



วารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม Journal of Engineering and Innovation

บทความวิจัย

สมบัติเชิงกลของไม้ไผ่ที่ใช้ทำร่มโบราณ

The mechanical properties of bamboo used to make ancient umbrellas

ธวัชชัย อุ่นใจจอม* กรฤตภัก กรสินกิตติ สโรชพัฒน์ สงวนสัตย์ เมธัส ภัททิยธนี ทวีศักดิ์ มหาวรรณ

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50300

Thawatchai Ounjaijom* Krittaphak Kornsinkitti Sarochpat Sanguansat Matas Bhudtiyatanee Taweesak Mahawan

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna, Chiang Mai 50300

* Corresponding author.

E-mail: tounjaijom@gmail.com; Telephone: 0 8404 79465

วันที่รับบทความ 5 พฤษภาคม 2565; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 1 1 กันยายน 2565; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 2 22 กันยายน 2565

วันที่ตอบรับบทความ 4 ตุลาคม 2565

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาสมบัติเชิงกลของไม้ไผ่ที่ผ่านการอบแห้งสำหรับนำมาใช้ในการทำโครงสร้างของร่มโบราณที่มีพฤติกรรมในการรับภาระดัดอยู่ตลอดเวลา โดยนำไม้ไผ่จากส่วนโคน กลาง และส่วนปลายของลำต้นมาผ่านการอบแห้งด้วยเตาอบไม้ไผ่ชีวมวล ที่อุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส เพื่อกำจัดความชื้นออกจากเนื้อไม้จนเหลือประมาณร้อยละ 12.8 ของความชื้นมาตรฐานเปียก จากนั้นนำไม้ไผ่ที่ผ่านการอบแห้งแล้วไปทำการทดสอบหาสมบัติเชิงกลด้วยเครื่องทดสอบเอนกประสงค์ในห้องปรับอากาศที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ประมาณร้อยละ 65 เพื่อเปรียบเทียบกับไม้ไผ่ที่ผ่านการอบแห้งตามมาตรฐานการทดสอบที่ 103 องศาเซลเซียส (เกณฑ์อ้างอิง) ผลจากการทดสอบพบว่า ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยของไม้ไผ่ที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส มีค่าน้อยกว่าไม้ไผ่ที่ผ่านการอบแห้งตามมาตรฐานการทดสอบ ร้อยละ 38.21 และ 18.07 ตามลำดับ และมอดูลัสการดัดงอเฉลี่ยมีค่าน้อยกว่าไม้ไผ่ที่ผ่านการอบแห้งตามมาตรฐานการทดสอบ ร้อยละ 35.46 และ 24.25 ตามลำดับ

คำสำคัญ

มอดูลัสยืดหยุ่น มอดูลัสการดัดงอ ไม้ไผ่ ร่มโบราณ

Abstract

The objective of this research is to study the mechanical properties of dried bamboo for use in the structure of ancient umbrellas with constant bending load behavior. The bamboo specimens (Pai Ruak, *Thyrsostachys siamensis*) from the bottom, middle, and top of the bamboo culm were dried in a bamboo biomass oven at 60 °C and 70 °C to remove moisture from the wood until it is approximately 12.8%wb. The dried bamboo was then subjected to mechanical properties testing with a universal testing machine (UTM) in an air-conditioned room at 25 °C and relative air humidity of approximately 65% to compare with bamboo that has been dried according to the standard test at 103 °C (reference). The average modulus of elasticity and flexural modulus of bamboo dried at 60 °C and 70 °C was less than that of bamboo dried according to the standard test (103 °C) by 38.21% and 18.07% for modulus of elasticity and 35.46% and 24.25% for flexural modulus, respectively.

Keywords

modulus of elasticity; flexural modulus; bamboo; ancient umbrellas

1. คำนำ

รมโบราณเป็นผลิตภัณฑ์หนึ่งซึ่งได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในภาคเหนือของประเทศไทย มีส่วนประกอบหลักของรมประกอบด้วย ก้านรม และซี่รม ซึ่งวัตถุดิบที่นำมาใช้ส่วนใหญ่ นั้นเป็นไม้ไผ่ โดยก่อนจะนำเอาไม้ไผ่มาประกอบเป็นรมโบราณ จะต้องนำไปลดความชื้นด้วยวิธีการตากแดดครั้งละประมาณ 200 kg เป็นเวลา 2 สัปดาห์ จึงสามารถนำมาทำเป็นโครงสร้างรมได้ แต่มีข้อเสียคือเมื่อนำไม้ไผ่ที่ตากแดดนำมาใช้อาจจะเกิดเชื้อราเนื่องจากไม้ไผ่ยังมีความชื้นหลงเหลืออยู่ถึงแม้ว่าผู้ประกอบการจะใช้สารเคมีเคลือบแล้วก็ตามก็ยังไม่สามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้ ทางกลุ่มวิสาหกิจชุมชนกลุ่มรมหลวงลุงวงศ์ บ้านหนองโค้ง ต.ต้นเปา อ.สันกำแพง จ.เชียงใหม่ จึงได้สร้างห้องอบแห้งไม้ไผ่โดยใช้ชีวมวลเป็นเชื้อเพลิง [1] โดยมีอุณหภูมิในห้องอบไม่เกิน 70 °C และมีความชื้นในเนื้อไม้ประมาณ 12%wb ซึ่งโดยทั่วไปแล้วในประเทศไทยจะมีความชื้นสมมูลอยู่ระหว่าง $10 \pm 2\%$ [2] หากอบไม้ให้มีความชื้นต่ำกว่านี้อาจทำให้เนื้อไม้เกิดการบิดงอ ไม่สามารถรักษารูปทรงได้ตามต้องการ และให้อยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัยจากเชื้อราและแมลง ไม้ไผ่ที่ผ่านการอบแห้งนี้จะถูกนำไปใช้ในการผลิตรมโบราณต่อไป โดยไม้ไผ่ที่ผ่านการอบแห้งนี้ยังขาดข้อมูลที่สำคัญในเชิงวิศวกรรม ซึ่งก็คือข้อมูลในด้านสมบัติเชิงกลทั้งความต้านทานแรงดึง และแรงดัด ดังนั้นทางคณะผู้วิจัยจึงมีความต้องการที่จะศึกษาหาสมบัติเชิงกลของไม้ไผ่ที่ผ่านการอบแห้งสำหรับนำไปใช้เป็นส่วนประกอบของโครงสร้างรมโบราณเพื่อเปรียบเทียบกับไม้ไผ่ที่ผ่านการอบแห้งตามเกณฑ์มาตรฐาน



รูปที่ 1 ก้านรมและซี่รม

การศึกษาคุณสมบัติของไม้ไผ่ทั้งทางด้านกายภาพ เคมี และสมบัติเชิงกลของไม้ไผ่มีมาอย่างต่อเนื่องตั้งแต่อดีต [3-4] สำหรับประเทศไทยนั้นได้มีการศึกษาสมบัติเชิงกลของไม้ไผ่มาแล้วเช่นเดียวกันที่เกี่ยวข้องกับงานทางด้านสถาปัตยกรรม วิศวกรรมโยธา และวิศวกรรมเครื่องกล [5-8] ทั้งนี้ในการหาค่าสมบัติเชิงกลของไม้ไผ่นั้นจำเป็นที่จะต้องกำจัดความชื้นในเนื้อไม้ไผ่ก่อนที่จะทำการทดสอบ เนื่องจากความชื้นมีอิทธิพลต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุ [9] เช่น ไม้ไผ่สดจะมีความอ่อนตัวสูงทำให้สามารถรับภาระดัดได้ดีกว่าไม้ไผ่แห้ง ซึ่งไม้ไผ่สดนั้นจะมีความชื้นในเนื้อไม้ที่ไม่เท่ากันในแต่ละท่อน หรือแต่ละส่วนของลำต้นไม้ไผ่ จึงจำเป็นที่จะต้องทำการอบแห้งไม้ไผ่ให้เป็นไปตามมาตรฐาน [10] ก่อนที่จะนำมาทดสอบหาค่าสมบัติเชิงกลต่อไป งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาสมบัติเชิงกลของไม้ไผ่ที่ผ่านการอบแห้งด้วยเตาอบชีวมวลที่อุณหภูมิ 60 °C และ 70 °C ที่ความชื้นในเนื้อไม้ประมาณ 12%wb เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับไม้ไผ่ที่ผ่านการอบแห้งตามเกณฑ์มาตรฐานการทดสอบที่อุณหภูมิ 103 °C

2. วิธีดำเนินการ

2.1 การเตรียมชิ้นทดสอบแรงดึงและแรงดัด

ก้านรมและซี่รมโบราณจากกลุ่มวิสาหกิจชุมชนกลุ่มรมหลวงลุงวงศ์ทำจากไม้ไผ่รวก (Thyrsostachys Siamensis) ที่มีอายุประมาณ 3-5 ปี ในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ ถูกนำมาใช้ในการศึกษาในครั้งนี้ นำไม้ไผ่รวกมาตัดออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนโคนลำต้น ส่วนกลางลำต้น และส่วนปลายลำต้น จากนั้นทำการผ่าซีกตามแนวเส้นใยโดยตัดส่วนข้อออก ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ไม้ไผ่ที่ผ่าซีกทั้ง 3 ส่วน

ไม้ไผ่ที่ผ่านการผ่าซีกแล้วถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน เพื่อนำไปอบแห้งตามมาตรฐาน ISO/DIS 22157 [10] ด้วยตู้อบแห้งยี่ห้อ Binder รุ่น ED-FD ดังรูปที่ 3 ที่อุณหภูมิอบแห้ง $103\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ และไม้ไผ่ส่วนหนึ่งถูกนำไปอบแห้งด้วยเตาอบซีมวลของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนกลุ่มร่มหลวงลุงวงศ์ ดังรูปที่ 4 ที่อุณหภูมิอบแห้ง $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ และ $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ จนความชื้นในเนื้อไม้มีค่าประมาณ 12%wb ตามลำดับ โดยระหว่างทำการอบแห้งไม้ไผ่นั้นจะนำไม้ไผ่ออกมาชั่งน้ำหนักทุกๆ 1 ชั่วโมง จนกระทั่งน้ำหนักของไม้ไผ่มีการเปลี่ยนแปลงไม่เกิน 0.01 กรัม จากนั้นจึงนำไปทำเป็นชิ้นทดสอบเพื่อหาค่าสมบัติเชิงกลต่อไป

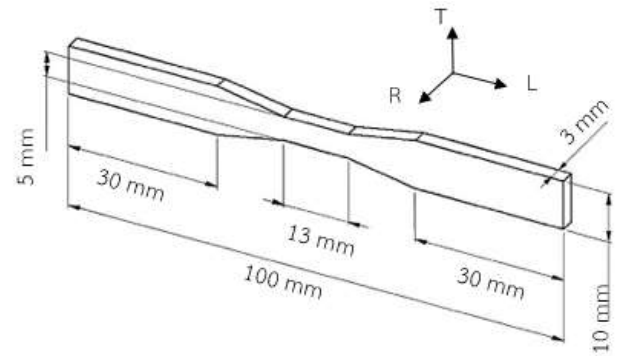


รูปที่ 3 ตู้อบแห้งยี่ห้อ Binder รุ่น ED-FD



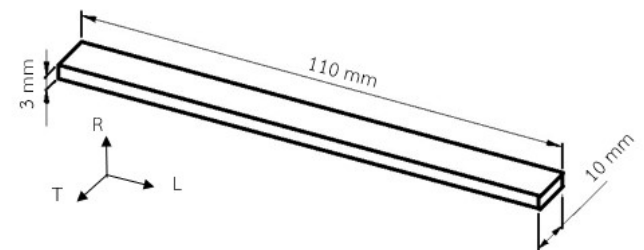
รูปที่ 4 เตาอบซีมวลของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนกลุ่มร่มหลวงลุงวงศ์

ไม้ไผ่ที่ผ่านการอบแห้งด้วยอุณหภูมิ $60\text{ }^{\circ}\text{C}$, $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ที่ความชื้นในเนื้อไม้ประมาณ 12%wb และ $103\text{ }^{\circ}\text{C}$ แล้วจะถูกนำมาทำเป็นชิ้นทดสอบแรงดึงและชิ้นทดสอบแรงดัดตามมาตรฐาน ISO/DIS 22157 เพื่อหาค่ามอดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) และมอดูลัสการโก่งงอ (Flexural Modulus) ตามลำดับ ตามลักษณะการรับภาระในขณะใช้งานของร่ม กล่าวคือเมื่อกางร่มแล้วก้านร่มและซี่ร่มจะรับภาระดึงและดัดตามแนวเส้นใย กำหนดให้ชิ้นทดสอบแรงดึงมีความยาวตามแนวเส้นใย (Longitudinal, L) เท่ากับ 100 มิลลิเมตร ความกว้างตามแนวสัมผัส (Tangential, T) เท่ากับ 10 มิลลิเมตร ความหนาตามแนวรัศมี (Radial, R) เท่ากับ 3 มิลลิเมตร ตามลำดับ โดยมีความยาวพิกัด (Gage Length) เท่ากับ 13 มิลลิเมตร และความกว้างพิกัด (Gage Width) เท่ากับ 5 มิลลิเมตร ตามลำดับ ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ชิ้นทดสอบแรงดึง

สำหรับชิ้นทดสอบแรงดัดมีความยาวตามแนวเส้นใย (L) เท่ากับ 110 มิลลิเมตร ความกว้างตามแนวสัมผัส (T) เท่ากับ 10 มิลลิเมตร ความหนาตามแนวรัศมี (R) เท่ากับ 3 มิลลิเมตร ตามลำดับ ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ชิ้นทดสอบแรงดัด

ชิ้นทดสอบแรงดึงและแรงดัดเมื่อผ่านการตัดให้ได้ขนาดตามกำหนดแล้วจะถูกขัดแต่งผิวด้วยกระดาษทรายละเอียดและบรรจุเก็บไว้ในภาชนะปิดที่มีสารดูดความชื้น (Silica Gel) เพื่อควบคุมให้ชิ้นทดสอบมีการเปลี่ยนแปลงความชื้นน้อยที่สุด ชิ้นทดสอบทั้งหมดในแต่ละอุณหภูมิการอบแห้งจะถูกแยกออกเป็นสามโคนลำต้น ส่วนกลางลำต้น และส่วนปลายลำต้น ส่วนละ 3 ชิ้นต่ออุณหภูมิการอบแห้ง สำหรับการทดสอบแรงดึง และส่วนละ 3 ชิ้นต่ออุณหภูมิการอบแห้ง สำหรับการทดสอบแรงดัด รวมทั้งหมดจำนวน 54 ชิ้น เพื่อนำไปทดสอบแรงดึง (Tensile Test) และแรงดัด (3-Point Bending) ในแต่ละอุณหภูมิการอบแห้งและในแต่ละตำแหน่งของลำต้น จำนวน 3 ซ้ำ ด้วยเครื่องทดสอบสากล (Universal Testing Machine, UTM) ยี่ห้อ Comtech รุ่น QC-506M2F ในห้องปรับอากาศที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ประมาณร้อยละ 65 ดังรูปที่ 7



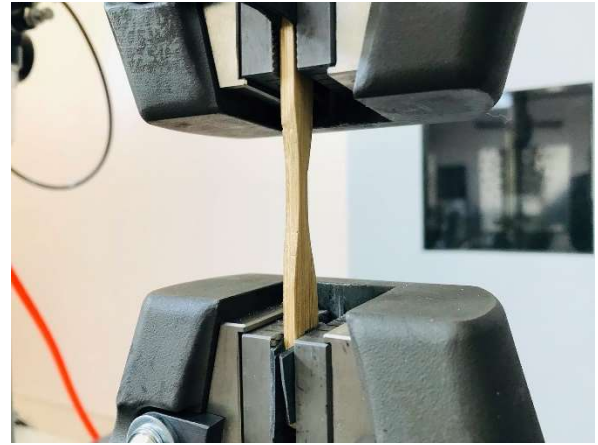
รูปที่ 7 เครื่องทดสอบสากลยี่ห้อ Comtech รุ่น QC-506M2F

2.2 การทดสอบแรงดึง

การทดสอบแรงดึงด้วยเครื่องทดสอบสากล เมื่อนำชิ้นทดสอบติดตั้งเข้ากับหัวจับแรงดึงดังรูปที่ 8 แล้ว กำหนดให้ความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัวจับ (Crosshead Speed) เท่ากับ 0.01 มิลลิเมตรต่อวินาที ทำการดึงชิ้นทดสอบจนชิ้นทดสอบเกิดการเสียหาย

ทำการบันทึกค่าของแรงดึงและระยะการเคลื่อนที่เพื่อนำไปคำนวณหาค่าความเค้นดึงและความเครียดดึง [11]

จากสมการที่ (1) และ (2) จากนั้นนำค่าความเค้นดึงและความเครียดดึงไปพล็อตกราฟเพื่อนำไปหาค่ามอดุลัสยืดหยุ่นดังสมการที่ (3) นั่นคือ



รูปที่ 8 การทดสอบแรงดึง

$$\sigma_t = \frac{F_t}{A} \quad (1)$$

$$\varepsilon_t = \frac{\delta_t}{L} \quad (2)$$

$$E_t = \frac{\sigma_t}{\varepsilon_t} \quad (3)$$

โดยที่ σ_t คือความเค้นดึง หน่วย Pa , F_t คือแรงดึง หน่วย N , A คือพื้นที่หน้าตัดพิกัด หน่วย m^2 , ε_t คือความเครียดดึง หน่วย m/m , δ_t คือระยะการเสียรูปดึง หน่วย m , L คือความยาวพิกัดของชิ้นทดสอบดึง หน่วย m และ E_t คือมอดุลัสยืดหยุ่น หน่วย Pa

2.3 การทดสอบแรงดัด

สำหรับการทดสอบแรงดัดนั้น เมื่อนำชิ้นทดสอบติดตั้งเข้ากับหัวจับแรงดัดแบบ 3 จุด โดยให้ปลายของชิ้นทดสอบดัดทั้ง 2 ด้าน ห่างจากจุดรองรับด้านละ 10 มิลลิเมตร กำหนดให้ความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัวจับเท่ากับ 0.5 มิลลิเมตรต่อวินาที ทำการกดดัดชิ้นทดสอบจนชิ้นทดสอบเกิดการเสียหาย ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 การทดสอบแรงดึง

ทำการบันทึกค่าของแรงดึงและระยะการเคลื่อนที่เพื่อนำไปคำนวณหาความเค้นดึงและความเครียดดึง [12] จากสมการที่ (4) และ (5) จากนั้นนำค่าความเค้นดึงและความเครียดดึงไปพล็อตกราฟเพื่อนำไปหาค่ามอดุลัสการดึงอ ดังสมการที่ (6) นั่นคือ

$$\sigma_f = \frac{3F_f L_f}{2bh^2} \quad (4)$$

$$\varepsilon_f = \frac{6h\delta_f}{L_f^2} \quad (5)$$

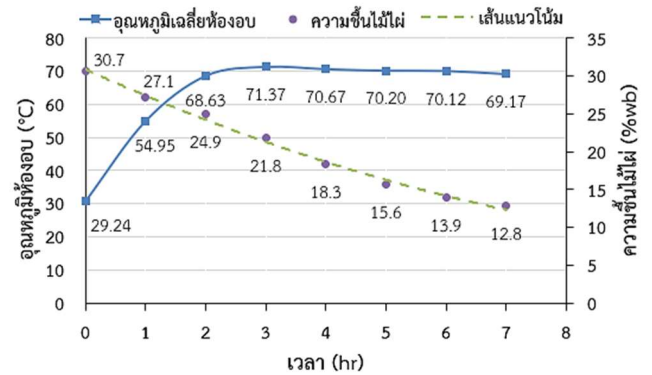
$$E_f = \frac{\sigma_f}{\varepsilon_f} \quad (6)$$

โดยที่ σ_f คือความเค้นดึง หน่วย Pa , F_f คือแรงดึง หน่วย N , L_f คือความยาวระหว่างจุดรองรับ หน่วย m , b คือความกว้างตามแนวสัมผัส หน่วย m , h คือความหนาตามแนวรัศมี หน่วย m , ε_f คือความเครียดดึง หน่วย m/m , δ_f คือระยะการเสียรูปดึง หน่วย m และ E_f คือมอดุลัสการดึงอ หน่วย Pa

3. ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

3.1 การหาค่าความชื้นในเนื้อไม้

จากการทดลองอบไม้ไผ่ด้วยการควบคุมอุณหภูมิของห้องอบแห้ง ที่มีผลต่อความชื้นของไม้ไผ่ ทำให้ความชื้นในเนื้อไม้ไผ่ลดลงจนถึงความชื้นสุดท้ายประมาณ 12.8%wb ที่สามารถนำไปประกอบเป็นร่มโบราณ และนำไปทดสอบหาสมบัติเชิงกลดังตัวอย่างในรูปที่ 10



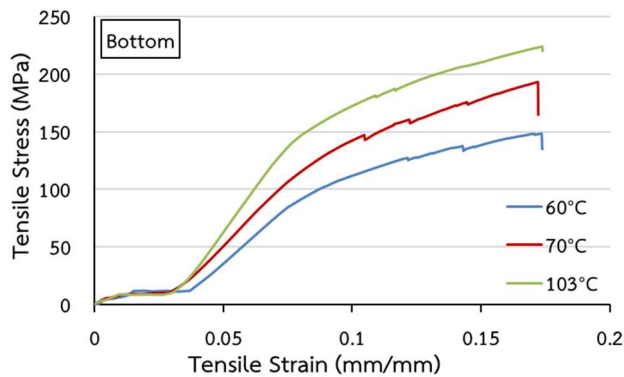
รูปที่ 10 ตัวอย่างของความชื้นในเนื้อไม้ไผ่ต่อเวลาในการอบแห้ง

จากความชื้นต่อเวลาในการอบแห้งไม้ไผ่ดังรูปที่ 10 จะเห็นได้ว่าจากความชื้นไม้ไผ่เริ่มต้นที่ 30.7 %wb โดยที่ความชื้นในเนื้อไม้ไผ่เริ่มต้นมีอยู่ในเนื้อไม้สูง การระเหยของน้ำในเนื้อไม้ไผ่ช่วงการอบที่ 0-5 ชั่วโมง มีค่าความชื้นที่ลดลงค่อนข้างมากแต่หลังจากช่วงการอบ 5-7 ชั่วโมง ไม้ไผ่เริ่มแห้ง การระเหยของน้ำในตัวเนื้อไม้ไผ่นั้นก็จะค่อยๆ ลดลงไปตามลำดับ จนกระทั่งถึงความชื้นสุดท้ายที่ 12.8 %wb จากการทดลองอบไม้ไผ่เป็นเวลา 7 ชั่วโมง โดยที่น้ำหนักของเนื้อไม้ไผ่มีความแตกต่างกันไม่เกิน 0.01 กรัม ถ้าหากใช้เวลาเพิ่มนานกว่านี้อาจทำให้ความชื้นในเนื้อไม้ไผ่มีการระเหยออกมามากเกินจนมีความชื้นต่ำเกินกว่า 12 %wb จะส่งผลให้ไม้ไผ่ไม้ได้รูปทรงที่ต้องการ และเกิดการบิดงอได้

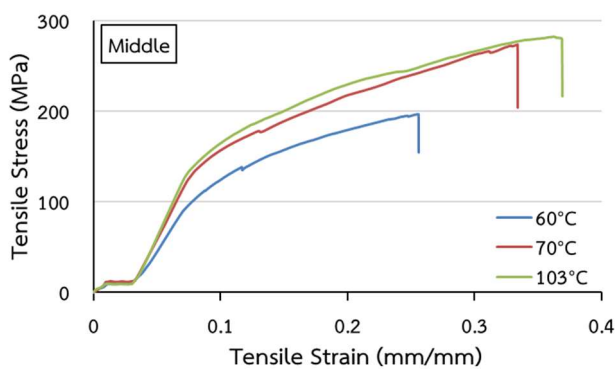
3.2 การหาค่ามอดุลัสยืดหยุ่น

ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบแรงดึงของชิ้นทดลองทั้งในส่วนโคนลำต้น ส่วนกลางลำต้น และส่วนปลายลำต้น ในแต่ละอุณหภูมิการอบ จะถูกนำมาหาค่าความเค้นดึง (Tensile Stress) จากสมการที่ (1) และความเครียดดึง (Tensile Strain) จากสมการที่ (2) ดังแสดงในรูปที่ 11 ถึง 13 ซึ่งพบว่าค่าความ

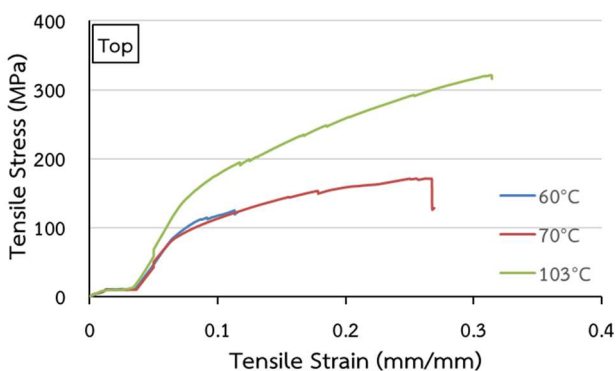
ด้านทานแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength) ของไม้ไผ่ทั้งส่วนโคน กลาง และปลายลำต้นที่ผ่านการอบด้วยอุณหภูมิ 103 °C (อุณหภูมิมาตรฐานการทดสอบ ที่ความชื้น 0%) มีค่าสูงกว่าที่อุณหภูมิ 60 °C และ 70 °C (ที่ความชื้น 12.8%wb)



รูปที่ 11 ความเค้นดึงและความเครียดดึงในส่วนโคนลำต้น



รูปที่ 12 ความเค้นดึงและความเครียดดึงในส่วนกลางลำต้น



รูปที่ 13 ความเค้นดึงและความเครียดดึงในส่วนปลายลำต้น

เมื่อนำความสัมพันธ์ของความเค้นดึงและความเครียดดึงในช่วงที่เส้นกราฟเป็นเส้นตรงความชันคงที่มาพิจารณาค่ามอดุลัสยืดหยุ่นเฉลี่ย (Modulus of Elasticity) จากสมการที่ (3) จะพบว่าส่วนกลางของลำต้นจะมีค่ามอดุลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยสูงกว่าบริเวณส่วนโคนและส่วนปลายลำต้นทั้ง 3 ค่าอุณหภูมิที่ใช้อบแห้ง ดังแสดงในตารางที่ 1

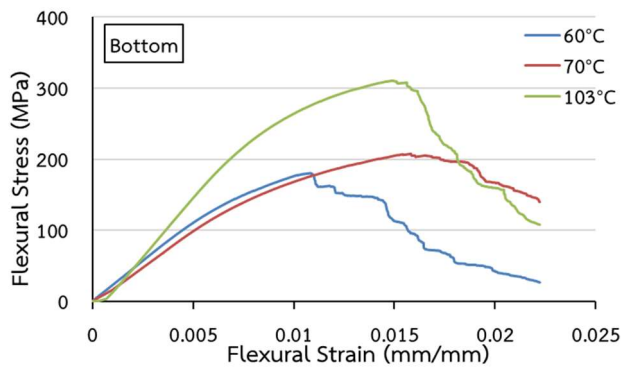
ตารางที่ 1 ค่ามอดุลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยของไม้ไผ่ที่ผ่านการอบแห้ง

ตำแหน่ง	มอดุลัสยืดหยุ่น (GPa)		
	60 °C	70 °C	103 °C
	ความชื้น 12.8%wb	ความชื้น 0%	ความชื้น 0%
โคน	1.623	2.247	3.092
กลาง	2.354	3.211	3.264
ปลาย	1.913	2.350	3.175
เฉลี่ย	1.963	2.603	3.177

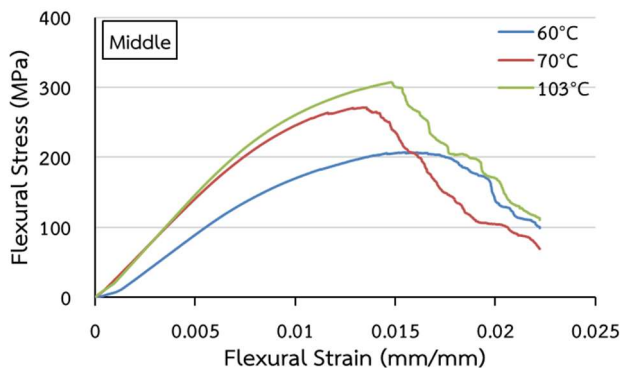
จากตารางที่ 1 ค่ามอดุลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยของไม้ไผ่ในช่วงกลางลำต้นมีค่ามากกว่าส่วนโคนและส่วนปลาย โดยที่อุณหภูมิที่ใช้ออบแห้ง 60 °C มีค่า 2.354 GPa และที่อุณหภูมิ 70 °C มีค่า 3.211 GPa ซึ่งมีค่าต่ำกว่าที่อุณหภูมิมาตรฐานการทดสอบ (103 °C) ร้อยละ 27.88 และ 1.62 ตามลำดับ นอกจากนี้เมื่อพิจารณาที่ค่ามอดุลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยตลอดทั้ง 3 ส่วนของลำต้นยังพบว่าที่อุณหภูมิ 60 °C และที่อุณหภูมิ 70 °C มีค่าต่ำกว่าที่อุณหภูมิมาตรฐานการทดสอบ ร้อยละ 38.21 และ 18.07 ตามลำดับ เนื่องมาจากอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งมีอุณหภูมิที่ต่ำเกินไปส่งผลให้ความชื้นที่อยู่ในเนื้อไม้ไม่สามารถถูกทำให้หมดไปได้หมด โดยความชื้นที่ยังคงเหลืออยู่นี้ส่งผลให้เนื้อไม้มีค่าความต้านทานแรงน้อยกว่าเนื้อไม้ที่สามารถกำจัดความชื้นออกไปได้หมดแล้ว ส่วนค่ามอดุลัสยืดหยุ่นในส่วนปลายและส่วนโคนลำต้นที่อุณหภูมิอบแห้ง 60 °C และ 70 °C ก็มีค่าต่ำกว่าที่อุณหภูมิมาตรฐานการทดสอบเช่นเดียวกัน สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา [7] ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะของเส้นใยในเนื้อไม้ส่วนกลางลำต้นอยู่ในช่วงที่มีการเจริญเติบโตเต็มที่และมีระยะห่างระหว่างข้อ (Node) จึงทำให้มีค่ามอดุลัสยืดหยุ่นมากกว่าส่วนโคนลำต้นที่ประกอบด้วยเส้นใยที่หยุดการเจริญเติบโตแล้ว และมากกว่าส่วนปลายลำต้นที่ประกอบด้วยเส้นใยที่กำลังเริ่มเจริญเติบโต

3.3 การหาค่ามอดูลัสการดัดงอ

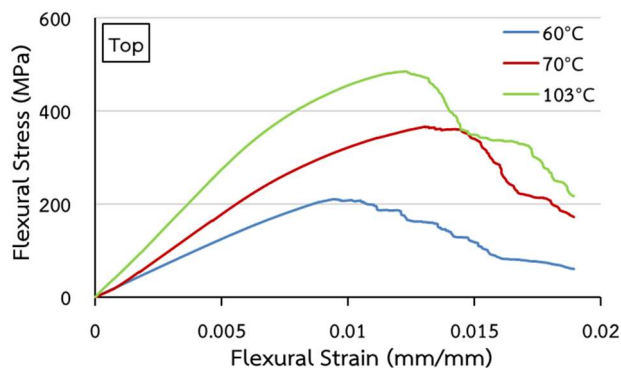
ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบแรงดัดของชิ้นทดลองทั้งในส่วนโคนลำต้น ส่วนกลางลำต้น และส่วนปลายลำต้น ในแต่ละอุณหภูมิการอบ จะถูกนำมาหาค่าความเค้นดัด (Flexural Stress) จากสมการที่ (4) และความเครียดดัด (Flexural Strain) จากสมการที่ (5) ดังแสดงในรูปที่ 14 ถึง 16



รูปที่ 14 ความเค้นดัดและความเครียดดัดในส่วนโคนลำต้น



รูปที่ 15 ความเค้นดัดและความเครียดดัดในส่วนกลางลำต้น



รูปที่ 16 ความเค้นดัดและความเครียดดัดในส่วนปลายลำต้น

จากรูปที่ 14 ถึงรูปที่ 16 พบว่าไม้ไผ่ส่วนปลายลำต้นมีความต้านทานการดัดงอเฉลี่ย (Flexural Strength) สูงกว่าส่วนโคนและส่วนกลางลำต้นทุกอุณหภูมิอบแห้ง ทั้งนี้เนื่องมาจากลักษณะของเส้นใยในเนื้อไม้ส่วนปลายลำต้นเป็นเส้นใยที่อ่อนอยู่ในช่วงกำลังเจริญเติบโตทำให้สามารถดัดงอได้ง่ายกว่าเนื้อไม้ส่วนอื่นดังที่เราสามารถสังเกตได้จากลักษณะทางกายภาพเมื่อมีแรงลมมากระทำกับลำต้นไม้ไผ่ โดยที่ส่วนปลายของลำไม้ไผ่จะลู่ไปตามแรงลมที่มากระทำนั้น

เมื่อนำความสัมพันธ์ของความเค้นดัดและความเครียดดัดมาพิจารณาหาค่ามอดูลัสการดัดงอเฉลี่ย (Flexural Modulus) จากสมการที่ (6) จะพบว่าส่วนปลายของลำต้นจะมีค่ามอดูลัสการดัดงอเฉลี่ยสูงกว่าบริเวณส่วนโคนและส่วนกลางลำต้นทั้ง 3 ค่าอุณหภูมิที่ใช้อบแห้ง ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่ามอดูลัสการดัดงอเฉลี่ยของไม้ไผ่ที่ผ่านการอบแห้ง

ตำแหน่ง	มอดูลัสการดัดงอ (GPa)		
	60 °C	70 °C	103 °C
	ความชื้น 12.8%wb	ความชื้น 0%	ความชื้น 0%
โคน	16.674	13.159	20.806
กลาง	13.392	20.239	20.801
ปลาย	22.328	28.094	39.571
เฉลี่ย	17.465	20.498	27.059

จากตารางที่ 2 พบว่าค่ามอดูลัสการดัดงอเฉลี่ยของไม้ไผ่ในช่วงปลายลำต้นมีค่ามากกว่าส่วนโคนและส่วนกลาง โดยที่อุณหภูมิที่ใช้อบแห้ง 60 °C มีค่า 22.328 GPa และที่อุณหภูมิ 70 °C มีค่า 28.094 GPa ซึ่งมีค่าต่ำกว่าที่อุณหภูมิมาตรฐานการทดสอบ ร้อยละ 43.58 และ 29.00 ตามลำดับ นอกจากนี้เมื่อพิจารณาที่ค่ามอดูลัสการดัดงอเฉลี่ยตลอดทั้ง 3 ส่วนของลำต้นยังพบว่าที่อุณหภูมิ 60 °C และที่อุณหภูมิ 70 °C มีค่าต่ำกว่าที่อุณหภูมิมาตรฐานการทดสอบ ร้อยละ 35.46 และ 24.25 ตามลำดับ ดังเหตุผลเช่นเดียวกันกับค่ามอดูลัสยืดหยุ่น คืออิทธิพลของความชื้นในเนื้อไม้จะส่งผลต่อสมบัติเชิงกลของไม้ไผ่ ถ้าอุณหภูมิที่ใช้อบไม้ไผ่มีค่าต่ำเกินไปอาจทำให้ความชื้นในเนื้อไม้ไม่สามารถถูกกำจัดออกได้หมด ทำให้ความต้านทานการดัดงอของเนื้อไม้มีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิที่ใช้อบสูงกว่าที่

สามารถกำจัดความชื้นออกจากเนื้อไม้ได้ดีกว่าอย่างชัดเจน ซึ่งผลของความชื้นที่ยังคงเหลืออยู่นี้จะส่งผลอย่างมากหากนำไปใช้ที่ถูกรอบแห้งด้วยอุณหภูมิที่ต่ำไปใช้งานเป็นเวลานานๆ เนื้อไม้จะดูดเอาความชื้นจากอากาศรอบข้างเข้ามาในเนื้อไม้ ส่งผลให้ไม้ไม่เกิดการเสียหายเนื่องจากความต้านทานแรงที่ลดลงตามปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้น

4. สรุปผลการศึกษา

นอกจากอายุของไม้ไฟ ลักษณะภูมิอากาศ ลักษณะภูมิประเทศ และลักษณะของดินที่ปลูกไม้ไฟ เป็นปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของไม้ไฟแล้ว ความชื้นในเนื้อไม้ก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อสมบัติเชิงกลของไม้ไฟเช่นเดียวกัน ซึ่งจากการศึกษาสมบัติเชิงกลของไม้ไฟที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 °C, 70 °C ที่ความชื้นในเนื้อไม้ประมาณ 12%wb และ 103 °C ที่ความชื้นในเนื้อไม้ 0% ด้วยการทดสอบดึงและดัดตามแนวนอนในครั้งนี พบว่าไม้ไฟมีค่ามอดุลัสการดัดงอมากกว่าค่ามอดุลัสยืดหยุ่น กล่าวคือไม้ไฟมีความสามารถในการต้านทานการดัดงอมากกว่าการต้านทานการดึงซึ่งเป็นไปตามลักษณะทางกายภาพของไม้ไฟ จึงเป็นเหตุผลที่ผู้ประกอบการฯ นิยมนำไม้ไฟมาทำเป็นโครงสร้างของร่มโบราณโดยเฉพาะในส่วนของก้านร่มและซี่ร่ม โดยที่ไม้ไฟส่วนปลายลำต้นสามารถต้านทานการดัดงอมากกว่าส่วนอื่นของลำต้น ส่วนไม้ไฟส่วนกลางลำต้นจะมีความสามารถต้านทานแรงดึงได้มากกว่าส่วนอื่นของลำต้น นอกจากนี้ยังพบว่าถ้าอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งมีค่าต่ำเกินไปจะทำให้ค่ามอดุลัสยืดหยุ่นและมอดุลัสการดัดงอมีค่าน้อยกว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งสูงๆ ซึ่งหากผู้ประกอบการทำร่มโบราณต้องการให้โครงสร้างร่มโบราณมีความแข็งแรงทนทานจำเป็นที่จะต้องเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งให้สูงขึ้นหรือเพิ่มระยะเวลาในการอบแห้งให้นานขึ้นไปอีกเพื่อที่จะทำให้สามารถกำจัดความชื้นในเนื้อไม้ได้ดียิ่งขึ้น เนื่องจากสมบัติเชิงกลของไม้ขึ้นอยู่กับความชื้น ถ้าความชื้นในเนื้อไม้ลดลงก็จะส่งผลให้มีสมบัติเชิงกลที่เพิ่มขึ้น แต่หากผู้ประกอบการฯ มีข้อจำกัดทางด้านต้นทุนที่ใช้ในการอบแห้งก็อาจจะต้องทำการรักษาเนื้อไม้ด้วยการทาสีหรือเคลือบด้วยน้ำยาเคลือบผิวเนื้อไม้ เพื่อป้องกันไม่ให้เนื้อไม้ดูดเอาความชื้นจากอากาศรอบข้างเข้าไปในเนื้อไม้ เป็นการ

ป้องกันและเพิ่มอายุการใช้งานของโครงสร้างร่มโบราณให้นานขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณกลุ่มวิสาทกิจชุมชนกลุ่มร่มหลวงลวงค์ บ้านหนองไค้ง ต.ต้นเปา อ.สันกำแพง จ.เชียงใหม่ และห้องปฏิบัติการทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุโพลิเมอร์ หน่วยวิจัยและพัฒนากระบวนการศึกษาและวิจัยร่วมระหว่างภาครัฐและเอกชน วิทยาลัยเทคโนโลยีและสหวิทยาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตดอยสะเก็ด ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่จำเป็นต่อการศึกษาวิจัยในครั้งนี้เป็นอย่างสูง

เอกสารอ้างอิง

- [1] ปุฒิพล แก้วมะลิวงศ์, นครธน ระวังภัย. *การพัฒนาเตาเผาซีลื้อยสำหรับอบแห้งไม้ที่ใช้เป็นส่วนประกอบของร่มโบราณ*[ปริญญาณิพนธ์]. คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา; 2562.
- [2] ธีระ วิณิน, ทรงกลด จารุสมบัติ. *ไม้ โครงสร้าง คุณสมบัติ*. พิมพ์ครั้งที่ 2. ประทุมธานี: สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ; 2549.
- [3] Rao AN, Dhanarajan G, Sastry CB. Recent research on bamboos. In: *Proceedings of the International bamboo workshop, October 6- 14, 1985, Hangzhou, People's Republic of China*; 1985.
- [4] Liese W. The structure of bamboo in relation to its properties and utilization. *Bamboo and its use International Symposium on Industrial use of Bamboo*, Beijing, CHINA, December 1992. p. 7-11.
- [5] บุญส่ง สมเพาะ, วลัยุทธ เฟื่องวิวัฒน์, ปิยะวดี บัวจงกล, วรัญญ ราชภูริเจริญ. *คุณสมบัติของไม้ไฟบางชนิดเพื่อการก่อสร้าง*. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์, สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้, กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ. 2556.
- [6] สุภิญญาลักษณ์ จันทรวงศ์. *การศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของไม้ตงเพื่อสร้างค่ามาตรฐานกลางของวัสดุและการประยุกต์ใช้ในงานโครงสร้างสำหรับอาคารสาธารณะ* [วิทยานิพนธ์]. สถาบันพัฒนบริหารศาสตร์มหาบัณฑิต, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2557.

- [7] ธวัชชัย อุ่นใจจุม, นฤมล มณีอินตา, วรวัฒน์ ปัญญาคำ. สมบัติเชิงกลของไม้ไผ่ที่ผ่านการอบแห้ง. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ*. 2560; 12(2): 8-14.
- [8] Chaowana K, Wisadsatorn S, Chaowana P. Bamboo as a sustainable building material-culm characteristics and properties. *Sustainability*. 2021, 13(7376). Available from: <https://doi.org/10.3390/su13137376/> [Accessed 25th April 2022].
- [9] มงคล นามลักษณ์, พิเชษฐ์ เมฆแสน. อิทธิพลของข้อปล้อง ขนาดหน้าตัด และปริมาณความชื้น ต่อกำลังรับแรงดึงของไม้ไผ่. *วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม*. 2557; 9(2): 84-96.
- [10] ISO . Bamboo structures- Determination of physical and mechanical properties of bamboo culms-Test methods. ISO/DIS 22157-1:2019(E). Switzerland: International Organization for Standardization.
- [11] Hibbeler RC. *Mechanics of materials*. 9th edition. New York: Pearson Prentice Hall; 2014.
- [12] ASTM Standard test method for flexural properties of polymer matrix composite materials. ASTM D7264/ D7264M- 07. West Conshohocken, PA: ASTM International. 2011.