56
	W9	12.5	13	12.5	12	130.5	130	4,621.69
	W10	16	18	16.5	16	151	146	6,884.20

ตารางที่ ก.3

ค่าความชื้น (Moisture Content) ของไผ่ตงจากภาคตะวันออกและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

รหัสไผ่ตง		ความชื้น (Moisture Content)		
		น้ำหนักสภาพสด (กรัม)	น้ำหนักสภาพแห้ง (กรัม)	ปริมาณความชื้น (%)
ภาคตะวันออก	E1	5.8	5.0	16.00
	E2	4.9	3.8	28.95
	E3	3.4	2.8	21.43
	E4	3.7	3.1	19.35
	E5	3.5	3.0	16.67
	E6	3.5	2.8	25.00
	E7	6.7	5.7	17.54
	E8	5.3	4.2	26.19
	E9	3.6	3.1	16.13
	E10	5.8	5.0	16.00
			ค่าเฉลี่ย	20.33
			S.D.	4.82
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	NE1	6.7	5.9	13.56
	NE2	3.7	3.5	5.71
	NE3	6.7	5.9	13.56
	NE4	5.4	4.9	10.20
	NE5	5.8	5.1	13.73
	NE6	6.7	6.0	11.67
	NE7	5.5	5.0	10.00
	NE8	5.9	5.1	15.69
	NE9	6.7	6.0	11.67
	NE10	6.7	6.0	11.67
			ค่าเฉลี่ย	12.42
			S.D.	3.85

ตารางที่ ก.4

ค่าความชื้น (Moisture Content) ของไผ่ตงจากภาคตะวันเหนือและภาคตะวันตก

รหัสไผ่ตง		ความชื้น (Moisture Content)		
		น้ำหนักสภาพสด (กรัม)	น้ำหนักสภาพแห้ง (กรัม)	ปริมาณความชื้น (%)
ภาคเหนือ	N1	6.9	6.1	13.11
	N2	6.5	5.7	14.04
	N3	4.2	3.9	7.69
	N4	5.5	5.0	10.00
	N5	6.3	5.6	12.50
	N6	6.3	5.6	12.50
	N7	8.4	7.2	16.67
	N8	8.8	7.6	15.79
	N9	8.0	7.2	11.11
	N10	7.6	6.8	11.76
			ค่าเฉลี่ย	12.52
			S.D.	2.64
ภาคตะวันตก	W1	10.2	8.3	22.89
	W2	12.0	9.7	23.71
	W3	10.4	8.6	20.93
	W4	11.4	9.1	25.27
	W5	11.7	9.3	25.81
	W6	11.2	9.0	24.44
	W7	13.1	9.5	37.89
	W8	11.9	9.0	32.22
	W9	11.6	9.0	28.89
	W10	14.5	11.7	23.93
			ค่าเฉลี่ย	16.84
			S.D.	2.39

ตารางที่ ก.5

ค่าความหนาแน่นเนื้อไม้ (Mass by Volume) ของไผ่ตงจากภาคตะวันออกและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

รหัสไผ่ตง		ความหนาแน่น (Mass by Volume)			
		ความหนาเนื้อไม้ (มม.)	ปริมาตร (ลบ.มม.)	น้ำหนักสภาพแห้ง (กรัม)	ความหนาแน่น (kg/m³)
ภาคตะวันออก	E1	11	6,875	5.4	785.45
	E2	11	6,875	4.8	698.18
	E3	10	6,250	3.2	512.00
	E4	7	4,375	2.8	640.00
	E5	11	6,875	4.7	683.64
	E6	12	7,500	3.7	493.33
	E7	14	8,750	6.2	708.57
	E8	13	8,125	5.5	676.92
	E9	10	6,250	4.6	736.00
	E10	13	8,125	6.0	738.46
				ค่าเฉลี่ย	667.26
				S.D.	95.39
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	NE1	20	12,500	5.9	472.00
	NE2	16	10,000	3.5	350.00
	NE3	14	8,750	5.9	674.29
	NE4	15	9,375	4.9	522.67
	NE5	16	10,000	5.1	510.00
	NE6	15	9,375	6.0	640.00
	NE7	13	8,125	5.0	615.38
	NE8	15	9,375	5.1	544.00
	NE9	17	10,625	6.0	564.71
	NE10	17	10,625	6.0	564.71
				ค่าเฉลี่ย	545.77
				S.D.	92.22

ตารางที่ ก.6

ค่าความหนาแน่นเนื้อไม้ (Mass by Volume) ของไผ่ตงจากภาคตะวันเหนือและภาคตะวันตก

รหัสไผ่ตง		ความหนาแน่น (Mass by Volume)			
		ความหนาเนื้อไม้ (มม.)	ปริมาตร (ลบ.มม.)	น้ำหนักสภาพแห้ง (กรัม)	ความหนาแน่น (kg/m³)
ภาคเหนือ	N1	11	6,875	6.1	887.27
	N2	15	9,375	5.7	608.00
	N3	15	9,375	3.9	416.00
	N4	10.5	6,563	5	761.90
	N5	12	7,500	5.6	746.67
	N6	12	7,500	5.6	746.67
	N7	15	9,375	7.2	768.00
	N8	14	8,750	7.6	868.57
	N9	14	8,750	7.2	822.86
	N10	14	8,750	6.8	777.14
				ค่าเฉลี่ย	740.31
				S.D.	137.52
ภาคตะวันตก	W1	15	9,375	8.3	885.33
	W2	14	8,750	9.7	1,108.57
	W3	12	7,500	8.6	1,146.67
	W4	13	8,125	9.1	1,120.00
	W5	14	8,750	9.3	1,062.86
	W6	14	8,750	9.0	1,028.57
	W7	13	8,125	9.5	1,169.23
	W8	12.5	7,813	9.0	1,152.00
	W9	13	8,125	9.0	1,107.69
	W10	17	10,625	11.7	1,101.18
				ค่าเฉลี่ย	1,088.21
				S.D.	82.58

ตารางที่ ก.7

การหดตัว (shrinkage) ของไผ่ตงจากภาคตะวันออกและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

รหัสไผ่ตง		การหดตัว					
		ความหนาเนื้อไม้ที่เปลี่ยนแปลงไป (มม.)				การหดตัว ตามความหนา(%)	ความยาวลำไผ่ (มม.)
		t1	*t2*	*t3*	*t4*		*L*
ภาคตะวันออก	E1	0	0	0	0	0	0
	E2	0	0	0	0	0	0
	E3	0	0	0	0	0	0
	E4	0	0	0	0	0	0
	E5	0	0.5	0	0	0.96	0
	E6	0	0	0.5	0	0.89	0
	E7	0	0	0	0	0	0
	E8	0	0	0	0	0	0
	E9	0	0	0	0	0	0
	E10	0	0	0	0	0	0
					ค่าเฉลี่ย	0.19	0
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	NE1	0	0	0	0	0	0
	NE2	0	0	0	0	0	0
	NE3	0	0	0	0	0	0
	NE4	0	0	0	0	0	0
	NE5	0	0	0	0	0	0
	NE6	0	0	0	0	0	0
	NE7	0	0.5	0	0	0.83	0
	NE8	0	0	0	0	0	0
	NE9	0	0	0	0	0	0
	NE10	0	0	0	0	0	0
					ค่าเฉลี่ย	0.083	0

ตารางที่ ก.8

การหดตัว (shrinkage) ของไผ่ตงจากภาคตะวันเหนือและภาคตะวันตก

รหัสไผ่ตง		การหดตัว					
		ความหนาเนื้อไม้ที่เปลี่ยนแปลงไป (มม.)				การหดตัว ตามความหนา (%)	ความยาวลำไผ่ (มม.)
		t1	*t2*	*t3*	*t4*		*L*
ภาคตะวันออก	N1	0	0	0	0	0	0
	N2	0.5	0	0	0	0.86	0
	N3	0	0	0	0.5	0.81	0
	N4	0	0	0	0	0	0
	N5	0	0	0	0	0	0
	N6	0	0	0	0	0	0
	N7	0	0	0	0	0	0
	N8	0	0	0	0	0	0
	N9	0	0	0	0	0	0
	N10	0	0	0	0	0	0
					ค่าเฉลี่ย	0.17	0
ภาคตะวันตกเฉียงเหนือ	W1	0	0	0	0	0	0
	W2	0	0	0.5	0	0.89	0
	W3	0	0	0	0	0	0
	W4	0	0	0	0	0	0
	W5	0.5	0	0	0	0.83	0
	W6	0.5	0	0	0	0.89	0
	W7	0	0.5	0	0	0.89	0
	W8	0	0	0	0	0	0
	W9	0	0	0	0	0	0
	W10	0	0	0	0	0	0
					ค่าเฉลี่ย	0.35	0

ตารางที่ ก.9

การต้านทานแรงอัดขนานเสี้ยน (Compression) ของไผ่ตงจากภาคตะวันออกและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

รหัสไผ่ตง		การต้านทานแรงอัดขนานเสี้ยน (Compression)					
		ความหนาเนื้อไม้ (มม.)	เส้นผ่านศูนย์กลาง (มม.)	พื้นที่หน้าตัด (ตร.มม.)	น้ำหนักที่กระทำ (นิวตัน)	กำลังต้านทานแรงอัด (นิวตัน/ตร.มม., MPa)	ความชื้น (%)
ภาคตะวันออก	E1	12.0	104.5	3,485.40	133,564	38.32	30.19
	E2	12.3	107.0	3,644.56	128,125	35.16	35.56
	E3	11.0	99.0	3,039.52	92,532	30.44	28.13
	E4	9.5	98.0	2,639.96	131,624	49.86	12.82
	E5	11.5	99.0	3,159.63	153,507	48.58	32.08
	E6	12.3	98.0	3,317.61	119,452	36.01	20.51
	E7	15.3	109.0	4,489.22	225,116	50.15	33.33
	E8	13.5	108.0	4,005.86	169,805	42.39	31.82
	E9	12.8	98.0	3,412.98	132,594	38.85	45.76
	E10	14.0	109.0	4,176.20	189,865	45.46	17.24
					ค่าเฉลี่ย	41.52	28.74
					S.D.	6.84	
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	NE1	18.5	106.0	5,082.88	267,168	52.56	12.05
	NE2	15.5	115.0	4,842.67	177,899	36.74	14.89
	NE3	15.8	112.0	4,760.04	267,305	56.16	11.21
	NE4	17.5	107.0	4,945.50	255,310	51.62	12.36
	NE5	15.5	112.5	4,720.99	284,396	60.24	10.59
	NE6	15.5	115.0	4,842.67	236,356	48.81	10.23
	NE7	17.8	110.0	5,141.55	279,241	54.31	10.98
	NE8	17.8	112.5	5,280.89	239,453	45.34	11.34
	NE9	20.0	106.0	5,400.80	275,027	50.92	10.84
	NE10	18.0	103.5	4,832.46	268,990	55.66	8.24
					ค่าเฉลี่ย	51.24	11.27
					S.D.	6.56	

ตารางที่ ก.10

การต้านทานแรงอัดขนานเสี้ยน (Compression) ของไผ่ตงจากภาคตะวันเหนือและภาคตะวันตก

รหัสไผ่ตง		การต้านทานแรงอัดขนานเสี้ยน (Compression)					
		ความหนาเนื้อไม้ (มม.)	เส้นผ่านศูนย์กลาง (มม.)	พื้นที่หน้าตัด (ตร.มม.)	น้ำหนักที่กระทำ (นิวตัน)	กำลังต้านทานแรงอัด (นิวตัน/ตร.มม., MPa)	ความชื้น (%)
ภาคเหนือ	N1	12.0	119.5	4,050.60	143,874	35.52	12.50
	N2	14.5	117.5	4,689.59	153,507	32.73	13.33
	N3	13.3	119.0	4,399.73	144,834	32.92	13.21
	N4	11.5	118.5	3,863.77	154,654	40.03	11.86
	N5	12.5	114.0	3,983.88	153,331	38.49	16.90
	N6	13.8	120.0	4,587.34	193,129	42.10	15.28
	N7	14.9	118.0	4,816.71	214,865	44.61	15.38
	N8	13.9	118.5	4,558.25	190,620	41.82	14.49
	N9	14.1	112.5	4,363.18	163,405	37.45	14.29
	N10	13.5	104.0	3,836.30	194,765	50.77	13.64
					ค่าเฉลี่ย	39.64	14.09
					S.D.	5.53	
ภาคตะวันตก	W1	15.3	137.5	5,853.94	196,715	33.60	24.72
	W2	13.5	135.5	5,171.58	193,256	37.37	30.00
	W3	16.1	141.5	6,348.05	262,513	41.35	21.43
	W4	13.4	128.5	4,834.96	181,212	37.48	24.00
	W5	13.9	139.0	5,451.38	235,876	43.27	25.00
	W6	14.6	138.3	5,677.17	196,108	34.54	29.79
	W7	12.6	133.5	4,791.79	214,610	44.79	29.41
	W8	14.0	125.0	4,879.56	159,603	32.71	29.17
	W9	12.5	130.3	4,621.69	204,830	44.32	27.63
	W10	16.6	148.5	6,884.20	285,141	41.42	21.95
					ค่าเฉลี่ย	39.09	26.31
					S.D.	4.53	

ตารางที่ ก.11

การต้านทานแรงเฉือน (Shear) ของไผ่ตงจากภาคตะวันออกและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

รหัสไผ่ตง			การต้านทานแรงเฉือน (Shear)							
			ความหนาเนื้อไม้ (มม.)				ความยาวลำไผ่ (มม.)	น้ำหนักที่กระทำ (นิวตัน)	กำลังต้านทานแรงเฉือน (นิวตัน/ตร.มม, MPa)	ความชื้น (%)
			t1	*t2*	*t3*	*t4*				
ภาคตะวันออก	ไม่มีข้อ	E1	10	9	10	10	96	30,958	8.27	21.95
		E2	7	10	8	10	99	15,543	4.49	14.29
		E3	12	12	12	11	99	23,785	5.11	26.47
		E4	13	13	13	11	99	32,987	6.66	40.91
		E5	12	14	13	12	107	30,106	5.52	16.44
								ค่าเฉลี่ย	6.02	24.01
								S.D.	1.51	
	มีข้อ	E6	13	14	13	13	107	50,842	8.97	37.50
		E7	12	11	10	11	106	55,831	11.97	40.43
		E8	16	12	13	13	99	39,504	7.39	39.58
		E9	15	14	15	15	110	49,960	7.70	36.26
		E10	15	15	15	15	111	51,960	7.80	18.81
								ค่าเฉลี่ย	8.79	34.52
								S.D.	1.91	
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	ไม่มีข้อ	NE1	15	14	15	14	116	36,828	5.47	10.81
		NE2	16	17	18	16	110	46,383	6.29	10.71
		NE3	14	15	14	17	115	47,991	6.96	12.05
		NE4	19	19	20	17	113	77,195	9.11	10.42
		NE5	16	17	18	18	105	61,074	8.43	8.79
								ค่าเฉลี่ย	7.26	10.56
								S.D.	1.49	
	มีข้อ	NE6	18	17	17	18	112	66,062	8.43	11.83
		NE7	15	15	15	16	118	56,683	7.87	10.13
		NE8	17	16	16	18	110	72,657	9.86	12.15
		NE9	15	17	16	15	110	85,260	12.30	13.45
		NE10	18	20	18	19	114	55,889	6.54	11.11
								ค่าเฉลี่ย	9.01	11.73
								S.D.	2.22	

ตารางที่ ก.12

การต้านทานแรงเฉือน (Shear) ของไผ่ตงจากภาคตะวันเหนือและภาคตะวันตก

รหัสไผ่ตง			การต้านทานแรงเฉือน (Shear)							
			ความหนาเนื้อไม้ (มม.)				ความยาวลำไผ่ (มม.)	น้ำหนักที่กระทำ (นิวตัน)	กำลังต้านทานแรงเฉือน (นิวตัน/ตร.มม., MPa)	ความชื้น (%)
			t1	*t2*	*t3*	*t4*				
ภาคเหนือ	ไม่มีข้อ	N1	12	11	12	11	118	38,632	7.15	11.32
		N2	12	14	13	15	112	46,775	7.66	13.33
		N3	13	13	12	13	114	41,229	7.02	11.29
		N4	15	16	15	14	121	47,471	6.48	13.92
		N5	15	14	13	15	106	30,997	5.09	13.16
								ค่าเฉลี่ย	6.68	12.61
								S.D.	0.98	
	มีข้อ	N6	14	14	14	15	118	61,426	9.05	13.33
		N7	15	14	14	14	118	91,963	13.55	12.07
		N8	13	13	13	13	114	33,967	5.73	14.55
		N9	13	14	13	14	119	50,137	7.73	18.06
		N10	14	16	15	15	115	30,997	4.49	13.95
								ค่าเฉลี่ย	8.11	14.39
								S.D.	1.93	
ภาคตะวันตก	ไม่มีข้อ	W1	16	15	15	16	143	45,472	5.15	27.47
		W2	14	12	12	11	132	62,161	9.65	30.26
		W3	12	12	12	12	121	41,297	7.11	24.10
		W4	14	17	15	15	136	38,514	4.66	25.97
		W5	15	15	16	16	145	34,016	3.75	23.71
								ค่าเฉลี่ย	6.06	26.30
								S.D.	2.35	
	มีข้อ	W6	16	16	16	14	136	64,886	7.70	22.92
		W7	15	15	13	12	136	79,929	10.73	24.81
		W8	15	15	15	16	129	76,940	9.82	26.26
		W9	14	15	15	14	139	84,417	10.47	25.58
		W10	15	15	15	16	138	109,701	13.08	27.17
								ค่าเฉลี่ย	10.36	25.35
								S.D.	1.93	

ตารางที่ ก.13

การต้านทานแรงดึง (Tension) ของไผ่ตงจากภาคตะวันออกและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

รหัสไผ่ตง		การต้านทานแรงดึง (Tension)				
		ความหนาเนื้อไม้ (มม.)	พื้นที่หน้าตัด (ตร.มม.)	น้ำหนักที่กระทำ (นิวตัน)	กำลังต้านทานแรงดึง (นิวตัน/ตร.มม., MPa)	ความชื้น (%)
ภาคตะวันออก	E1	13	130	10,349	79.61	12.90
	E2	12	120	22,197	184.98	14.58
	E3	10	100	15,719	157.19	12.50
	E4	11	110	19,874	180.68	11.11
	E5	11.5	115	22,452	195.23	17.95
	E6	11	110	13,534	123.03	13.95
	E7	14	140	15,700	112.14	14.58
	E8	14	140	13,955	99.68	10.00
	E9	11	110	26,636	242.15	9.68
	E10	13	130	10,888	83.75	11.94
				ค่าเฉลี่ย	145.84	12.92
				S.D.	54.38	
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	NE1	24	240	20,923	87.18	12.50
	NE2	18	180	14,533	80.74	11.43
	NE3	15	150	15,121	100.81	13.95
	NE4	18	180	18,963	105.35	12.07
	NE5	19	190	15,278	80.41	11.29
	NE6	20	200	15,935	79.68	12.50
	NE7	18	180	22,256	123.64	12.50
	NE8	17	170	17,238	101.40	13.64
	NE9	20	200	24,784	123.92	11.63
	NE10	16	160	15,102	94.39	13.64
				ค่าเฉลี่ย	97.75	12.51
				S.D.	16.58	

ตารางที่ ก.14

การต้านทานแรงดึง (Tension) ของไผ่ตงจากภาคตะวันเหนือและภาคตะวันตก

รหัสไผ่ตง		การต้านทานแรงดึง (Tension)				
		ความหนาเนื้อไม้ (มม.)	พื้นที่หน้าตัด (ตร.มม.)	น้ำหนักที่กระทำ (นิวตัน)	กำลังต้านทานแรงดึง (นิวตัน/ตร.มม., MPa)	ความชื้น (%)
ภาคเหนือ	N1	13	130	31,615	243.19	20.41
	N2	15	145	19,090	131.66	14.29
	N3	15	150	5,272	35.15	13.46
	N4	11	110	11,878	107.98	13.79
	N5	15	150	21,227	141.51	13.95
	N6	15	150	21,099	140.66	15.15
	N7	14	140	18,934	135.24	19.67
	N8	15	150	21,168	141.12	17.14
	N9	14	140	16,670	119.07	19.44
	N10	15	145	34,163	235.61	16.18
				ค่าเฉลี่ย	155.12	16.67
				S.D.	88.66	
ภาคตะวันตก	W1	15	150	25,127	167.51	20.80
	W2	14	140	18,708	133.63	18.75
	W3	15	145	22,530	155.38	16.44
	W4	14	135	23,197	171.83	22.22
	W5	13	130	20,903	160.80	21.18
	W6	15	145	25,147	173.43	20.43
	W7	14	140	21,031	150.22	20.00
	W8	13	130	17,140	131.85	21.13
	W9	13	130	23,010	177.00	23.21
	W10	13	130	33,947	261.13	16.67
				ค่าเฉลี่ย	168.28	20.08
				S.D.	36.23	

หมายเหตุ: ผลการทดสอบ N3 ไม่นำมาคิดในการหาค่าเฉลี่ยการต้านทานแรงดึง เนื่องจากชิ้นไม้ที่ทดสอบมีข้อผิดพลาดจึงทำให้ผลการทดสอบมีปัญหา

ตารางที่ ก.15

การต้านทานแรงดัด (Bending) ของไผ่ตงจากภาคตะวันออกและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

รหัสไผ่ตง		การต้านทานแรงดัด (Bending)								
		ความหนาเนื้อไม้ (มม.)	เส้นผ่านศูนย์กลาง (มม.)	โมเมนต์อินเนอร์เชีย (มิลลิเมตรยกกำลังสี่)	ความยาวลำไผ่ (มม.)	น้ำหนักที่กระทำ (นิวตัน)	กำลังต้านทานแรงดัด (นิวตัน/ตร.มม., MPa)	ความชื้น (%)	ค่าการโก่งตัว (มม.)	โมดูลัสของการยืดหยุ่น (นิวตัน/ตร.มม., MPa)
ภาคตะวันออก	E1	9.0	100	2,688,027.62	3000	12,809	119.13	16.00	72.00	31,712.87
	E2	10.0	100	2,896,650.00	3000	11,848	102.26	28.95	141.00	13,900.05
	E3	9.0	90	1,900,492.07	2700	12,505	133.24	21.43	90.00	25,538.14
	E4	8.0	95	2,085,182.94	2850	9,085	98.30	19.35	83.00	21,565.53
	E5	10.0	90	2,041,000.00	2700	14,377	142.64	16.67	90.00	27,339.90
	E6	9.0	90	1,900,492.07	2700	13,191	140.55	25.00	82.00	29,567.32
	E7	12.0	100	3,269,418.24	3000	16,141	123.42	17.54	129.00	18,338.21
	E8	11.0	105	3,635,153.67	3150	15,425	116.96	26.19	105.00	22,416.49
	E9	9.0	95	2,271,475.22	2850	13,642	135.51	16.13	104.00	23,724.34
	E10	12.0	100	3,269,418.24	3000	14,435	110.38	16.00	163.00	12,979.12
						ค่าเฉลี่ย	122.24	20.33		22,707.81
						S.D.	15.64			
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	NE1	11.0	110	4,240,985.27	3300	15,063	107.44	14.58	136.00	16,655.99
	NE2	12.0	120	6,006,493.44	3600	11,927	71.48	16.67	60.00	27,402.44
	NE3	11.0	115	4,910,931.74	3450	15,758	106.09	15.38	74.00	31,599.89
	NE4	14.0	100	3,587,751.44	3000	20,306	141.50	12.00	149.00	18,201.30
	NE5	11.0	110	4,240,985.27	3300	21,668	154.55	12.24	107.00	30,453.20
	NE6	14.0	110	4,965,018.24	3300	19,345	117.86	12.50	83.00	29,938.80
	NE7	14.5	105	4,326,745.78	3150	23,020	146.64	14.04	153.00	19,288.88
	NE8	11.0	105	3,635,153.67	3150	16,856	127.81	17.95	85.00	30,259.89
	NE9	11.0	100	3,090,198.82	3000	20,247	163.80	14.89	125.00	25,116.02
	NE10	15.0	100	3,728,259.38	3000	19,394	130.05	19.61	129.00	19,322.27
						ค่าเฉลี่ย	126.72	14.99		24,823.79
						S.D.	27.29			

ตารางที่ ก.16

การต้านทานแรงดัด (Bending) ของไผ่ตงจากภาคเหนือและภาคตะวันตก

รหัสไผ่ตง		การต้านทานแรงดัด (Bending)								
		ความหนาเนื้อไม้ (มม.)	เส้นผ่านศูนย์กลาง (มม.)	โมเมนอินเนอร์เชีย (มิลลิเมตรยกกำลังสี่)	ความยาวลำไผ่ (มม.)	น้ำหนักที่กระทำ (นิวตัน)	กำลังต้านทานแรงดัด (นิวตัน/ตร.มม., MPa)	ความชื้น (%)	ค่าการโก่งตัว (มม.)	โมดูลัสของการยืดหยุ่น (นิวตัน/ตร.มม., MPa)
ภาคเหนือ	N1	10.0	150	10,825,150.00	4500	20,139	104.65	13.16	80.00	37,607.49
	N2	11.0	110	4,240,985.27	3300	20,619	147.07	12.50	105.00	29,531.15
	N3	15.0	115	6,019,968.75	3450	18,012	98.93	12.24	105.00	20,766.73
	N4	10.0	100	2,896,650.00	3000	10,359	89.40	14.00	100.00	17,135.30
	N5	16.0	110	5,367,189.44	3300	15,700	88.48	12.50	80.00	23,319.34
	N6	12.0	110	4,499,481.84	3300	18,248	122.68	12.50	95.00	27,226.03
	N7	17.0	120	7,489,841.22	3600	32,242	154.97	13.70	75.00	47,524.60
	N8	10.0	115	4,584,890.63	3450	22,844	164.73	12.28	85.00	42,716.98
	N9	14.0	110	4,965,018.24	3300	24,392	148.61	12.50	100.00	31,332.48
	N10	12.0	100	3,269,418.24	3000	23,873	182.55	10.53	90.00	38,875.59
						ค่าเฉลี่ย	130.21	12.59		31,603.57
						S.D.	33.77			
ภาคตะวันตก	W1	9.5	125	5,784,121.83	3750	23,471	158.51	30.00	60.00	63,293.56
	W2	11.0	130	7,337,841.67	3900	26,489	152.52	32.39	60.00	63,338.71
	W3	10.0	115	4,584,890.63	3450	24,931	179.78	32.86	75.00	52,836.38
	W4	17.0	140	12,653,822.42	4200	32,889	127.36	26.80	60.00	56,956.82
	W5	15.0	130	9,106,490.63	3900	35,094	162.82	25.61	60.00	67,615.27
	W6	11.0	130	7,337,841.67	3900	27,224	156.75	36.00	70.00	55,796.71
	W7	11.0	125	6,456,121.82	3750	28,851	174.56	22.97	75.00	55,763.18
	W8	10.0	135	7,715,078.13	4050	29,037	171.48	22.58	70.00	63,388.03
	W9	16.0	150	15,325,762.24	4500	41,523	152.40	22.61	70.00	62,592.86
	W10	15.0	130	9,106,490.63	3900	35,682	165.55	28.05	70.00	58,927.00
						ค่าเฉลี่ย	129.80	27.99		31,868.68
						S.D.	18.99			

ตารางที่ ก.17

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยลักษณะทางกายภาพ คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไผ่ตงจาก 4 ภูมิภาคกับไผ่ตงงานวิจัยอื่น

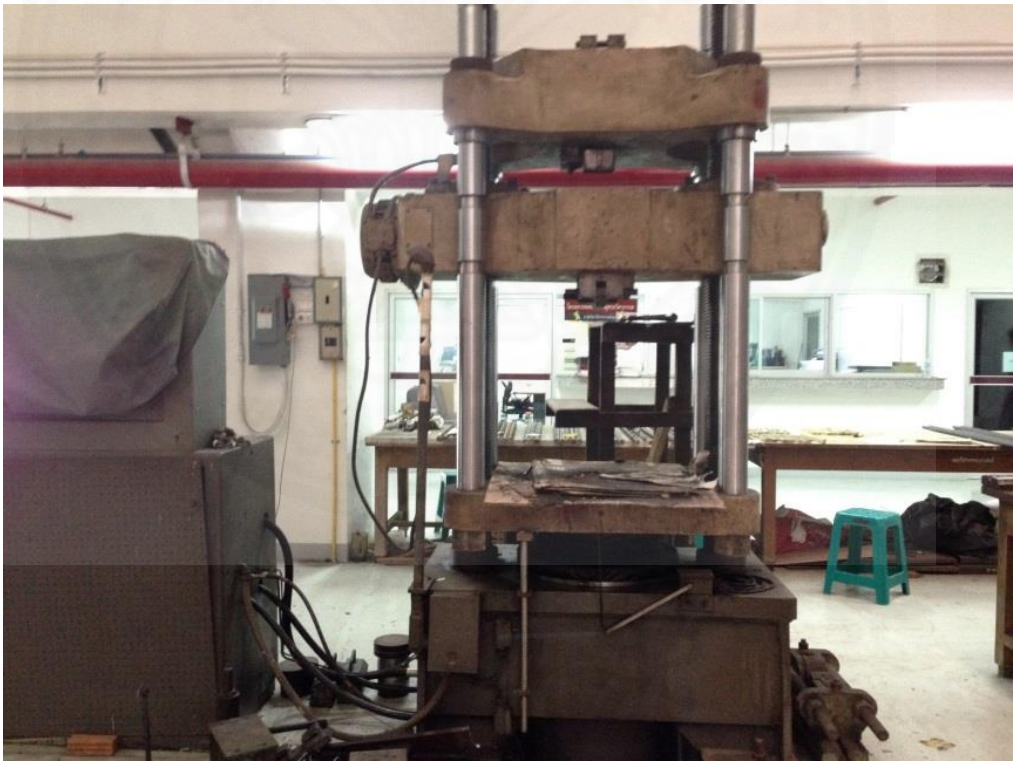
หัวข้อ		ไผ่ตงที่ทดสอบในงานวิจัย				ไผ่ตงในงานวิจัยอื่น			
		ภาคตะวันออก	ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	ภาคเหนือ	ภาคตะวันตก	ฐิติกุล (2540)	สุชาติ (2547)	พัชริกา (2554)	เอกลักษณ์ (2554)
ลักษณะทางกายภาพ	ค่าเฉลี่ยความหนาเนื้อไม้ (มม.)	12.25	16.82	13.39	14.25	12.20	11.10	-	12.70
	ค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลาง (มม.)	103.00	111.00	116.15	135.75	113.20	92.50	-	85.30
	ค่าเฉลี่ยพื้นที่หน้าตัด (ตร.มม.)	3,527.60	4,898.48	4,314.93	5,451.43	-	-	-	-
คุณสมบัติทางกายภาพ	ค่าเฉลี่ยความชื้น (%)	20.33	12.42	12.52	16.84	11.00	11.00	19.98	11.73
	ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นเนื้อไม้ (กก./ลบ.ม.)	667.30	545.80	740.31	1,088.21		767.00		797.95
	ค่าเฉลี่ยการหดตัว (%)								
	ตามยาว	-	-	-	-	0.21	0.10	-	-
	ความหนา	0.19	0.083	0.17	0.36	-	4.20	-	-
คุณสมบัติเชิงกล	ค่าเฉลี่ยการต้านทานแรงอัดขนานเสี้ยน (นิวตัน/ตร.มม., MPa)	41.52	51.24	39.64	39.09	67.00	68.50	34.00	56.80
	ค่าเฉลี่ยการต้านทานแรงดึง (นิวตัน/ตร.มม., MPa)	145.84	97.75	155.12	168.28	-	96.00	61.84	61.80
	ค่าเฉลี่ยการต้านทานแรงเฉือนขนานเสี้ยน (นิวตัน/ตร.มม., MPa)								
	มีข้อ	8.79	9.01	8.11	10.36	-	9.80	34.68	10.60
	ไม่มีข้อ	6.02	7.26	6.68	6.06	14.00	9.40	35.16	9.30
	ค่าเฉลี่ยการต้านทานแรงดัด (นิวตัน/ตร.มม., MPa)	122.24	126.72	130.21	129.8	-	84.00	-	91.80
	ค่าเฉลี่ยโมดูลัสของการยืดหยุ่น (นิวตัน/ตร.มม., MPa)	22,707.81	24,823.79	31,603.57	31,868.38	12,530.00	59,500.00	22,854.75	16,319.66

ภาคผนวก ข
อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

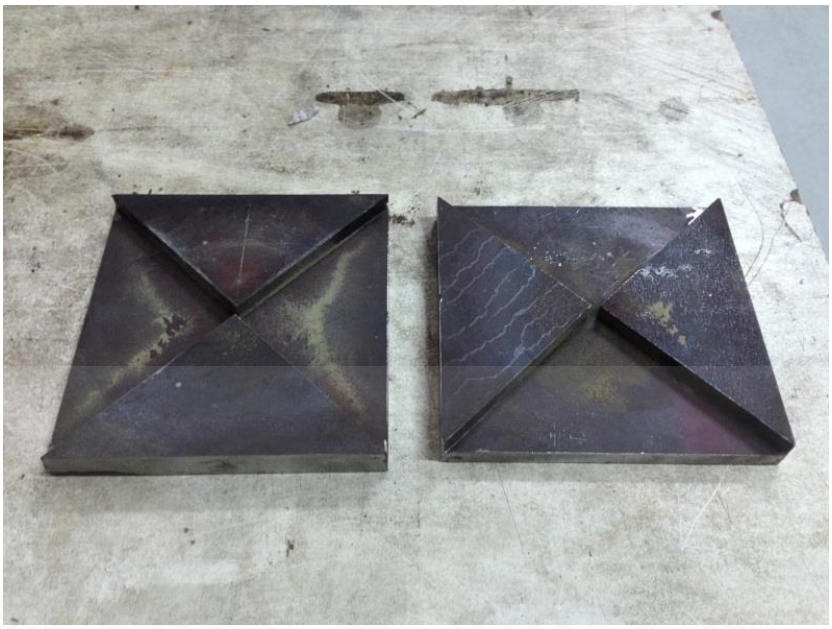
ภาพที่ ข.1 เครื่องชั่งน้ำหนัก

ภาพที่ ข.2 เครื่องมือวัด Vernier Caliper

ภาพที่ ข.3 ตู้อบความร้อน



ภาพที่ ข.4 เครื่องทดสอบ (Testing Machine)



ภาพที่ ข.5 เครื่องมือทดสอบกำลังต้านทานแรงเฉือน (Shear)

ภาพที่ ข.6 เครื่องมือทดสอบกำลังต้านทานแรงดัด (Bending)

ภาคผนวก ค
การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไผ่ตง

ภาพที่ ค.1 การถนอมไม้ไผ่ด้วยระบบอัดน้ำยาสุญญากาศ

ภาพที่ ค.2 ลักษณะของไผ่ตงหลังจากการอบเพื่อหาค่าการหดตัว

ภาพที่ ค.3 ลักษณะของไผ่ตงหลังจากการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัด (Compression)

ภาพที่ ค.4 ลักษณะของไผ่ตงหลังจากการทดสอบกำลังต้านทานแรงเฉือน (Shear)

ภาพที่ ค.5 ลักษณะของไผ่ตงหลังจากการทดสอบกำลังต้านทานแรงดึง (Tension)

ภาพที่ ค.6 ลักษณะของไผ่ตงหลังจากการทดสอบกำลังต้านทานแรงดัด (Bending)

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นางสาวสุภิญญาลักษณ์ จันทรวงศ์
วันเดือนปีเกิด	21 มิถุนายน 2532
วุฒิการศึกษา	ปีการศึกษา 2554: วิทยาศาสตรบัณฑิต (สาขาสถาปัตยกรรม) คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ผลงานทางวิชาการ

สุภิญญาลักษณ์ จันทรวงศ์, และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุปรีดี ฤทธิรงค์ (พฤษภาคม 2557). *การศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของไผ่ตงเพื่อสร้างค่ามาตรฐานกลางของวัสดุและการประยุกต์ใช้ในงานโครงสร้างสำหรับอาคารสาธารณะ*. งานประชุมวิชาการ Built Environment Research Associates Conference: BERAC ครั้งที่ 5 ประจำปี 2557, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, ปทุมธานี.