การพัฒนาคุณภาพและเปลี่ยนสีเนื้อไม้ไผ่ด้วยความร้อนสูง

DEVELOPMENT THE QUALITY AND CHANGE THE COLOR OF BAMBOO WITH HEAT TREATMENT

วรธรรม อุ่นจิตติชัย[1] (WORATHAM OONJITTICHAI)

ประเสริฐ วาณิชย์เจริญ[2] (PRASERT WANITCHARAEN

นพดล กีรติจิรัฐิติกาล[3] (NOPPADOL KEERATIJIRATHTHITIKAN)

วรวิทย์ พลทัสสะ[4] (WORAWITH PHONTASSA)

ลัดดาวัลย์ ชื่นอารมณ์[5] (LADDAWAN CHUNAROM)

มัลลิกา เต็มรัตน์[6] (MALLIKA TEMRAT)

ชินะ จันทร์จรูญ[6] (CHI-NA CHANCHAROUN)

ณภัทร บุณยทรรพ[6] (NAPHAT BOONYATARP)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการปรับปรุงคุณภาพไม้ไผ่โดยการให้ความร้อนสูงเพื่อผลิตเฟอร์นิเจอร์เนื่องจากเนื้อไม้ไผ่มีลักษณะสีที่แตกต่างกันในทางอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ไม้ไม่ค่อยนิยมนำไม้ไผ่มาผ่านการไสเปิดเนื้อไม้เพื่อผลิตเฟอร์นิเจอร์ จึงได้ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพไม้ไผ่ด้วยความร้อนสูงเพื่อทราบถึงระยะเวลาและอุณหภูมิในการเปลี่ยนสีไม้ของไม้ไผ่ และช่วยในการเลือกใช้เวลาและอุณหภูมิในการอบไม้ไผ่ให้เปลี่ยนสีที่เหมาะสม

[1] ผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้านวิจัยและพัฒนาผลิตผลป่าไม้ สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้

[2] นักวิชาการป่าไม้ชำนาญการพิเศษ สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้

[3] รองศาสตราจารย์ วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

[4] นักวิทยาศาสตร์ปฏิบัติการ สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้

[5] ผู้ช่วยนักวิจัย สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้

[6] ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

การทดสอบไม้ไผ่จะนำไม้ไผ่ไปอบความร้อนด้วยอุณหภูมิ 100 120 และ 150 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลา 1 2 และ 3 ชั่วโมง หลังจากนั้นจะนำไม้ไผ่ไปทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติเชิงกลตามมาตรฐาน ISO (The International Organization for Standards)

สรุปผลการทดลองการใช้อุณหภูมิและเวลาที่แตกต่างกันในการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนสูง (Heat Treatment) ปรากฏว่าคุณสมบัติทางกล และคุณสมบัติกายภาพมีค่าลดลงคือ ไม้ไผ่แบบซี่ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เวลา 3 ชั่วโมง ค่าเฉลี่ยความชื้นลดลงต่ำสุดคือ 8.62 เปอร์เซ็นต์ ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นลดลงต่ำสุดคือ 497.87 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สีของไม้ไผ่มีสีเข้มขึ้นสม่ำเสมอทั่วทั้งลำค่าเฉลี่ยโมดูลัสยืดหยุ่น (MOE) ลดลงต่ำสุดคือ 3,852.16 เมกะปาสคาล ไม้ไผ่แบบลำที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เวลา 3 ชั่วโมง ค่าเฉลี่ยโมดูลัสแตกหัก (MOR) ลดลงต่ำสุดคือ 63.62 เมกะปาสคาล ค่าเฉลี่ยการรับแรงอัดขนานเสี้ยนลดลงต่ำสุดคือ 11.64 เมกะปาสคาล ค่าเฉลี่ยการรับแรงอัดตั้งฉากเสี้ยนลดลงต่ำสุดคือ 5.90 เมกะปาสคาล ค่าเฉลี่ยการรับแรงเฉือนขนานเสี้ยนลดลงต่ำสุด 1.98 เมกะปาสคาล และค่าเฉลี่ยการรับแรงดึงขนานเสี้ยนลดลงต่ำสุดคือ 3.74 เมกะปาสคาล ไม้ไผ่แบบซี่ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง ค่าเฉลี่ยการพองตัวการแช่น้ำลดลงต่ำสุดคือ 0.17 เปอร์เซ็นต์ จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าเวลาและอุณหภูมิที่ทำให้คุณสมบัติดีที่สุดคือ ไม้ไผ่แบบลำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 3 ชั่วโมง 120 องศาเซลเซียส เวลา 3 ชั่วโมง และ 150 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง

คำหลัก : ไม้ไผ่ การปรับปรุงด้วยความร้อน เฟอร์นิเจอร์

ABSTRACT

The research to improve the quality of bamboo in the furniture making process by heat. There are many colors of bamboo–texture and difficulty to use in the furniture manufacturing that is the reason for the factory not to prefer to planning bamboo for producing furniture. This project is to find the optimization of the range of time and the temperature for heating that can be change the color of bamboo

The methodology is to heat the bamboo at 100 °C 120 °C and 150 °C. The range of time is set up in three period are 1, 2 and 3 hours. The bamboo are tested the physical and mechanical properties by ISO (The International Organization for Standards)

The result shows the physical and mechanical properties had decreased after heat treatment. The average moisture content of piece of bamboo that had been heated at 150 °C for 3 hours decreased to 8.62% therefore the average density of timber of bamboo decreased to 497.87 kg/m³. The color of bamboo is getting darker whole piece and the average modulus of rupture (MOR) decreased to 63.62 MPa In this condition the average compressive strength parallel to grain of piece of bamboo decreased to 11.64 MPa. The average modulus flexibility (MOE) of piece of bamboo that had been heated decreased to 3,852.16 MPa. also the average compressive strength against the grain of piece of bamboo decreased to 5.90 MPa. At the same condition the average shear parallel to grain of piece of bamboo decreased to 1.98 MPa and the average tensile strength parallel to grain of piece of bamboo decreased to 3.74 MPa and the average swelling water of piece of bamboo that had been heated at 100 °C for 2 hours decreased to 0.17%, this study found that the temperature and time that makes the timber of bamboo get the best properties is 100 °C 3 hours, 120 °C 3 hours and 150 °C 1 hour

Keyword : Bamboo, Heat treatment, Furniture

บทนำ

ปัจจุบันนิยมนำไม้ไผ่มาใช้ในการผลิตเครื่องเรือนต่างๆ และมีความสำคัญทางเศรษฐกิจ เนื่องจากไม้ไผ่ราคาต่ำและมีการปลูกเป็นจำนวนมาก นิยมนำส่วนหน่อไม้ไผ่มาบริโภคส่วนของลำต้นจะนำมาผลิตเป็นเฟอร์นิเจอร์ต่างๆ แต่ทั้งนี้ลำต้นมีหน้าที่ลำเลียงน้ำกับอาหารซึ่งมีแป้งและน้ำตาลมากเกิดเป็นอาหารของเชื้อราและแมลงเข้าไปกินเนื้อไม้เป็นสาเหตุของการเสียหายผุพังในเนื้อไม้ทำให้ความแข็งแรงลดน้อยลง สีของไม้ไผ่ไม่สวยงามซึ่งจะเกิดปัญหาเมื่อนำมาใช้ในงานผลิตภัณฑ์ เช่น เครื่องเรือนหรือของชำร่วยต่างๆ มีอายุการใช้งานน้อยลงผุพังง่าย โดยทั่วไปแล้ววิธีการแก้ปัญหาที่นิยมคือการอัดน้ำยาหรือการแช่น้ำยาเพื่อให้น้ำยาเข้าไปรักษาเนื้อไม้ ซึ่งน้ำยานั้นเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม

จึงได้ทำการศึกษาวิจัยคุณภาพของไม้ไผ่โดยการเปลี่ยนแปลงสารอาหารจำพวกแป้งและน้ำตาลให้เป็นอนุพันธ์ชนิดอื่นๆ ไม่ให้เป็นอาหารของเชื้อราและแมลงที่เข้าไปทำลายคุณภาพของเนื้อไม้ด้วยการให้ความร้อนสูง (Heat treatment) เข้าไปในเนื้อไม้ไผ่ เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพและทดสอบคุณสมบัติทางกลของไม้ไผ่ให้มีลักษณะทางกายภาพและทางกลดีขึ้นโดยที่ไม่ทำให้ผนังเซลล์หรือองค์ประกอบทางเคมีอื่นๆ เช่น เซลลูโลส ลิกนิน ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักต้องไม่เปลี่ยนแปลง เพราะไม่เช่นนั้นจะทำให้แข็งแรงลดน้อยลงซึ่งเป็นสิ่งสำคัญในการนำไปใช้งาน

วิธีการศึกษา

ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีของไม้ไผ่ด้วยความร้อนสูงในเวลาและอุณหภูมิที่แตกต่างกัน มีสภาวะและขั้นตอนการศึกษา ดังนี้

ตารางที่ 1. สภาวะการทดลอง

สภาวะที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (ชั่วโมง)
1	100	1
2	100	2
3	100	3
4	120	1
5	120	2
6	120	3
7	150	1
8	150	2
9	150	3

หมายเหตุ ใช้ชิ้นไม้ไผ่ทดลองสภาวะๆ ละ 12 ชิ้ 3 บ้อง

1. ไม้ไผ่วัตถุดิบ

ไม้ไผ่ที่ใช้ในครั้งนี้ เป็นไผ่หม่าจู หรือ ไผ่ไต้หวัน (*Dendrocalamus Latiforus*) จากอำเภอเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่ และจัดหาโดย สำนักวิจัยและพัฒนากรมป่าไม้ โดนตัดขนาดความยาวให้ได้ขนาด 1 เมตร

ภาพที่ 1. ลักษณะไผ่หม่าจูหรือไผ่ไต้หวัน

2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา

2.1 เครื่องเลื่อยวงเดือน
2.2 เครื่องไสเพลาะ
2.3 เครื่องไสเพลาะ
2.4 เครื่องเราท์เตอร์หัวล่าง
2.5 เครื่องเลื่อยตัดมุม
2.6 ตู้ Heat Treatment
2.7 เครื่องกำเนิดไอน้ำ
2.8 เครื่องทดสอบ

3. ขั้นตอนการเตรียมชิ้นไม้ทดลอง

3.1 ทำการตัดความยาวลำไม้ไผ่ยาว 1.00 เมตร ด้วยเครื่องเลื่อยวงเดือนไม้ไผ่แต่ละลำจะมีขนาดความยาวไม่เท่ากัน โดยการตัดจะพิจารณาส่วนหัวไม้และปลายไม้ว่าส่วนใดมีความสมบูรณ์

3.2 ผ่าลำไม่ไผ่ให้เป็นไม้ซี่ 4 ซี่ ด้วยเครื่องเลื่อยวงเดือน

ก. การผ่าซี่

ข. ลักษณะไม้ไผ่ที่ผ่าซี่

ภาพที่ 2. การผ่าซี่และลักษณะไม้ไผ่ที่ผ่าซี่

3.3 กัดข้อไม้ไผ่ด้านในออกด้วยดอกกัดเครื่องเราท์เตอร์หัวล่าง

ภาพที่ 3. การกัดข้อไม้ไผ่ด้วยดอกกัดเครื่องเราท์เตอร์หัวล่าง

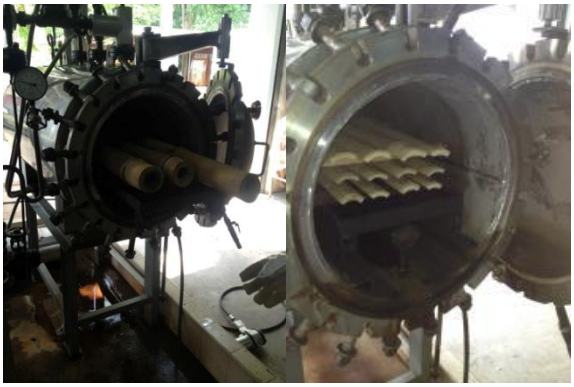
3.3.5 หาค่าความชื้นโดยนำไม้ไผ่ไปวัดขนาดด้วยเวอร์เนียคาลิเปอร์ ชั่งน้ำหนัก และวัดความชื้นโดยวัดขนาดความหนา ความกว้างของไม้ไผ่ที่ตำแหน่งหัว กลาง และ ปลายไม้ไผ่ ทั้ง 2 ด้าน วัดความยาวของไม้ไผ่ วัดเส้นผ่าศูนย์กลางเส้นรอบวงจำนวน 2 ครั้ง ที่ตำแหน่ง หัวไม้ไผ่ และปลายไม้ไผ่จากนั้นนำไปวัดความชื้นด้วยเครื่องวัดความชื้นแบบหัวเข็มโดยวัดที่บริเวณตำแหน่ง หัว กลาง และปลายไม้ไผ่ทั้ง 2 ด้านทางด้านความกว้าง หลังจากนั้นจึงชั่งน้ำหนักของไม้ไผ่ และบันทึกค่าทั้งหมดที่วัดได้

ภาพที่ 4. ตำแหน่งการวัดไม้ไผ่แบบซี่ก่อนทำการ Heat Treatment

ภาพที่ 5. ตำแหน่งการวัดไม้ไผ่แบบลำก่อนทำการ Heat Treatment

3.3.6 อบไม้ไผ่

3.3.6.1 อบไม้ไผ่ในตู้อบ นำไม้ไผ่จำนวน 15 ชิ้น แบบซี่ 12 ชิ้น และแบบลำ 3 ลำ เข้าตู้ Heat Treatment โดยแต่ละชิ้นต้องวางให้ห่างกันประมาณ 1 นิ้ว เมื่อเริ่มทำการ Heat Treatment ทำการเปิดเครื่องกำเนิดไอน้ำ เมื่อความดันของเครื่องกำเนิดไอน้ำ อยู่ที่ประมาณ 10 บาร์ ปล่อยไอน้ำจากเครื่องกำเนิดไอน้ำไปยังตู้ Heat Treatment จะต้องคอยควบคุมอุณหภูมิและความดันภายในเตาให้คงที่ตลอดเวลาที่ทำการ Heat Treatment จดบันทึกค่าแรงดัน อุณหภูมิตามระยะเวลาที่กำหนด



ภาพที่ 6. ตำแหน่งการวางไม้เข้าตู้ Heat Treatment

3.3.6.2 นำไม้ไผ่ออกจากตู้อบ เมื่อครบกำหนดเวลาจึงปรับลดอุณหภูมิและความดันภายในตู้ Heat treatment โดยเปิดวาล์วไล่ไอน้ำร้อนออกจากให้ความดันในเตาลดลงอย่างช้าๆ เพื่อป้องกันการแตกของไม้เนื่องจากความดันเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วใช้เวลาประมาณ 30–40 นาที จนกระทั่งความดันลดลงเหลือประมาณ 0 บาร์ แต่อุณหภูมิของตู้ Heat treatment จะอยู่ประมาณ 90–130 องศาเซลเซียส ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้ในการ Heat Treatment

ภาพที่ 7. การเปิดวาล์วไล่ไอน้ำร้อนออกจากตู้ Heat treatment

3.3.6.3 ทิ้งให้เตาอบเย็นลง จากนั้นจึงนำไม้ไผ่ออกจากตู้ Heat treatment

ภาพที่ 8. การนำไม้ไผ่ออกจากตู้ Heat treatment

3.3.7 ทิ้งไม้ไผ่ไว้ 1 วัน เพื่อให้ไม้ไผ่เย็นตัวลงด้วยกระแสอากาศหลังจากนั้นจึงค่อยวัดขนาด ชั่งน้ำหนัก และวัดความชื้น

ภาพที่ 9. ไม้ไผ่เมื่อผ่านการ Heat treatment

4. ขั้นตอนการเตรียมชิ้นไม้ทดสอบ

การเตรียมชิ้นไม้ไผ่ทดสอบในการทดสอบทางกายสมบัติและทางกลสมบัติ ตามมาตรฐาน ISO (The International Organization for Standards)

4.1 ตัดขนาดชิ้นไม้ทดสอบ

4.1.1 ตัดหัวไม้ไผ่ทั้ง 2 ด้าน ด้านละ 6 เซนติเมตร เนื่องจากไม้ได้สูญเสียความชื้นและมีรอยแตก

4.1.2 ตัดตามชนิดของการทดลองดังนี้

- ความชื้น ตามมาตรฐาน ISO 3130 1975
- ความหนาแน่น ตามมาตรฐาน ISO 3131 1975
- การรับแรงอัดขนานเสี้ยน ตามมาตรฐาน ISO 3132 1975
- ความแข็งแรงหรือโมดูลัสแตกหัก ตามมาตรฐาน ISO 3133 1975
- การรับแรงดึงขนานเสี้ยน ตามมาตรฐาน ISO 3345 1975

- การรับแรงเฉือนขนานเสี้ยน ตามมาตรฐาน ISO 3347 1975
- การรับแรงอัดตั้งฉากเสี้ยน ตามมาตรฐาน ISO 3787 1976
- การพองตัวตามความหนา ไม้ไผ่ขนาด 2 x 5 x 5 เมตร

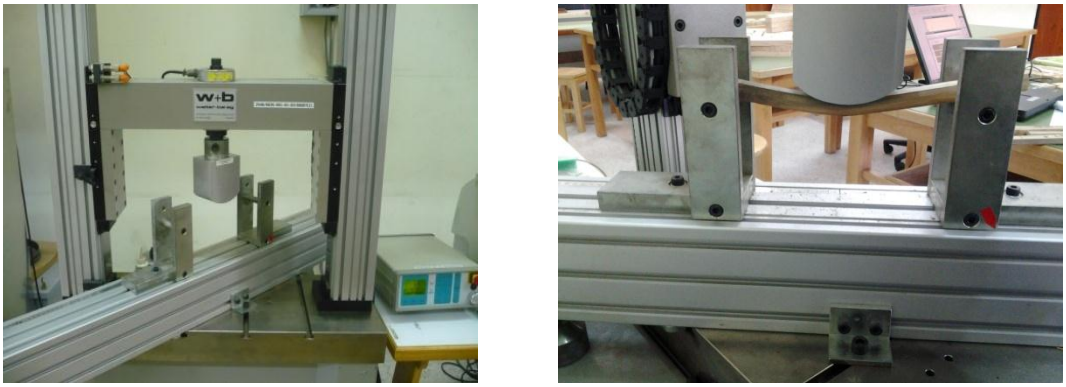
4.2 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ

4.2.1 การทดสอบหาค่าความชื้น (Moisture content ; MC) และการทดสอบหาค่าความหนาแน่น (Density) ตัดชิ้นทดสอบมาตามมาตรฐาน ISO 3130 1975 โดยกำหนดขนาดชิ้นทดสอบ 2 x 2 x 2.5 เซนติเมตร ทำการวัดความหนาแน่นโดยวัดความกว้าง ความยาว และความหนาของชิ้นทดสอบด้วยเวอร์เนียคาร์ลิปเปอร์ นำค่าจดบันทึกไว้ในตารางข้อมูลมาคำนวณหาค่าความหนาแน่น

ภาพที่ 10. ชิ้นทดสอบความชื้น และความหนาแน่น

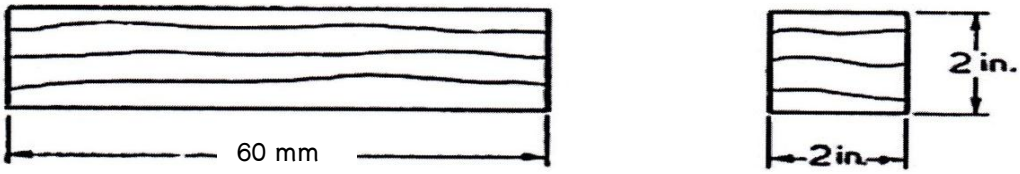
4.3 การทดสอบคุณสมบัติทางกล

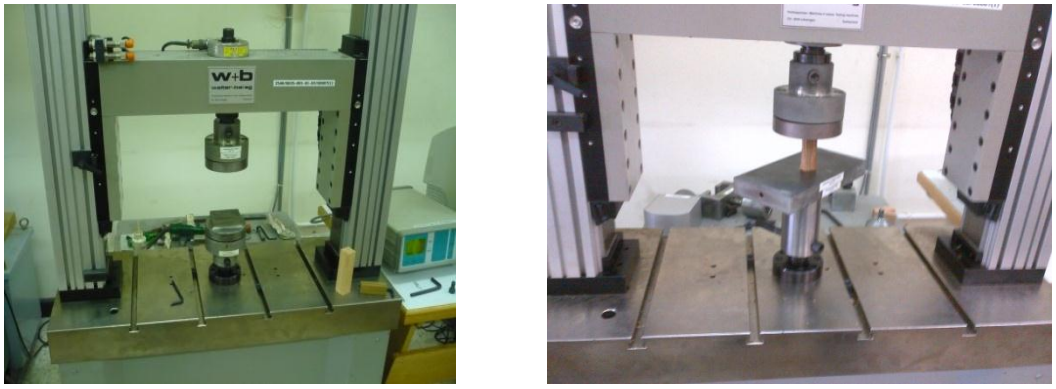
4.3.1 การทดสอบหาค่ามอดูลัสแตกร้าว และมอดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of rupture and Modulus of elasticity) โดยตัดชิ้นทดสอบตามมาตรฐาน ISO 3133 1975 ซึ่งกำหนดขนาดของชิ้นทดสอบไว้ 2 x 2 x 32 เซนติเมตร แล้วชั่งชิ้นทดสอบด้วยเครื่องชั่งแบบดิจิตอล วางชิ้นทดสอบลงบนแท่นรองรับซึ่งมีระยะห่าง 15 เท่าของความหนาของชิ้นทดสอบ จากนั้นใช้แรงกดสูงสุดเท่ากับ P เวลาที่ใช้ตั้งแต่เริ่มต้นกดจนกระทั่งชิ้นทดสอบหักนำค่าจดบันทึกไว้ในตารางข้อมูลมาคำนวณหาค่าความหนาแน่น



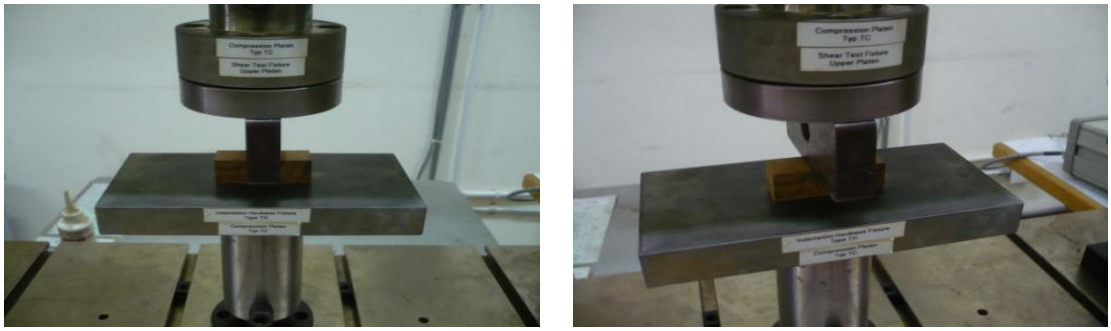
ภาพที่ 11. การทดสอบค่ามอดูลัสแตกร้าวและมอดูลัสยืดหยุ่น

4.3.2 การทดสอบการรับแรงอัดขนานเสี้ยน (Compression parallel to grain) โดยตัดชิ้นทดสอบตามมาตรฐาน ISO 3132 1975 และการทดลองการรับแรงอัดตั้งฉากเสี้ยน (Compressive stress perpendicular to grain) ตามมาตรฐาน ISO 3787 1976 ซึ่งกำหนดขนาดของชิ้นทดสอบไว้ 2 x 2 x 6 เซนติเมตร แล้วชั่งชิ้นทดสอบด้วยเครื่องชั่งแบบดิจิตอล วางชิ้นทดสอบลงบนแท่นรองรับจากนั้นใช้แรงกดสูงสุด



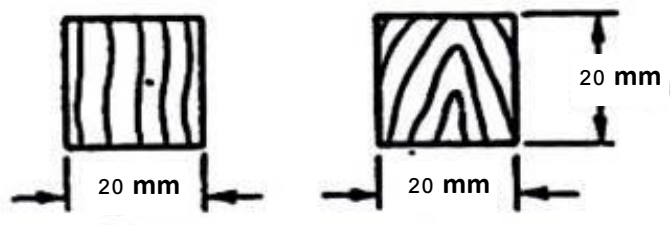


ภาพที่ 13. การทดสอบค่าการรับแรงอัดขนานเสี้ยน

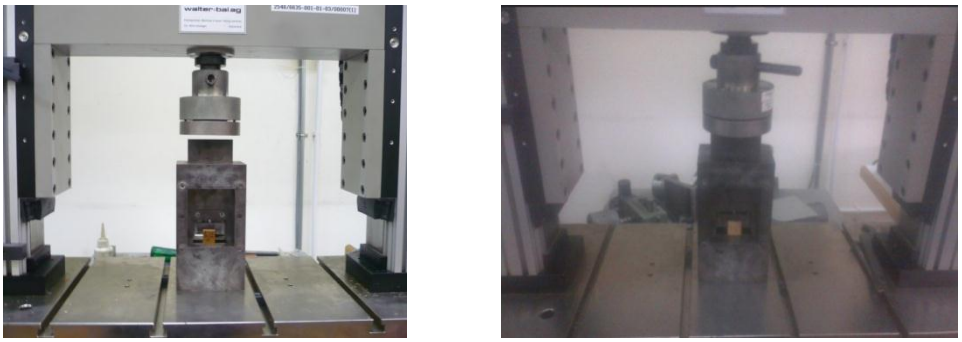


ภาพที่ 14. การทดสอบค่าการรับแรงอัดตั้งฉากเสี้ยน

4.3.3 การทดสอบการรับแรงเฉือนขนานเสี้ยน (Shearing stress parallel to grain) โดยตัดชิ้นทดสอบตามมาตรฐาน ISO 3347 1975 ซึ่งกำหนดขนาดของชิ้นทดสอบไว้ 2 x 2 x 2 เซนติเมตร แล้วชั่งชิ้นทดสอบด้วยเครื่องชั่งแบบดิจิตอล วางชิ้นทดสอบลงบนแท่นรองรับจากนั้นใช้แรงกดสูงสุด



ภาพที่ 15. ชิ้นทดสอบค่าการรับเฉือนขนานเสี้ยน



ภาพที่ 16. การทดสอบค่าการรับเฉือนขนานเสี้ยน

4.3.4 การทดสอบการรับแรงดึงขนานเสี้ยน (Tensile stress parallel to grain) โดยตัดชิ้นทดสอบตามมาตรฐาน ISO 3347 1975 ซึ่งกำหนดขนาดของชิ้นทดสอบไว้ 1 x 2 x 34 เซนติเมตร แล้วชั่งชิ้นทดสอบด้วยเครื่องชั่งแบบดิจิตอล นำชิ้นทดสอบลงบนแท่นจับจากนั้นใช้แรงดึงสูงสุด

ภาพที่ 17. การทดสอบค่าการรับแรงดึงขนานเสี้ยน

4.3.5 การทดสอบการพองตัวทางความหนาหลังแช่น้ำ (Shrinkage and swelling) โดยตัดชิ้นทดสอบขนาด 2 x 5 x 5 เซนติเมตร โดยวัดความกว้างและความยาวของชิ้นทดสอบด้วยเวอร์เนียคาลิปเปอร์ แล้ววัดความหนาของชิ้นทดสอบ ทั้ง 4 ด้าน ชั่งน้ำหนักชิ้นทดสอบด้วยเครื่องชั่งแบบดิจิตอล เป็นมวลก่อนแช่น้ำนำชิ้นทดสอบไปแช่น้ำที่ในภาชนะควบคุมอุณหภูมิที่บรรจุน้ำนิ่งและสะอาดที่อุณหภูมิห้องโดยวางชิ้นทดสอบในระนาบเดียวกับระดับผิวน้ำโดยขอบบนอยู่ใต้ผิวน้ำประมาณ 3 เซนติเมตร โดยชิ้นทดสอบแต่ละชิ้นจะต้องวางห่างกันและห่างจากผนังของภาชนะที่บรรจุพอสมควร เมื่อแช่น้ำครบ 2 และ 24 ชั่วโมง แล้วจึงนำชิ้นทดสอบขึ้นจากน้ำ ผึ่งชิ้นทดสอบทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที จึงนำมาชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งแบบดิจิตอล เป็นน้ำหนักหลังแช่น้ำ และวัดความหนาด้วยเวอร์เนียคาลิปเปอร์รายงานค่าเฉลี่ยการพองตัวของชิ้นทดสอบ

5. ขั้นตอนการเทียบสีชิ้นไม้ทดสอบ

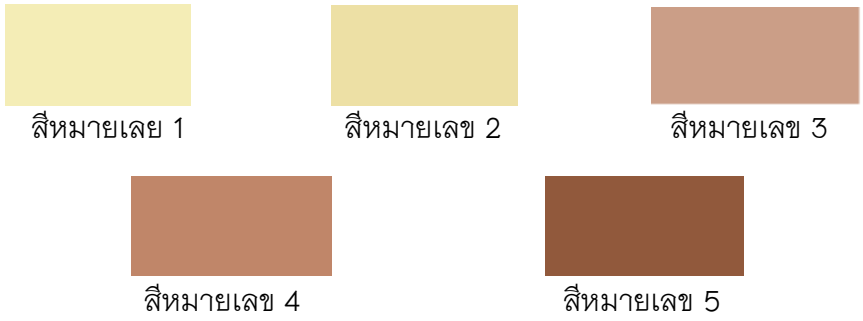
5.1 นำชิ้นไม้ไผ่ตัวอย่างหลังอบ ไปไสผิวหน้าด้วยเครื่องไสเพลาะ

5.2 นำชิ้นไม้ไผ่ตัวอย่างมาแบ่งออกเป็นกลุ่มสี โดยกำหนดกลุ่มสีในการจำแนกทั้งหมด 5 กลุ่มสี

5.3 นำชิ้นตัวอย่างมาเขียนอุณหภูมิและช่วงเวลาที่ใช้ในการอบไว้ด้านใดด้านหนึ่ง

5.4 ทำการจำแนกสีของไม้ไผ่โดยการเลือกจากชิ้นตัวอย่างโดยไม่ดูด้านที่มีเวลาและอุณหภูมิโดยการจำแนกให้ยึดตามสีของชิ้นไม้โดยดูกลุ่มสีที่ใกล้เคียงที่สุด

5.5 เมื่อแบ่งชิ้นไม้ตามกลุ่มสีจนครบทุกสภาวะแล้วให้ทำการดูด้านที่มีเวลาและอุณหภูมิบันทึกไว้แล้วทำการบันทึกค่าสีที่ได้ในตารางบันทึกค่า



ภาพที่ 18. ตัวอย่างสีและหมายเลขสีที่ใช้ในการเปรียบเทียบ

ตารางที่ 2. รหัสสีที่ใช้ในการเปรียบเทียบสีไม้ไผ่

ภาพสี	รหัส Code สี
	R : 245 G : 238 B : 182
	R : 237 G : 224 B : 165
	R : 192 G : 134 B : 105
	R : 185 G : 122 B : 87
	R : 145 G : 89 B : 60

ภาพที่ 19. สีของไม้ไผ่เมื่อผ่านการปรับปรุงคุณภาพ

จากภาพที่ 19 การเรียงตัวของเนื้อไม้ไผ่ที่ผ่านการ Heat Treatment โดยที่

หมายเลข 1 อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
หมายเลข 2 อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
หมายเลข 3 อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
หมายเลข 4 อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
หมายเลข 5 อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
หมายเลข 6 อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
หมายเลข 7 อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
หมายเลข 8 อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
หมายเลข 9 อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล

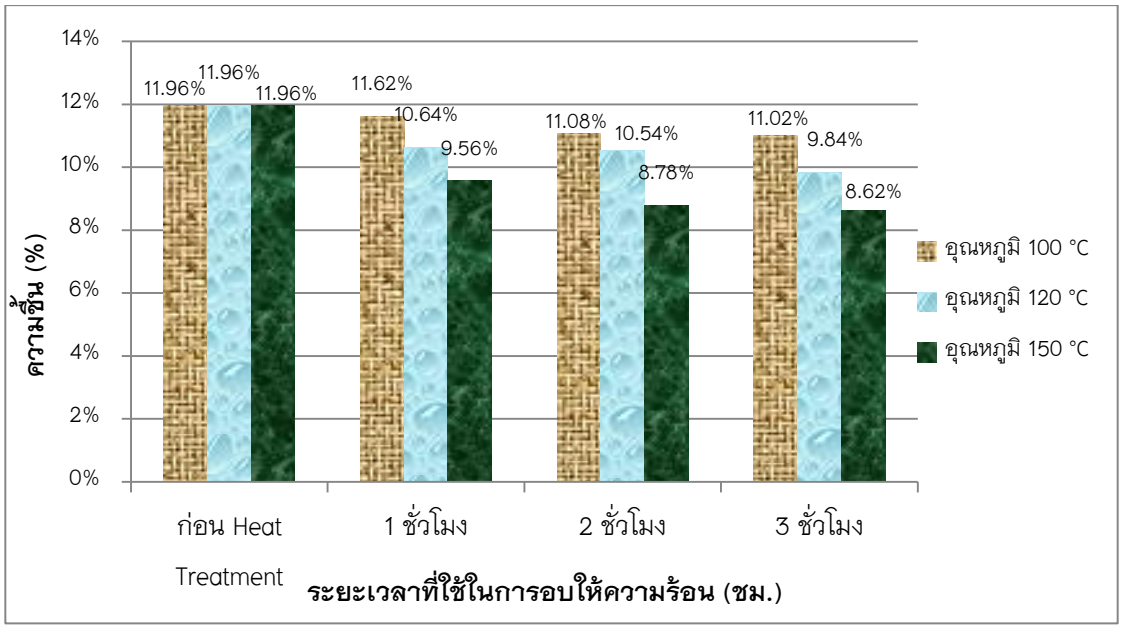
จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีของไม้ไผ่ด้วยความร้อนสูงในเวลาและอุณหภูมิที่แตกต่างกัน โดยการทดลอง 9 สภาวะ คือ สภาวะอุณหภูมิที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 2 และ 3 ชั่วโมง สภาวะอุณหภูมิที่ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 2 และ 3 ชั่วโมง และสภาวะอุณหภูมิที่ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 2 และ 3 ชั่วโมง ซึ่งใช้มาตรฐาน ISO (The International Organization for Standards) ได้ผลการทดลองดังนี้

1. ผลการทดลองค่าเฉลี่ยทางกายภาพในสภาวะต่างๆ

1.1 ค่าความชื้น (Moisture Content ; MC)

ตารางที่ 3. ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยความชื้น (MC) ของไม้ไผ่แบบซี่ก่อนและหลังการอบให้ความร้อน (Heat treatment)

สภาวะ	**ความชื้นก่อน Heat Treatment (%)**	**ความชื้นของไม้ไผ่หลังระยะเวลาที่ใช้ในการ Heat Treatment (%)**		
		1 ชั่วโมง	**2 ชั่วโมง**	**3 ชั่วโมง**
อุณหภูมิ 100 °C	11.96	11.62	11.08	11.02
อุณหภูมิ 120 °C	11.96	10.64	10.54	9.84
อุณหภูมิ 150 °C	11.96	9.56	8.78	8.62

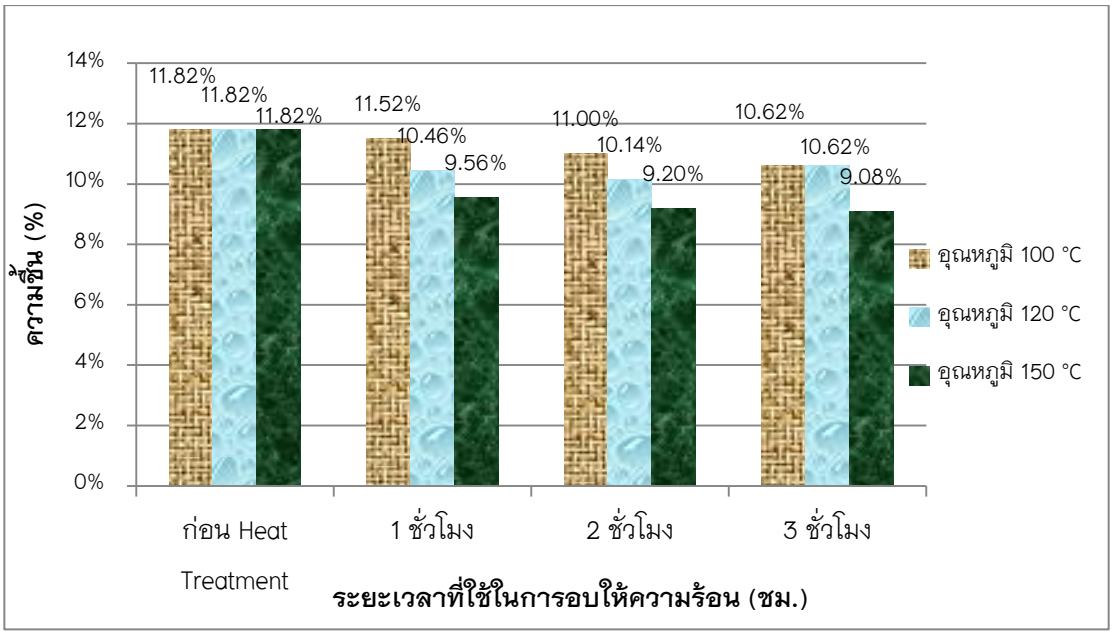


ภาพที่ 20. ค่าเฉลี่ยความชื้นของไม้ไผ่แบบซี่ก่อนและหลังอบให้ความร้อน (Heat Treatment)

จากภาพที่ 20. แสดงให้เห็นว่าในการ Heat Treatment เมื่อใช้อุณหภูมิ และเวลาที่สูงขึ้นจะส่งผลให้ค่าความชื้นของซี่ไม้ไผ่มีแนวโน้มที่ลดลง

ตารางที่ 4. ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยความชื้น (MC) ของไม้ไผ่แบบลำก่อนและหลังการอบให้ความร้อน (Heat Treatment)

สภาวะ	**ความชื้นก่อน Heat Treatment (%)**	**ความชื้นของไม้ไผ่หลังระยะเวลาที่ใช้ในการ Heat Treatment (%)**		
		1 ชั่วโมง	**2 ชั่วโมง**	**3 ชั่วโมง**
อุณหภูมิ 100 °C	11.82	11.52	11.00	10.62
อุณหภูมิ 120 °C	11.82	10.46	10.14	9.98
อุณหภูมิ 150 °C	11.82	9.56	9.20	9.08



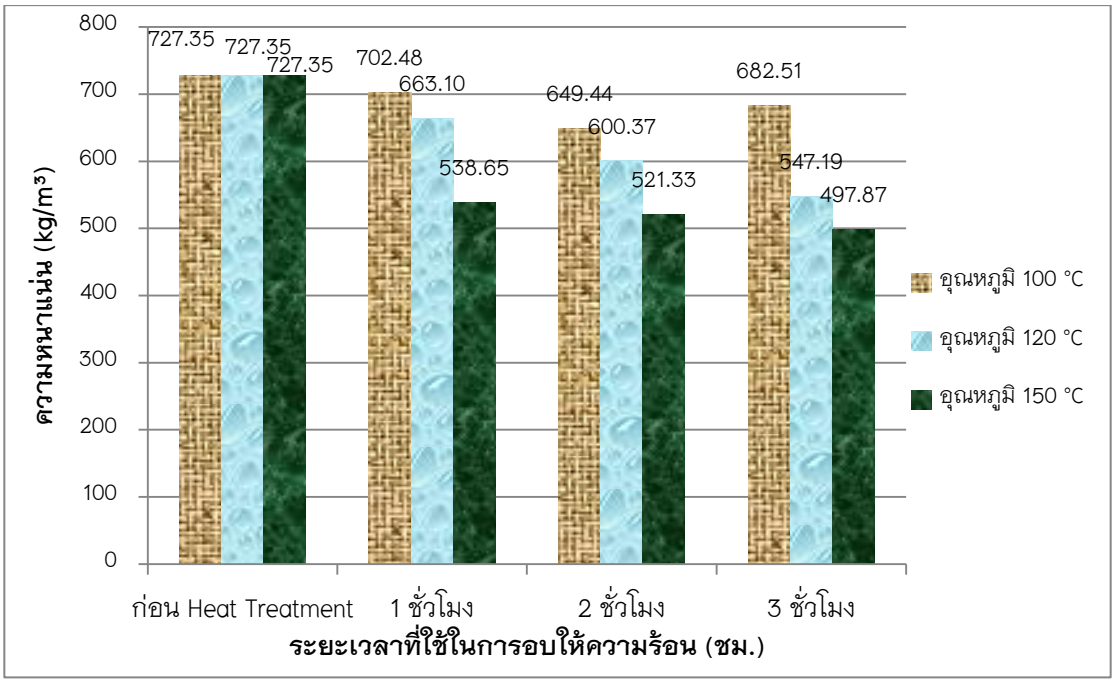
ภาพที่ 21. ค่าเฉลี่ยความชื้นของไม้ไผ่แบบลำก่อนและหลังอบให้ความร้อนHeat Treatment

จากภาพที่ 21. แสดงให้เห็นว่าในการ Heat Treatment เมื่อใช้อุณหภูมิ และ เวลาที่สูงขึ้นจะส่งผลให้ค่าความชื้นของไม้ไผ่มีแนวโน้มที่ลดลง

1.2 ความหนาแน่น (Density)

ตารางที่ 5. ผลการทดลองค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของไม้ไผ่แบบซี่ก่อนและหลังอบให้ความร้อน (Heat Treatment)

สภาวะ	**ความหนาแน่นของไม้ไผ่ก่อน Heat Treatment (kg/m³)**	**ความหนาแน่นของไม้ไผ่หลังระยะเวลาที่ใช้ในการ Heat Treatment (kg/m³)**		
		1 ชั่วโมง	**2 ชั่วโมง**	**3 ชั่วโมง**
อุณหภูมิ 100 °C	727.35	702.48	649.44	682.51
อุณหภูมิ 120 °C	727.35	663.10	600.37	547.19
อุณหภูมิ 150 °C	727.35	538.65	521.33	497.87

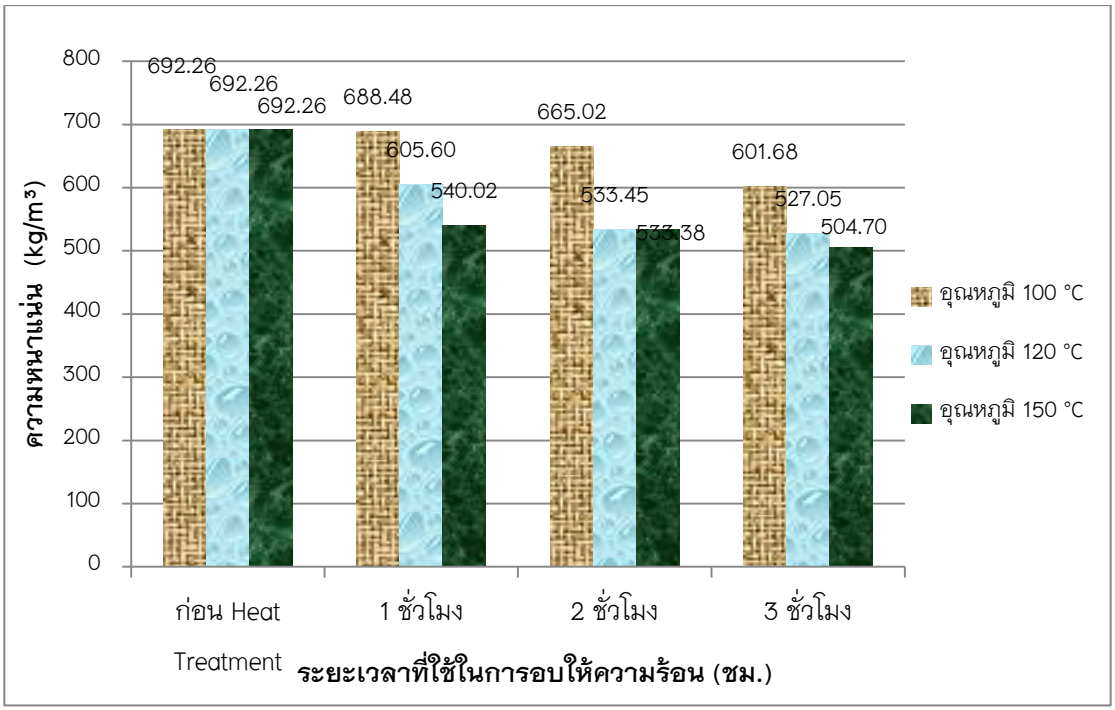


ภาพที่ 22. กราฟค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของไม้ไผ่แบบซี่ก่อนและหลังอบให้ความร้อน Heat Treatment

จากภาพที่ 22. พบว่า เมื่อ Heat Treatment ในอุณหภูมิ และ เวลาที่สูงขึ้นจะส่งผลให้ค่าความหนาแน่นของไม้ไผ่ทำให้มีแนวโน้มที่ลดลง

ตารางที่ 6. ผลการทดลองค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของไม้ไผ่แบบลำก่อนและหลังอบให้ความร้อน (Heat Treatment)

สภาวะ	**ความหนาแน่นของไม้ไผ่ ก่อน Heat Treatment (kg/m³)**	**ความหนาแน่นของไม้ไผ่หลัง ระยะเวลาที่ใช้ในการ Heat Treatment (kg/m³)**		
		1 ชั่วโมง	**2 ชั่วโมง**	**3 ชั่วโมง**
อุณหภูมิ 100 °C	692.26	688.48	665.02	601.68
อุณหภูมิ 120 °C	692.26	605.60	533.45	527.05
อุณหภูมิ 150 °C	692.26	540.02	533.38	504.70



ภาพที่ 23. แสดงกราฟค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของไม้ไผ่แบบลำก่อนและหลังอบให้ความร้อน Heat Treatment

จากภาพที่ 23. ลักษณะกราฟ แสดงให้เห็นว่าเมื่อ Heat Treatment ในอุณหภูมิ และเวลาที่สูงขึ้นจะส่งผลให้ค่าความหนาแน่นของไม้ไผ่มีแนวโน้มที่ลดลง

1.3 การเทียบสี

ตารางที่ 7. ผลการทดลองค่าเฉลี่ยการเทียบสีของไม้ไผ่สภาวะต่างๆ ของไม้ไผ่แบบซี่หลังอบให้ความร้อน (Heat Treatment)

สภาวะการทดสอบ	ทดสอบไม้ไผ่ซี่ที่					ค่าเฉลี่ย	แนวโน้มค่าของสี
	1	2	3	4	5		
100 °C 1 ชม.	1	1	1	1	1	1.0	1
100 °C 2 ชม.	2	2	2	2	1	1.8	2
100 °C 3 ชม.	2	2	2	2	2	2.0	2
120 °C 1 ชม.	3	3	3	4	3	3.2	3
120 °C 2 ชม.	3	4	3	3	3	3.2	3
120 °C 3 ชม.	4	4	4	4	5	4.2	4
150 °C 1 ชม.	4	4	4	5	4	4.2	4
150 °C 2 ชม.	5	5	5	5	4	4.8	5
150 °C 3 ชม.	5	5	5	5	5	5	5

***หมายเหตุ** แนวโน้มของสีใช้หลักการปัดเศษทศนิยม เพื่อให้เข้ากับหมายเลขสีตามตารางการเปรียบเทียบสี

สีหมายเลย 1

สีหมายเลข 2

สีหมายเลข 3

สีหมายเลข 4

สีหมายเลข 5

ตารางที่ 8. ผลการทดลองค่าเฉลี่ยการเทียบสีของไม้ไผ่สภาวะต่าง ๆ ของไม้ไผ่แบบลำหลังอบให้ความร้อน (Heat Treatment)

สภาวะการทดสอบ	**ทดสอบไม้ไผ่ลำที่**					**ค่าเฉลี่ย**	**แนวโน้มค่าของสี**
	1	**2**	**3**	**4**	**5**		
100 °C 1 ชม.	1	1	1	1	1	1.0	1
100 °C 2 ชม.	2	2	1	2	2	1.8	2
100 °C 3 ชม.	2	2	2	1	2	1.8	2
120 °C 1 ชม.	3	3	3	2	3	2.8	3
120 °C 2 ชม.	2	3	3	3	3	2.8	3
120 °C 3 ชม.	4	4	4	4	4	4.0	4
150 °C 1 ชม.	4	5	4	4	4	4.2	4
150 °C 2 ชม.	4	5	5	4	5	4.8	5
150 °C 3 ชม.	5	5	4	5	5	4.8	5

*** หมายเหตุ** แนวโน้มของสีใช้หลักการปัดเศษทศนิยม เพื่อให้เข้ากับหมายเลขสีตามตารางการเปรียบเทียบสี

สีหมายเลย 1

สีหมายเลข 2

สีหมายเลข 3

สีหมายเลข 4

สีหมายเลข 5

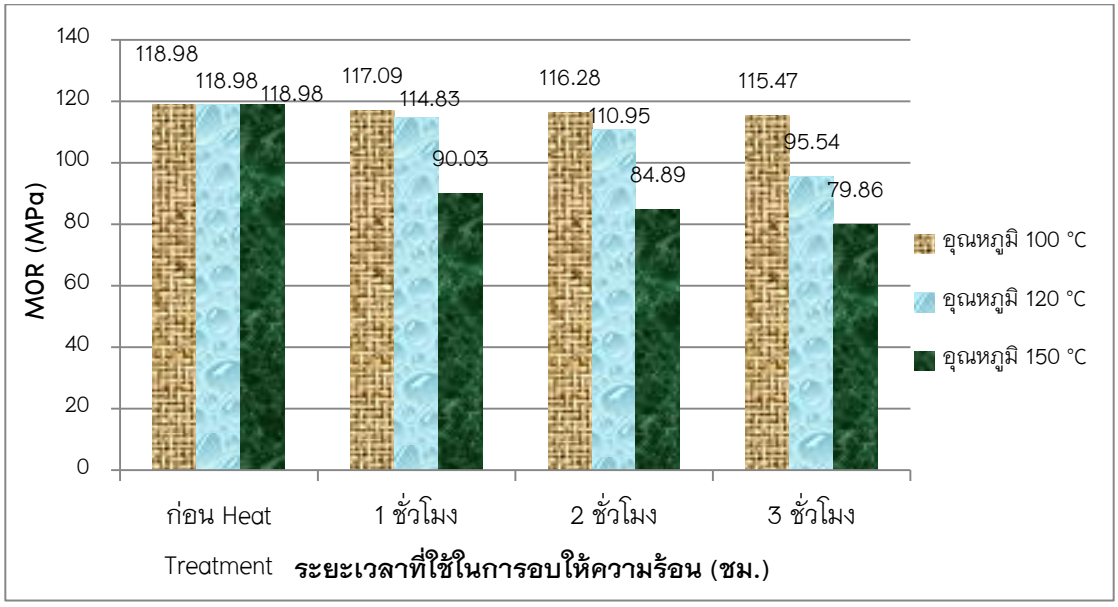
4.2 ผลการทดลองค่าเฉลี่ยคุณสมบัติเชิงกลในสภาวะต่าง ๆ

4.2.1 การรับแรงดัดสถิตย์ (Static Bending)

4.2.1.1 โมดูลัสแตกหัก (MOR)

ตารางที่ 9. ผลการทดลองค่าเฉลี่ยการรับแรงดัดสถิตย์โมดูลัสแตกร้าว (MOR) ของไม้ไผ่แบบซี่ก่อนและหลังการอบให้ความร้อน (Heat Treatment)

สภาวะ	แรงดัดสถิตย์โมดูลัสแตกร้าว (MOR) ก่อน Heat Treatment (MPa)	แรงดัดสถิตโมดูลัสแตกร้าว (MOR) หลังระยะเวลาที่ใช้ในการ Heat Treatment (MPa)		
		1 ชั่วโมง	2 ชั่วโมง	3 ชั่วโมง
อุณหภูมิ 100 °C	118.98	117.09	116.28	115.47
อุณหภูมิ 120 °C	118.98	114.83	110.95	95.54
อุณหภูมิ 150 °C	118.98	90.03	84.89	79.86

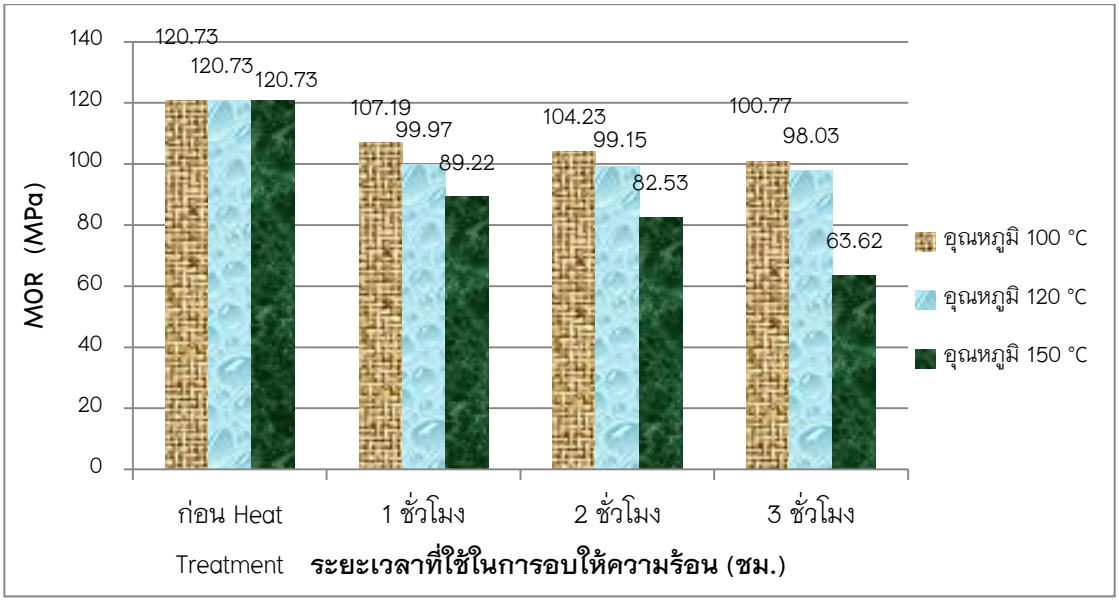


ภาพที่ 24. แสดงกราฟค่าเฉลี่ยความแข็งแรงในการรับแรงดัดสถิตย์โมดูลัสแตกหัก (MOR) ของไม้ไผ่แบบซี่ก่อนและหลังการอบให้ความร้อน (Heat Treatment)

จากภาพที่ 24. ลักษณะกราฟแสดงให้เห็นว่าในการ Heat Treatmentเมื่อใช้อุณหภูมิ และ เวลาที่สูงขึ้นจะส่งผลให้การรับแรงดัดสถิตย์โมดูลัสการแตกหักของไม้ไผ่มีแนวโน้มลดลง

ตารางที่ 10. ผลการทดลองค่าเฉลี่ยการรับแรงดัดสถิตย์โมดูลัสแตกร้าว (MOR) ของไม้ไผ่แบบลำก่อนและหลังการอบให้ความร้อน (Heat Treatment)

สภาวะ	แรงดัดสถิตย์โมดูลัสแตกร้าว (MOR) ก่อน Heat Treatment (MPa)	แรงดัดสถิตย์โมดูลัสแตกร้าว (MOR)หลังระยะเวลาที่ใช้ในการ Heat Treatment (MPa)		
		1 ชั่วโมง	2 ชั่วโมง	3 ชั่วโมง
อุณหภูมิ 100 °C	120.73	107.19	104.23	100.77
อุณหภูมิ 120 °C	120.73	99.97	99.15	98.03
อุณหภูมิ 150 °C	120.73	89.22	82.53	63.62



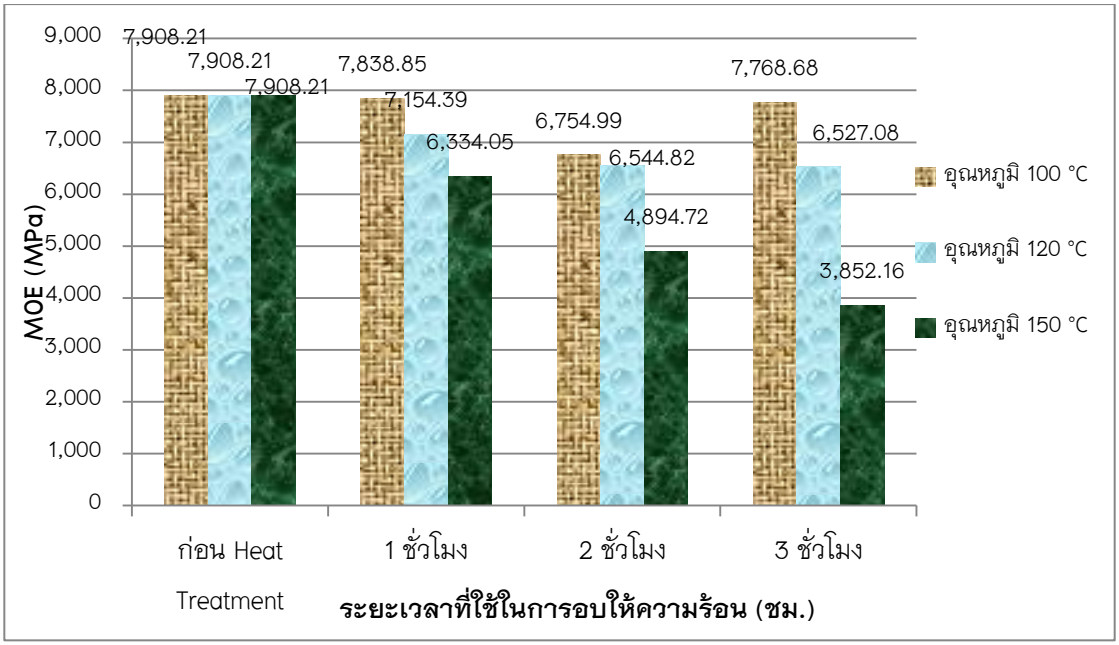
ภาพที่ 25. แสดงกราฟค่าเฉลี่ยความแข็งแรงในการรับแรงดัดสถิตย์โมดูลัสแตกหัก (MOR) ของไม้ไผ่แบบลำก่อนและหลังการอบให้ความร้อน (Heat Treatment)

จากภาพที่ 25. ลักษณะกราฟแสดงให้เห็นว่าในการ Heat Treatment เมื่อใช้อุณหภูมิ และ เวลาที่สูงขึ้นจะส่งผลให้การรับแรงดัดสถิตย์โมดูลัสการแตกหักของไม้ไผ่มีแนวโน้มลดลง

4.2.1.3 โมดูลัสยืดหยุ่น (MOE)

ตารางที่ 11. ผลการทดลองค่าเฉลี่ยการรับแรงดัดสถิตย์โมดูลัสยืดหยุ่น (MOE) ของไม้ไผ่แบบซี่ก่อนและหลังการอบให้ความร้อน (Heat Treatment)

สภาวะ	แรงดัดสถิตย์โมดูลัสยืดหยุ่น (MOE) ก่อน Heat Treatment (MPa)	แรงดัดสถิตย์โมดูลัสยืดหยุ่น (MOE)หลังระยะเวลาที่ใช้ในการ Heat Treatment (MPa)		
		1 ชั่วโมง	2 ชั่วโมง	3 ชั่วโมง
อุณหภูมิ 100 °C	7,908.21	7,838.85	6,754.99	7,768.68
อุณหภูมิ 120 °C	7,908.21	7,154.39	6,544.82	6,527.08
อุณหภูมิ 150 °C	7,908.21	6,334.05	4,894.72	3,852.16

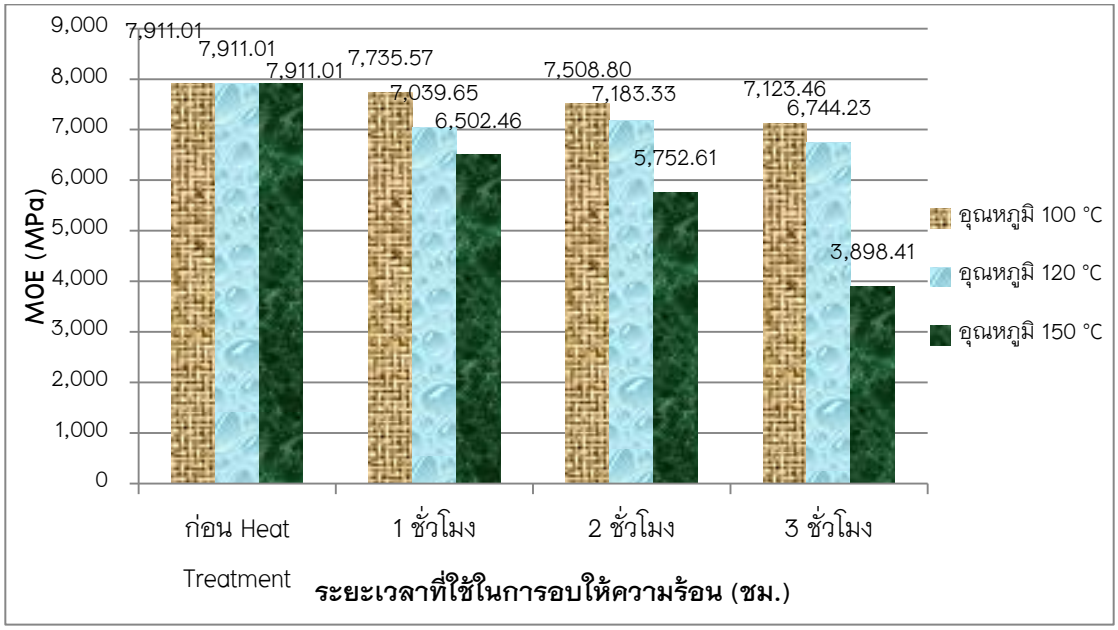


ภาพที่ 26. แสดงกราฟค่าเฉลี่ยความแข็งแรงในการรับแรงดัดสถิตย์โมดูลัสยืดหยุ่น (MOE) ของไม้ไผ่แบบซี่ก่อนและหลังการอบให้ความร้อน (Heat Treatment)

จากภาพที่ 26. ลักษณะกราฟ แสดงให้เห็นว่าในการ Heat Treatment เมื่อใช้เวลา และอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้ค่าการรับแรงดัดสถิตโมดูลัสยืดหยุ่น ของไม้ไผ่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น

ตารางที่ 12. ผลการทดลองค่าเฉลี่ยการรับแรงดัดสถิตย์โมดูลัสยืดหยุ่น (MOE) ของไม้ไผ่แบบลำก่อนและหลังการอบให้ความร้อน (Heat Treatment)

สภาวะ	แรงดัดสถิตย์โมดูลัสยืดหยุ่น (MOE) ก่อน Heat Treatment (MPa)	แรงดัดสถิตย์โมดูลัสยืดหยุ่น (MOE) หลังระยะเวลาที่ใช้ในการ Heat Treatment (MPa)		
		1 ชั่วโมง	2 ชั่วโมง	3 ชั่วโมง
อุณหภูมิ 100 °C	7,911.01	7,735.57	7,508.8	7,123.46
อุณหภูมิ 120 °C	7,911.01	7,039.65	7,183.33	6,744.23
อุณหภูมิ 150 °C	7,911.01	6,502.46	5,752.61	3,898.41



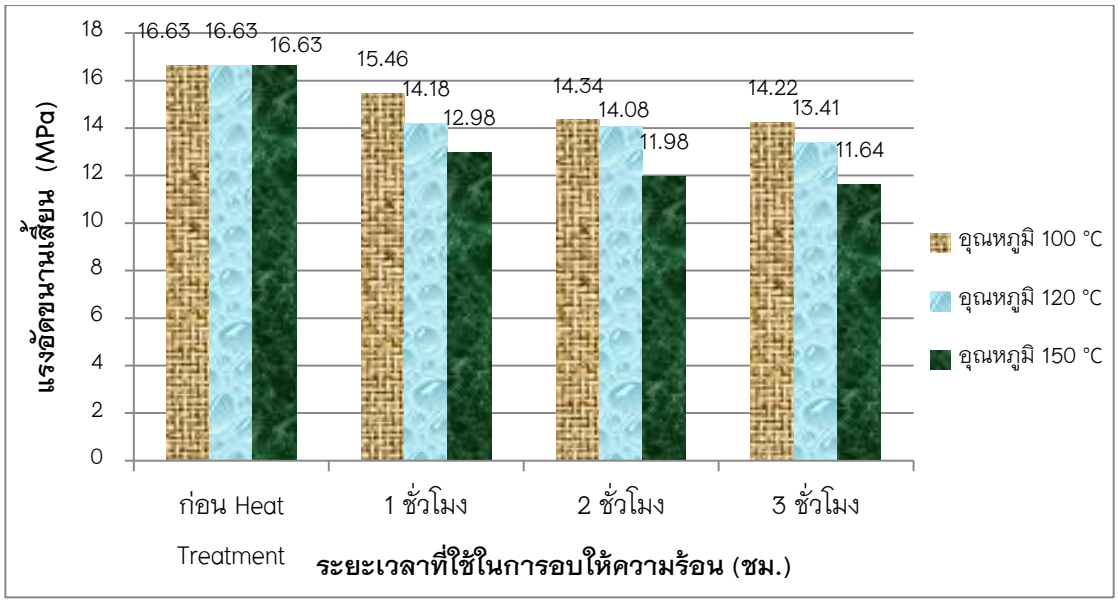
ภาพที่ 27. แสดงกราฟค่าเฉลี่ยความแข็งแรงในการรับแรงดัดสถิตย์โมดูลัสยืดหยุ่น (MOE) ของไม้ไผ่แบบลำก่อนและหลังการอบให้ความร้อน (Heat Treatment)

จากภาพที่ 27. ลักษณะกราฟ แสดงให้เห็นว่าในการ Heat Treatment เมื่อใช้เวลา และ อุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้ค่าการรับแรงดัดสถิตโมดูลัสยืดหยุ่น ของไม้ไผ่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น

4.2.2 การรับแรงอัดขนานเสี้ยน (Compression Parallel to Grain)

ตารางที่ 13. ผลการทดลองค่าเฉลี่ยการรับแรงอัดขนานเสี้ยนของไม้ไผ่แบบซี่ก่อนและหลังการอบให้ความร้อน (Heat Treatment)

สภาวะ	**แรงอัดขนานเสี้ยน ก่อน Heat Treatment (MPa)**	**แรงอัดขนานเสี้ยน หลังระยะเวลาที่ใช้ในการ Heat Treatment (MPa)**		
		1 ชั่วโมง	2 ชั่วโมง	3 ชั่วโมง
อุณหภูมิ 100 °C	16.63	15.46	14.34	14.22
อุณหภูมิ 120 °C	16.63	14.18	14.08	13.41
อุณหภูมิ 150 °C	16.63	12.98	11.98	11.64

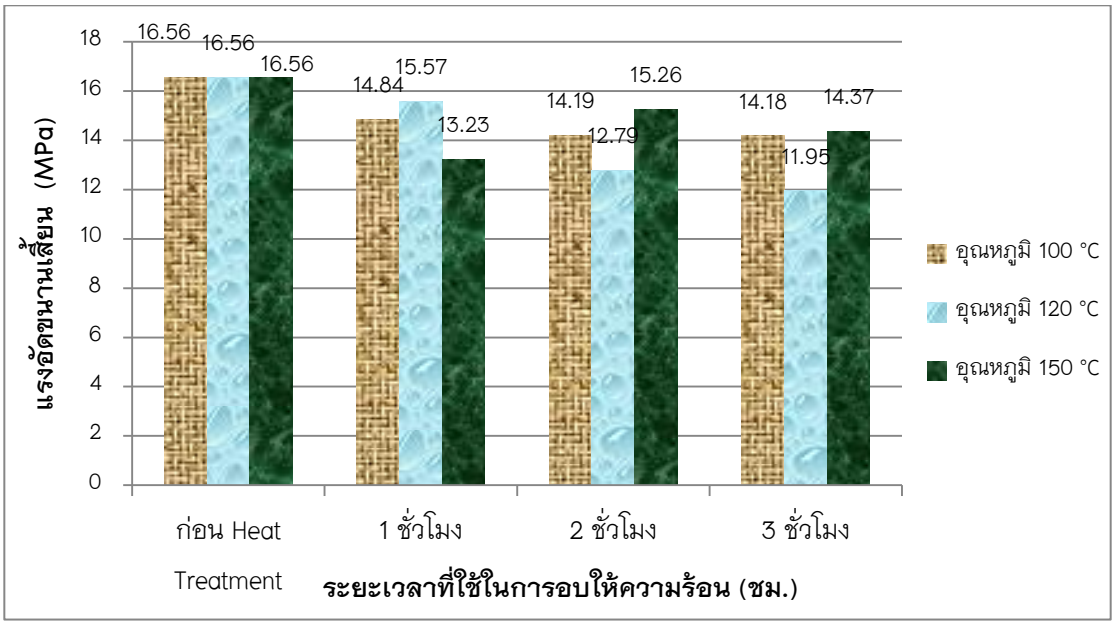


ภาพที่ 28. แสดงกราฟค่าเฉลี่ยความแข็งแรงในการรับแรงอัดขนานเสี้ยนของไม้ไผ่แบบซี่ก่อนและหลังการอบให้ความร้อน (Heat Treatment)

จากภาพที่ 28. ลักษณะของกราฟ แสดงให้เห็นว่าในการ Heat Treatment เมื่อใช้อุณหภูมิและเวลาที่เพิ่มสูงขึ้น จะส่งผลให้ค่าแรงอัดขนานเสี้ยนของไม้ไผ่มีแนวโน้มที่ลดลง

ตารางที่ 14. ผลการทดลองค่าเฉลี่ยการรับแรงอัดขนานเสี้ยนของไม้ไผ่แบบลำก่อนและหลังการอบให้ความร้อน (Heat Treatment)

สภาวะ	แรงอัดขนานเสี้ยน ก่อน Heat Treatment (MPa)	แรงอัดขนานเสี้ยน หลังระยะเวลาที่ใช้ในการ Heat Treatment (MPa)		
		1 ชั่วโมง	2 ชั่วโมง	3 ชั่วโมง
อุณหภูมิ 100 °C	16.56	14.84	14.19	14.18
อุณหภูมิ 120 °C	16.56	15.57	12.79	11.95
อุณหภูมิ 150 °C	16.56	13.23	15.26	14.37



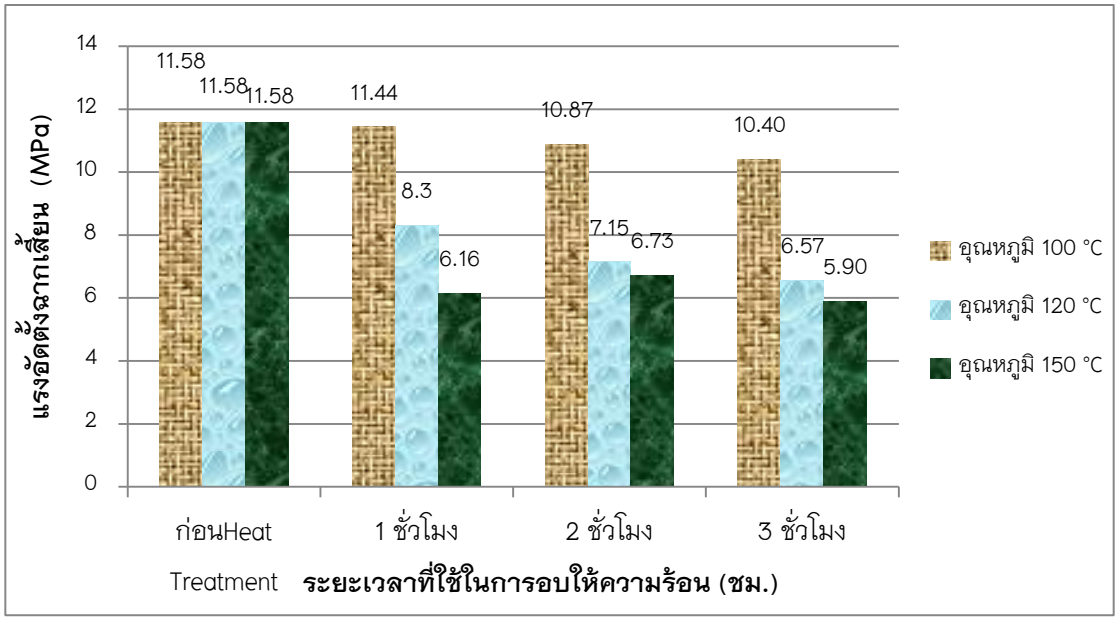
ภาพที่ 29. แสดงกราฟค่าเฉลี่ยความแข็งแรงในการรับแรงอัดขนานเสี้ยนของไม้ไผ่แบบลำก่อนและหลังการอบให้ความร้อน (Heat Treatment)

จากภาพที่ 29. ลักษณะของกราฟ แสดงให้เห็นว่าในการ Heat Treatment เมื่อใช้อุณหภูมิ และเวลาที่เพิ่มสูงขึ้น จะส่งผลให้ค่าแรงอัดขนานเสี้ยนของไม้ไผ่มีแนวโน้มที่ลดลง

4.2.3 การรับแรงอัดตั้งฉากเสี้ยน (Compressive Stress perpendicular to Grain)

ตารางที่ 15. ผลการทดลองค่าเฉลี่ยการรับแรงอัดตั้งฉากเสี้ยนของไม้ไผ่แบบซี่ก่อนและหลังการอบให้ความร้อน (Heat Treatment)

สภาวะ	แรงอัดตั้งฉากเสี้ยน ก่อนHeat Treatment (MPa)	แรงอัดขนานเสี้ยน หลังระยะเวลาที่ใช้ในการ Heat Treatment (MPa)		
		1 ชั่วโมง	2 ชั่วโมง	3 ชั่วโมง
อุณหภูมิ 100 °C	11.58	11.14	10.87	10.40
อุณหภูมิ 120 °C	11.58	8.3	7.15	6.57
อุณหภูมิ 150 °C	11.58	6.16	6.73	5.90

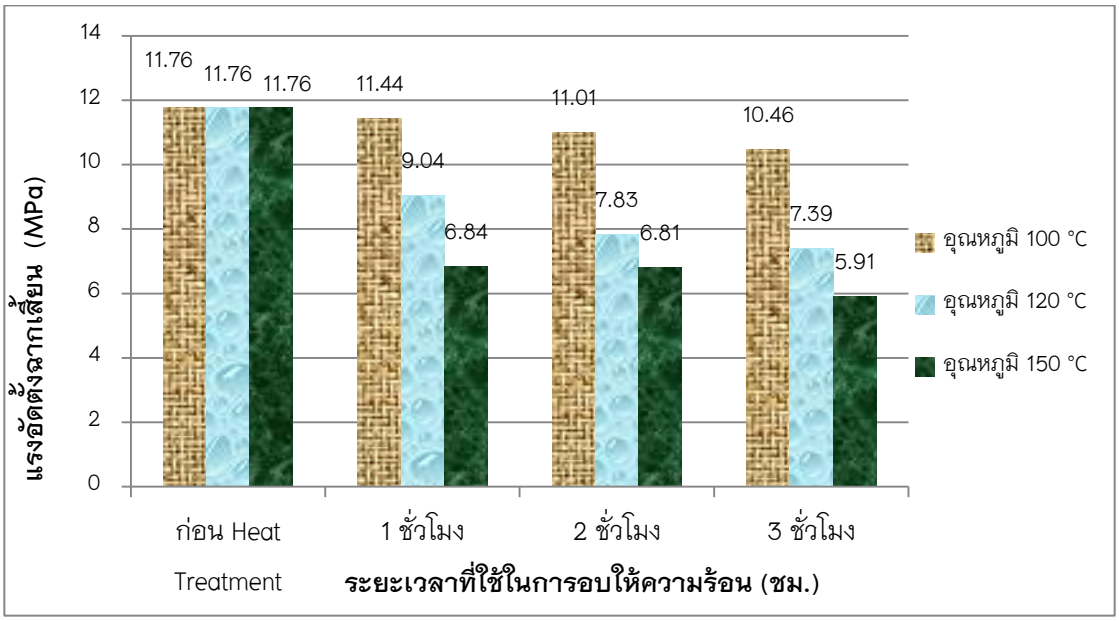


ภาพที่ 30. แสดงกราฟค่าเฉลี่ยความแข็งแรงในการรับแรงอัดตั้งฉากเสี้ยนของไม้ไผ่แบบซี่ก่อนและหลังการอบให้ความร้อน (Heat Treatment)

จากภาพที่ 30. ลักษณะกราฟ แสดงให้เห็นว่าในการ Heat Treatment เมื่อใช้อุณหภูมิ และเวลาที่สูงขึ้น จะส่งผลให้การรับแรงอัดตั้งฉากเสี้ยนของไม้ไผ่มีแนวโน้มลดลง

ตารางที่ 16. ผลการทดลองค่าเฉลี่ยการรับแรงอัดตั้งฉากเสี้ยนของไม้ไผ่แบบลำก่อนและหลังการอบให้ความร้อน (Heat Treatment)

สภาวะ	แรงอัดตั้งฉากเสี้ยนก่อน Heat Treatment (MPa)	แรงอัดตั้งฉากเสี้ยน หลังระยะเวลาที่ใช้ในการ Heat Treatment (MPa)		
		1 ชั่วโมง	2 ชั่วโมง	3 ชั่วโมง
อุณหภูมิ 100 °C	11.76	11.44	11.01	10.46
อุณหภูมิ 120 °C	11.76	9.04	7.83	7.39
อุณหภูมิ 150 °C	11.76	6.84	6.81	5.91



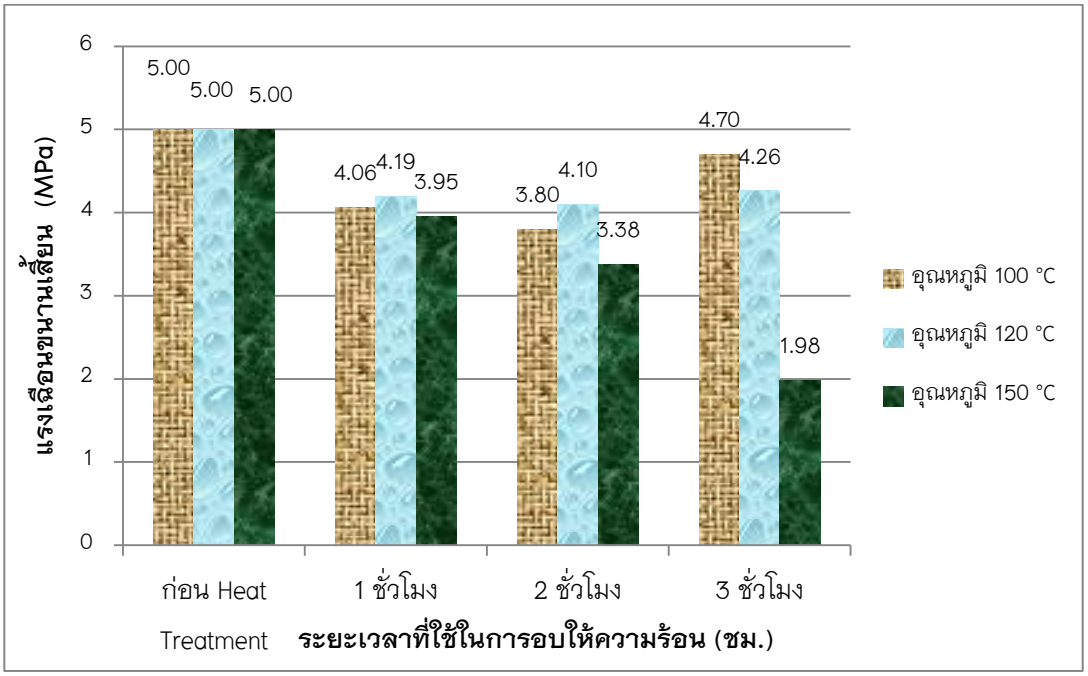
ภาพที่ 31. แสดงกราฟค่าเฉลี่ยความแข็งแรงในการรับแรงอัดตั้งฉากเสี้ยนของไม้ไผ่แบบลำก่อนและหลังการอบให้ความร้อน(Heat Treatment)

จากภาพที่ 31. ลักษณะกราฟ แสดงให้เห็นว่าในการ Heat Treatment เมื่อใช้อุณหภูมิ และ เวลาที่สูงขึ้น จะส่งผลให้การรับแรงอัดตั้งฉากเสี้ยนของไม้ไผ่มีแนวโน้มลดลง

4.2.4 การรับแรงเฉือนขนานเสี้ยน (Shearing Stress Parallel to Grain)

ตารางที่ 17. ผลการทดลองค่าเฉลี่ยการรับแรงเฉือนขนานเสี้ยนของไม้ไผ่แบบซี่ก่อนและหลังการอบให้ความร้อน (Heat Treatment)

สภาวะ	แรงเฉือนขนานเสี้ยนก่อน Heat Treatment (MPa)	แรงเฉือนขนานเสี้ยน หลังระยะเวลาที่ใช้ในการ Heat Treatment (MPa)		
		1 ชั่วโมง	2 ชั่วโมง	3 ชั่วโมง
อุณหภูมิ 100 °C	5.00	4.06	3.80	4.70
อุณหภูมิ 120 °C	5.00	4.19	4.10	4.26
อุณหภูมิ 150 °C	5.00	3.95	3.38	1.98

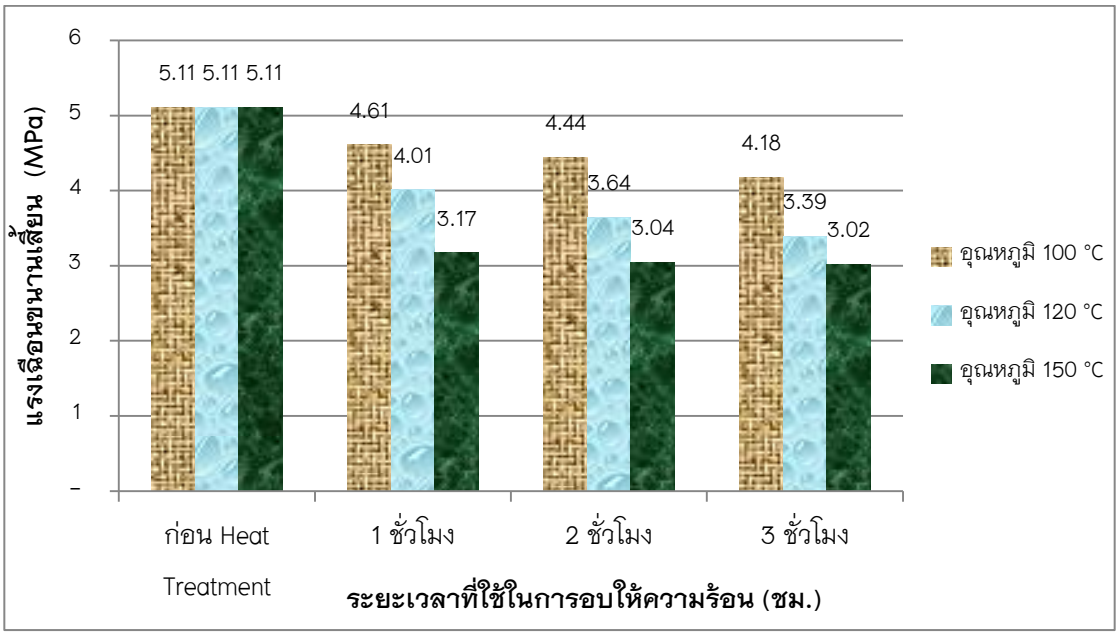


ภาพที่ 32. แสดงกราฟค่าเฉลี่ยความแข็งแรงในการรับแรงเฉือนขนานเสี้ยนของไม้ไผ่แบบซี่ก่อนและหลังการอบให้ความร้อน (Heat Treatment)

จากภาพที่ 32. ลักษณะกราฟแสดงให้เห็นว่าในการ Heat Treatment เมื่อใช้อุณหภูมิ และ เวลาที่สูงขึ้นจะส่งผลให้การรับแรงเฉือนขนานเสี้ยนของไม้ไผ่มีแนวโน้มที่ลดลง

ตารางที่ 18. ผลการทดลองค่าเฉลี่ยการรับแรงเฉือนขนานเสี้ยนของไม้ไผ่แบบลำก่อนและหลังการอบให้ความร้อน (Heat Treatment)

สภาวะ	แรงเฉือนขนานเสี้ยนก่อน Heat Treatment (MPa)	แรงเฉือนขนานเสี้ยน หลังระยะเวลาที่ใช้ในการ Heat Treatment (MPa)		
		1 ชั่วโมง	2 ชั่วโมง	3 ชั่วโมง
อุณหภูมิ 100 °C	5.11	4.61	4.44	4.18
อุณหภูมิ 120 °C	5.11	4.01	3.64	3.39
อุณหภูมิ 150 °C	5.11	3.17	3.04	3.02



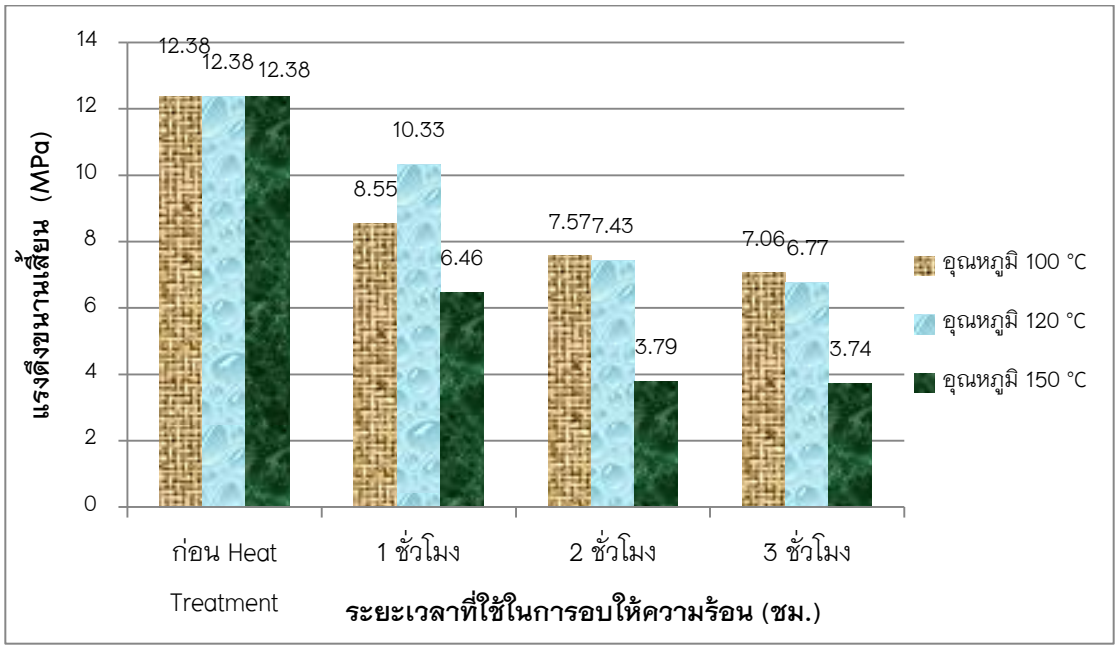
ภาพที่ 33. แสดงกราฟค่าเฉลี่ยความแข็งแรงในการรับแรงเฉือนขนานเสี้ยนของไม้ไผ่แบบลำก่อนและหลังการอบให้ความร้อน (Heat Treatment)

จากภาพที่ 33. ลักษณะกราฟแสดงให้เห็นว่าในการ Heat Treatment เมื่อใช้อุณหภูมิ และ เวลาที่สูงขึ้นจะส่งผลให้การรับแรงเฉือนขนานเสี้ยนของไม้ไผ่มีแนวโน้มที่ลดลง

4.2.5 การรับแรงดึงขนานเสี้ยน (Tensile Stress Parallel to Grain)

ตารางที่ 19. ผลการทดลองค่าเฉลี่ยการรับแรงดึงขนานเสี้ยนของไม้ไผ่แบบซี่ก่อนและหลังการอบให้ความร้อน (Heat Treatment)

สภาวะ	แรงดึงขนานเสี้ยนก่อน Heat Treatment (MPa)	แรงดึงขนานเสี้ยนหลังระยะเวลาที่ใช้ในการ Heat Treatment (MPa)		
		1 ชั่วโมง	2 ชั่วโมง	3 ชั่วโมง
อุณหภูมิ 100 °C	12.38	8.55	7.57	7.06
อุณหภูมิ 120 °C	12.38	10.33	7.43	6.77
อุณหภูมิ 150 °C	12.38	6.46	3.79	3.74

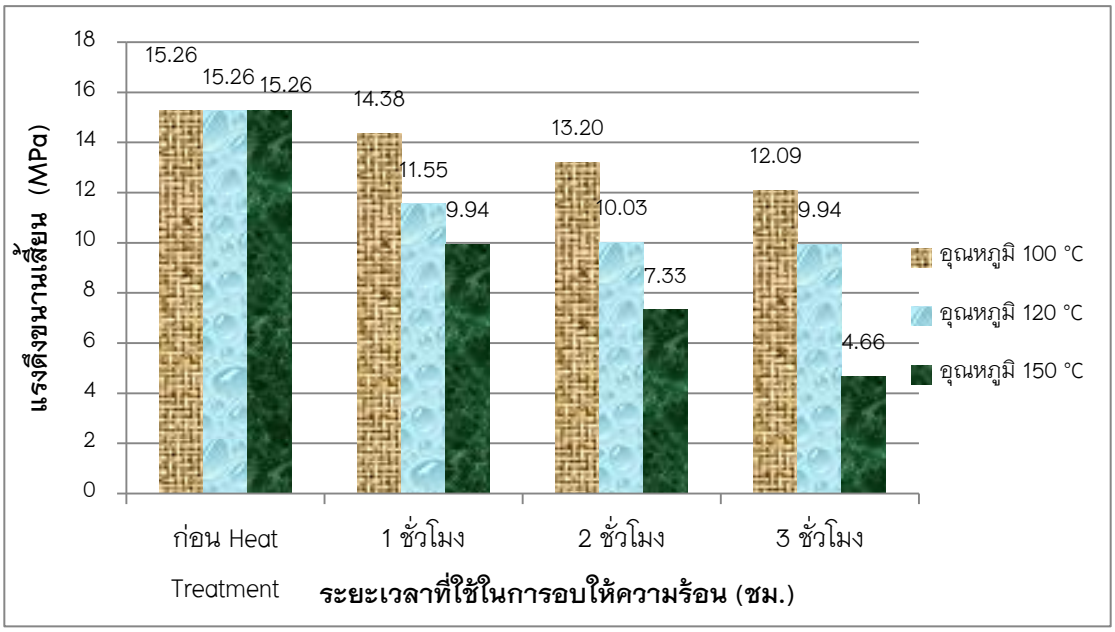


ภาพที่ 34. แสดงกราฟค่าเฉลี่ยค่าความแข็งแรงในการรับแรงดึงขนานเสี้ยนของไม้ไผ่แบบซี่ก่อนและหลังการอบให้ความร้อน (Heat Treatment)

จากภาพที่ 34. ลักษณะกราฟ แสดงให้เห็นว่าในการ Heat Treatment เมื่อใช้อุณหภูมิ และ เวลาที่สูงขึ้นจะส่งผลให้ค่าแรงดึงขนานเสี้ยนของไม้ไผ่มีแนวโน้มลดลง

ตารางที่ 20. ผลการทดลองค่าเฉลี่ยการรับแรงดึงขนานเสี้ยนไม้ไผ่แบบลำก่อนและหลังการอบให้ความร้อน(Heat Treatment)

สภาวะ	ก่อน Heat Treatment (MPa)	ระยะเวลาที่ใช้ในการ Heat Treatment (MPa)		
		1 ชั่วโมง	2 ชั่วโมง	3 ชั่วโมง
อุณหภูมิ 100 °C	15.26	14.38	13.20	12.09
อุณหภูมิ 120 °C	15.26	11.55	10.03	9.94
อุณหภูมิ 150 °C	15.26	9.94	7.33	4.66



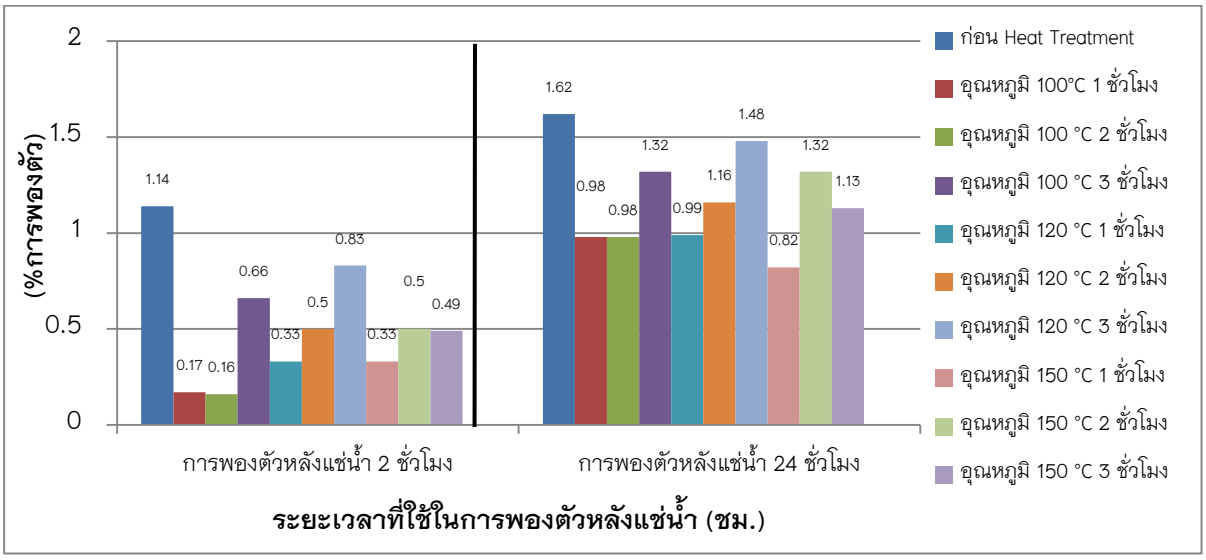
ภาพที่ 35. แสดงกราฟค่าเฉลี่ยค่าความแข็งแรงในการรับแรงดึงขนานเสี้ยนของไม้ไผ่แบบลำก่อนและหลังการอบให้ความร้อน (Heat Treatment)

จากภาพที่ 35. จากลักษณะกราฟ แสดงให้เห็นว่าในการ Heat Treatment เมื่อใช้อุณหภูมิ และเวลาที่สูงขึ้น จะส่งผลให้ค่าแรงดึงขนานเสี้ยนของไม้ไผ่มีแนวโน้มลดลง

4.2.6 การพองตัวทางความหนาหลังแช่น้ำ(Shrinkage and Swelling)

ตารางที่ 21. ผลการทดลองค่าเฉลี่ยการพองตัวหลังแช่น้ำของไม้ไผ่แบบซี่ก่อนและหลังการอบให้ความร้อน (Heat Treatment)

สภาวะ	การพองตัวหลังแช่น้ำ 2 ชั่วโมง	การพองตัวหลังแช่น้ำ 24 ชั่วโมง
ก่อน Heat Treatment	1.14 %	1.62 %
อุณหภูมิ 100 °C 1 ชั่วโมง	0.17 %	0.98 %
อุณหภูมิ 100 °C 2 ชั่วโมง	0.16%	0.98 %
อุณหภูมิ 100 °C 3 ชั่วโมง	0.66 %	1.32 %
อุณหภูมิ 120 °C 1 ชั่วโมง	0.33 %	0.99 %
อุณหภูมิ 120 °C 2 ชั่วโมง	0.50 %	1.16 %
อุณหภูมิ 120 °C 3 ชั่วโมง	0.83 %	1.48 %
อุณหภูมิ 150 °C 1 ชั่วโมง	0.33 %	0.82 %
อุณหภูมิ 150 °C 2 ชั่วโมง	0.50 %	1.32 %
อุณหภูมิ 150 °C 3 ชั่วโมง	0.49 %	1.13 %

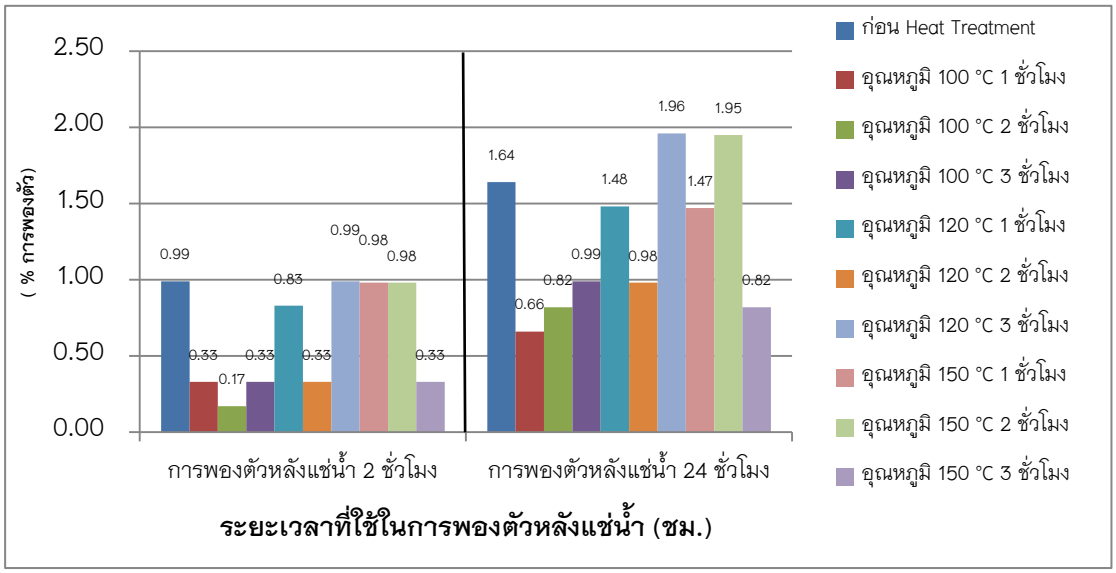


ภาพที่ 36. แสดงกราฟค่าเฉลี่ยการพองตัวทางความหนาหลังแช่น้ำของไม้ไผ่แบบซี่ก่อนและหลังการอบให้ความร้อน(Heat Treatment)

จากภาพที่ 36. ลักษณะของกราฟแสดงให้เห็นว่าในการ Heat Treatment เมื่อใช้อุณหภูมิ และเวลาที่สูงขึ้นจะส่งผลให้การพองตัวหลังแช่น้ำ เวลา 2 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง ของไม้ไผ่มีแนวโน้มที่ลดลง

ตารางที่ 22. ผลการทดลองค่าเฉลี่ยการพองตัวทางความหนาหลังแช่น้ำของไม้ไผ่แบบลำก่อนและหลังการอบให้ความร้อน (Heat Treatment)

สภาวะ	การพองตัวหลังแช่น้ำ 2 ชั่วโมง	การพองตัวหลังแช่น้ำ 24 ชั่วโมง
ก่อน Heat Treatment	0.99 %	1.64 %
อุณหภูมิ 100 °C 1 ชั่วโมง	0.33 %	0.66 %
อุณหภูมิ 100 °C 2 ชั่วโมง	0.17 %	0.82 %
อุณหภูมิ 100 °C 3 ชั่วโมง	0.33 %	0.99 %
อุณหภูมิ 120 °C 1 ชั่วโมง	0.83 %	1.48 %
อุณหภูมิ 120 °C 2 ชั่วโมง	0.33 %	0.98 %
อุณหภูมิ 120 °C 3 ชั่วโมง	0.99 %	1.96 %
อุณหภูมิ 150 °C 1 ชั่วโมง	0.98 %	1.47 %
อุณหภูมิ 150 °C 2 ชั่วโมง	0.98 %	1.95 %
อุณหภูมิ 150 °C 3 ชั่วโมง	0.33 %	0.82 %



ภาพที่ 37. แสดงกราฟค่าเฉลี่ยการพองตัวทางความหนาหลังแช่น้ำของไม้ไผ่แบบลำก่อนและหลังการอบให้ความร้อน (Heat Treatment)

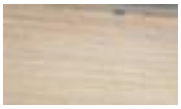
จากภาพที่ 37. ลักษณะของกราฟแสดงให้เห็นว่าในการ Heat Treatment เมื่อใช้อุณหภูมิ และเวลาที่สูงขึ้นจะส่งผลให้การพองตัวหลังแช่น้ำ เวลา 2 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง ของไม้ไผ่มีแนวโน้มที่ลดลง

สรุปผลดำเนินงาน

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีของไม้ไผ่ด้วยความร้อนสูง ในเวลาและอุณหภูมิที่แตกต่างกัน โดยเปรียบเทียบในแต่ละสภาวะ หลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนสูง (Heat Treatment) ในแต่ละสภาวะให้ผลการทดสอบดังนี้

5.1 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงสีไม้ไผ่แบบซี่และแบบลำในแต่ละสภาวะต่างๆ

ตารางที่ 23. แสดงผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงสีไม้ไผ่แบบซี่และแบบลำ หลังทำการ Heat Treatment ที่ อุณหภูมิ 100 องศา 1 ชั่วโมง 2 ชั่วโมง และ 3 ชั่วโมง

เวลาที่ใช้ในการทดสอบ	**สภาวะหลัง Heat Treatment อุณหภูมิ 100 °C**		**ตัวอย่างสีเปรียบเทียบไม้ไผ่**
	แบบซี่	**แบบลำ**	
1 ชั่วโมง			
2 ชั่วโมง			
3 ชั่วโมง			

ตารางที่ 24. แสดงผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงสีไม้ไผ่แบบซี่และแบบลำ หลังทำการ Heat Treatment ที่ อุณหภูมิ 120 องศา 1 ชั่วโมง 2 ชั่วโมง และ 3 ชั่วโมง

เวลาที่ใช้ในการทดสอบ	สภาวะหลัง Heat Treatment อุณหภูมิ 120 °C		ตัวอย่างสีเปรียบเทียบไม้ไผ่
	แบบซี่	แบบลำ	
1 ชั่วโมง			
2 ชั่วโมง			
3 ชั่วโมง			

ตารางที่ 25. แสดงผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงสีไม้ไผ่แบบซี่และแบบลำ หลังทำการ Heat Treatment ที่ อุณหภูมิ 150 องศา 1 ชั่วโมง 2 ชั่วโมง และ 3 ชั่วโมง

เวลาที่ใช้ในการทดสอบ	สภาวะหลัง Heat Treatment อุณหภูมิ 150 °C		ตัวอย่างสีเปรียบเทียบไม้ไผ่
	แบบซี่	แบบลำ	
1 ชั่วโมง			
2 ชั่วโมง			
3 ชั่วโมง			

จากการทดสอบจะเห็นว่าไม้ไผ่ที่ Heat Treatment จะมีสีเข้มมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิ ความชื้น ของไม้ไผ่ และการควบคุมอุณหภูมิ ความดันที่ขณะที่ทำการ Heat Treatment และเวลาที่ใช้ในการ Heat Treatment แต่ที่อุณหภูมิเดียวกันสีจะแตกต่างกันไม่เด่นชัดมากนัก ทั้งแบบซี่ไม้ไผ่ และแบบลำไม้ไผ่ แต่ที่อุณหภูมิต่างกัน สีของไม้ไผ่จะต่างกันอย่างชัดเจน และสีที่เกิดขึ้น อาจจะมีผลกระทบมาจากปัจจัยอื่น ๆ เช่น ความหนาแน่น ความชื้นของไม้ ก่อนทำการ Heat Treatment จากการควบคุมอุณหภูมิ ความดัน หรือ เปลือกไม้ไผ่และข้อไม้ไผ่ที่ยังปิดเนื้อไม้อยู่ทำให้ความร้อนไม่ได้สัมผัสเนื้อไม้โดยตรงในขณะ Heat Treatment

5.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติกายภาพและ สมบัติเชิงกลของไม้ไผ่ก่อนและหลัง Heat Treatment

5.2.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ

ตารางที่ 26. การทดสอบค่าเฉลี่ยความชื้น (Mc%)

สภาวะ	ลักษณะการทดสอบ	ก่อน Heat Treatment	หลังการทดสอบเป็นเวลา 1 ชั่วโมง	หลังการทดสอบเป็นเวลา 2 ชั่วโมง	หลังการทดสอบเป็นเวลา 3 ชั่วโมง
ที่อุณหภูมิ 100 °C	แบบซี่	11.96 %	11.62 %	11.08 %	11.02 %
	แบบลำ	11.82 %	11.52 %	11.00 %	10.62 %
ที่อุณหภูมิ 120 °C	แบบซี่	11.96 %	10.64 %	10.54 %	9.84 %
	แบบลำ	11.82 %	10.46 %	10.14 %	9.98 %
ที่อุณหภูมิ 150 °C	แบบซี่	11.96 %	9.56 %	8.78 %	8.62 %
	แบบลำ	11.82 %	9.56 %	9.20 %	9.08 %

ตารางที่ 27. ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของไม้ไผ่

การทดสอบความหนาแน่น (kg/m³)					
สภาวะ	ลักษณะการทดสอบ	ก่อน Heat Treatment	หลังการทดสอบเป็นเวลา 1 ชั่วโมง	หลังการทดสอบเป็นเวลา 2 ชั่วโมง	หลังการทดสอบเป็นเวลา 3 ชั่วโมง
ที่อุณหภูมิ 100°C	แบบซี่	727.358	702.480	649.440	682.510
	แบบลำ	692.265	688.48	665.02	601.683
ที่อุณหภูมิ 120°C	แบบซี่	727.358	663.100	600.374	547.195
	แบบลำ	692.265.	605.609	533.457	527.052
ที่อุณหภูมิ 150°C	แบบซี่	727.358	538.656	521.335	497.872
	แบบลำ	692.265.	540.026	533.383	504.704

5.2.2 ผลทดสอบคุณสมบัติทางกล

ตารางที่ 28. ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยการรับแรงดัดสถิตย์โมดูลัสแตกร้าว (MOR)

การทดสอบรับแรงดัดสถิตโมดูลัสแตกร้าว (MPa)					
สภาวะ	**ลักษณะการทดสอบ**	**ก่อน Heat Treatment**	**หลังการทดสอบเป็นเวลา 1 ชั่วโมง**	**หลังการทดสอบเป็นเวลา 2 ชั่วโมง**	**หลังการทดสอบเป็นเวลา 3 ชั่วโมง**
ที่อุณหภูมิ 100 °C	แบบซี่	118.98	117.09	116.28	115.47
	แบบลำ	120.73	107.19	104.23	100.77
ที่อุณหภูมิ 120 °C	แบบซี่	118.98	114.83	110.95	95.54
	แบบลำ	120.73	99.97	99.15	98.03
ที่อุณหภูมิ 150 °C	แบบซี่	118.98	90.03	84.89	79.86
	แบบลำ	120.73	89.22	66.91	64.62

ตารางที่ 29. ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยการรับแรงดัดสถิตย์โมดูลัสยืดหยุ่น (MOE)

การทดสอบรับแรงดัดสถิตโมดูลัสยืดหยุ่น (MPa)					
สภาวะ	**ลักษณะการทดสอบ**	**ก่อน Heat Treatment**	**หลังการทดสอบเป็นเวลา 1 ชั่วโมง**	**หลังการทดสอบเป็นเวลา 2 ชั่วโมง**	**หลังการทดสอบเป็นเวลา 3 ชั่วโมง**
ที่อุณหภูมิ 100 °C	แบบซี่	7,908.21	7,838.85	6,754.99	7,768.68
	แบบลำ	7,911.01	7,735.57	7,508.8	7,123.46
ที่อุณหภูมิ 120 °C	แบบซี่	7,908.21	7,154.39	6,544.82	6,527.08
	แบบลำ	7,911.01	7,039.65	7,183.33	6,744.23
ที่อุณหภูมิ 150 °C	แบบซี่	7,908.21	6,334.05	4,894.72	3,852.16
	แบบลำ	7,911.01	6,502.46	5,752.61	3,898.41

ตารางที่ 30. ผลการทดลองค่าเฉลี่ยการรับแรงอัดขนานเสี้ยน (Compression Parallel to Grain)

การทดลองค่าเฉลี่ยการรับแรงอัดขนานเสี้ยน (MPa)					
สภาวะ	**ลักษณะการทดสอบ**	**ก่อน Heat Treatment**	**หลังการทดสอบเป็นเวลา 1 ชั่วโมง**	**หลังการทดสอบเป็นเวลา 2 ชั่วโมง**	**หลังการทดสอบเป็นเวลา 3 ชั่วโมง**
ที่อุณหภูมิ 100 °C	แบบซี่	16.63	15.46	14.34	14.22
	แบบลำ	16.56	14.84	14.19	14.18
ที่อุณหภูมิ 120 °C	แบบซี่	16.63	14.18	14.08	13.41
	แบบลำ	16.56	15.57	12.79	11.95
ที่อุณหภูมิ 150 °C	แบบซี่	16.63	12.98	11.98	11.64
	แบบลำ	16.56	13.23	15.26	14.37

ตารางที่ 31. ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยการรับแรงอัดตั้งฉากเสี้ยน (Compressive Stress perpendicular to Grain)

การทดลองค่าเฉลี่ยการรับแรงอัดตั้งฉากเสี้ยน (MPa)					
สภาวะ	**ลักษณะการทดสอบ**	**ก่อน Heat Treatment**	**หลังการทดสอบเป็นเวลา 1 ชั่วโมง**	**หลังการทดสอบเป็นเวลา 2 ชั่วโมง**	**หลังการทดสอบเป็นเวลา 3 ชั่วโมง**
ที่อุณหภูมิ 100 °C	แบบซี่	11.58	11.14	10.87	10.40
	แบบลำ	11.76	11.44	11.01	10.46
ที่อุณหภูมิ 120 °C	แบบซี่	11.58	8.3	7.15	6.57
	แบบลำ	11.76	9.04	7.83	7.39
ที่อุณหภูมิ 150 °C	แบบซี่	11.58	6.16	6.73	5.90
	แบบลำ	11.76	6.84	6.81	5.91

ตารางที่ 32. ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยการรับแรงเฉือนขนานเสี้ยน (Shearing Stress Parallel to Grain)

การทดสอบค่าเฉลี่ยการรับแรงเฉือนขนานเสี้ยนไม้ (MPa)					
สภาวะ	**ลักษณะการทดสอบ**	**ก่อน Heat Treatment**	**หลังการทดสอบเป็นเวลา 1 ชั่วโมง**	**หลังการทดสอบเป็นเวลา 2 ชั่วโมง**	**หลังการทดสอบเป็นเวลา 3 ชั่วโมง**
ที่อุณหภูมิ 100 °C	แบบซี่	5	4.06	3.80	4.70
	แบบลำ	5.11	4.61	4.44	4.18
ที่อุณหภูมิ 120 °C	แบบซี่	5	4.19	4.1	4.26
	แบบลำ	5.11	4.01	3.64	3.39
ที่อุณหภูมิ 150 °C	แบบซี่	5	3.95	3.38	1.98
	แบบลำ	5.11	3.17	3.04	3.02

ตารางที่ 33. ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยการรับแรงดึงขนานเสี้ยน (Tensile Stress Parallel to Grain)

การทดสอบค่าเฉลี่ยการรับแรงดึงขนานเสี้ยนไม้ (MPa)					
สภาวะ	**ลักษณะการทดสอบ**	**ก่อน Heat Treatment**	**หลังการทดสอบเป็นเวลา 1 ชั่วโมง**	**หลังการทดสอบเป็นเวลา 2 ชั่วโมง**	**หลังการทดสอบเป็นเวลา 3 ชั่วโมง**
ที่อุณหภูมิ 100 °C	แบบซี่	12.38	8.55	7.57	7.06
	แบบลำ	15.26	14.38	4.44	12.09
ที่อุณหภูมิ 120 °C	แบบซี่	12.38	10.33	7.43	6.77
	แบบลำ	15.26	11.55	10.03	9.94
ที่อุณหภูมิ 150 °C	แบบซี่	12.38	6.94	3.79	3.74
	แบบลำ	15.26	9.94	7.33	4.66

ตารางที่ 34. ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยการพองตัวทางความหนาหลังแช่น้ำ (Shrinkage and Swelling)

การทดสอบค่าเฉลี่ยการพองตัวทางความหนาหลังแช่น้ำ				
สภาวะ	2 ชั่วโมง		24 ชั่วโมง	
	แบบซี่	แบบลำ	แบบซี่	แบบลำ
ก่อน Heat Treatment	1.14 %	0.99 %	1.64 %	1.62 %
หลัง Heat Treatment อุณหภูมิ 100 °C 1 ชั่วโมง	0.17 %	0.33 %	0.66 %	0.98 %
หลัง Heat Treatment อุณหภูมิ 100 °C 2 ชั่วโมง	0.16 %	0.17 %	0.82 %	0.98 %
หลัง Heat Treatment อุณหภูมิ 100 °C 3 ชั่วโมง	0.66 %	0.33 %	0.99 %	1.32 %
หลัง Heat Treatment อุณหภูมิ 120 °C 1 ชั่วโมง	0.33 %	0.83 %	1.48 %	0.99 %
หลัง Heat Treatment อุณหภูมิ 120 °C 2 ชั่วโมง	0.5 %	0.33 %	0.98 %	1.16 %
หลัง Heat Treatment อุณหภูมิ 120 °C 3 ชั่วโมง	0.83 %	0.99 %	1.96 %	1.48 %
หลัง Heat Treatment อุณหภูมิ 150 °C 1 ชั่วโมง	0.33 %	0.98 %	1.47 %	0.82 %
หลัง Heat Treatment อุณหภูมิ 150 °C 2 ชั่วโมง	0.5 %	0.98 %	1.95 %	1.32 %
หลัง Heat Treatment อุณหภูมิ 150 °C 3 ชั่วโมง	0.49 %	0.33 %	0.82 %	1.13 %

5.3 การวิเคราะห์ผลการทดสอบคุณสมบัติกายภาพและ สมบัติเชิงกลของไม้ไผ่ก่อนและหลัง Heat Treatment

จากการวิเคราะห์ผลการทดสอบที่ได้พบว่าไม้ไผ่ที่ผ่านการ Heat Treatment จะมีคุณสมบัติทางกายภาพเกี่ยวกับความชื้นจะทำให้ความชื้นในเนื้อไม้ลดลง แต่ความหนาแน่นของไม้จะลดลงหลัง Heat Treatment ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการ Heat Treatment ซึ่งจะส่งผลทำให้คุณสมบัติเชิงกลของไม้เปลี่ยนแปลงไปด้วย

คุณสมบัติเชิงกลของไม้ไผ่จะลดลง เนื่องจากความร้อน ยกเว้น การพองตัวของไม้หลังแช่น้ำจะดีขึ้น ไม้ไผ่ที่ Heat Treatment ที่อุณหภูมิ 150 °C จะมีความเปราะและแตกหักมากกว่าไม้ที่ Heat Treatment ที่อุณหภูมิ 100 °C และ 120 °C จากผลการทดสอบ ซึ่งคุณสมบัติทางด้านเชิงกล ของไม้ที่ลดจะมีผลต่อความแข็งแรงของไม้ไผ่ ซึ่งมีความสำคัญต่อการออกแบบในการใช้งาน หรือ ใช้ประโยชน์จากไม้อีกทั้ง ยังมีปัญหาเรื่องความหนา ส่วนข้อไม้ไผ่และความโค้ง เมื่อนำมาตัด หรือไส ยาก

คุณสมบัติทางด้านกายภาพ และเชิงกลของไม้ไผ่แบบซี่จะลดลงกว่าไม้ไผ่แบบลำ แต่ทั้งนี้ไม้ไผ่ที่ยังไม่ผ่านการ Heat Treatment ย่อมมีคุณสมบัติทางด้านกายภาพ และเชิงกลดีกว่า ไม้ไผ่ที่ผ่านการ Heat Treatment

บรรณานุกรม

นายบุญภพบุญฐี,นางสาวสุภาภรณ์เปียศิริ,นางสาวภัทราภรณ์จันทร์คำ (2555) การศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีของไม้สักสวนป่าด้วยความร้อนสูงในเวลาและอุณหภูมิที่แตกต่างกันสาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมไม้มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

http://www.allthaitree.com/view_product.php?product=MzA=ไผ่หม่าจู .

http://www.thaikasetsart.com. ความรู้ทั่วไปไม้ไผ่.

http://www.ku.ac.th/e-magazine/dec51/agri/agri2.htm. ความสำคัญของไม้ไผ่.

http://www.thaikasetsart.com. การจำแนกไม้ไผ่.

http://www.baanjomyut.com/library_2/extension-2/bamboo/02.htm. คุณสมบัติทางกายภาพ, คุณสมบัติทางกลและ คุณสมบัติทางเคมี.

http://www.baanjomyut.com/library_2/extension-2/bamboo/03.html. ลักษณะทางพฤกษศาสตร์.

http://www.baanjomyut.com/library_2/extension-2/bamboo/04.html. ลักษณะทางกายวิภาค.

https://www.facebook.com/notes/โครงการหอศิลป์ไม้ไผ่สถาบันอาศรมศิลป์.

Janssen (2000) ความเป็นท่อกลวงของไม้ไผ่.

Sioti Uno (1932) คุณสมบัติที่ไม่คงที่ตลอดความยาวของไม้ไผ่ความสามารถในการรับแรงอักของไม้ไผ่.

Von R. Bauman (1912). ลักษณะทางกายวิภาคของเนื้อเยื่อความสามารถในการรับแรงถึงของผิวไม้ไผ่,

Zen, Li, Zhou, (1992) ความสามารถในการรับแรงดึง.

Janseen, (2005).ความสามารถในการรับแรงดัด.