

ผลของภาระดัดต่อพฤติกรรมการเปลี่ยนรูปแบบคืบของไผ่สีสุก Effect of Bending Load on the Creep Deformation Behavior

ธวัชชัย อุ่นใจจอม* นิพนธ์ อุดมหมอ เมฆินทร์ อินใจ

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่
128 ถนนห้วยแก้ว ตำบลช้างเผือก อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50230

Thawatchai Ounjaijom* Nipon Udmor Mekin Inchai

Department of Mechanical Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna, Chiang Mai
128 Huay Kaew Road, Muang, Chiang Mai, 50300

*Corresponding author Email: tounjaijom@gmail.com

(Received: March 8, 2018; Accepted: September 7, 2018)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการศึกษาพฤติกรรมการเปลี่ยนรูปแบบคืบเมื่อได้รับภาระดัดของไผ่สีสุก การทดสอบหาพฤติกรรมคืบของไผ่สีสุกโดยลักษณะวิธีการแบบคานปลายยื่น ภายใต้สภาวะความชื้นและอุณหภูมิคงที่ โดยให้ภาระกระทำกับชิ้นทดสอบไผ่สีสุก แตกต่างกัน 3 ขนาด ได้แก่ ภาระขนาด 10% 20% และ 30% ของภาระสูงสุดที่ชิ้นทดสอบสามารถรับได้ โดยมีการให้ภาระในแต่ละขนาดแก่ชิ้นทดสอบ 4 ชั่วโมง ผลการทดสอบพบว่าเมื่อเริ่มให้ภาระแก่ชิ้นทดสอบ ชิ้นทดสอบจะเกิดการเปลี่ยนรูปร่างอย่างฉับพลัน และจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น จนมีค่าสูงสุดเมื่อสิ้นสุดช่วงเวลาให้ภาระ นอกจากนี้ผลจากการเปรียบเทียบการเปลี่ยนรูปร่างระหว่างผลการทดลองและแบบจำลองพฤติกรรมการคืบของไบเลย์-นอร์ตัน มีความสอดคล้องกับผลการทดสอบเป็นอย่างดีโดยมีค่า R^2 มากกว่า 0.994

คำสำคัญ: ไผ่สีสุก ภาระดัด พฤติกรรมการเปลี่ยนรูปแบบคืบ สมการเลขยกกำลังของไบเลย์-นอร์ตัน

ABSTRACT

The purpose of this research is to study the creep deformation behavior of the *Bambusa blumeana*. The study was carried out by restraining the bamboo beam under moisture condition and constant temperature. Three level of loads were applied to the specimens respectively i.e., — 10%, 20% and 30% — of the maximum load. Each level of load was applied for 4 hours. It was found that when the testing objects were loaded, their shape suddenly changed and continued changing slowly as time increased. The maximum value at the end of the testing time. Moreover, the Bailey-Norton Creep Law successfully describes the main feature for the investigated material and shows good agreement with experimental creep data with R^2 more than 0.994.

Keyword: *Bambusa blumeana*, bending load, creep deformation behavior, Bailey-Norton creep law.

1. บทนำ

ไผ่หรือไม้ไผ่ (Bamboo) เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว (Monocotyledon) จัดอยู่ในวงศ์หญ้า *Poaceae* วงศ์ย่อย *Bambusoideae* มีระบบเหง้าที่ชัดเจน ใบค่อนข้างกว้างและมีก้านใบเทียม มีระบบการเจริญเติบโตเป็นกิ่งที่ซับซ้อนและแข็งแรง ลักษณะของช่อดอกและส่วนประกอบต่างๆ ของดอกที่ซับซ้อน รวมทั้งลักษณะที่

คล้ายกับมีเนื้อไม้ (Woody Bamboo) จึงทำให้ไผ่ส่วนมากมีลำต้นที่สูงใหญ่และมีอายุยืนนานหลายปี [1] สำหรับประเทศไทยสามารถพบไผ่ได้ทั่วประเทศ โดยพบมากในภาคกลาง ภาคตะวันออกเฉยเหนือ ภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคใต้ ตามลำดับ [2] ปัจจุบันมีการนำไผ่มาใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวันได้อย่างหลากหลาย เช่น

อาหาร ภาชนะบรรจุภัณฑ์ เครื่องมือใช้สอย ที่อยู่อาศัย หรือนั่งร้าน

ไผ่สีสุก (*Bambusa blumeana*) เป็นไม้ไผ่ชนิดหนึ่งที่สามารถพบได้ทั่วไปของประเทศไทย โดยเฉพาะบริเวณภาคเหนือและภาคกลางของประเทศ เป็นไม้ชนิดที่มีลำต้นสูงใหญ่ ลำต้นสีเขียวสด หน่อสีเขียวอมเขียว ปล้องมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 7-10 เซนติเมตร ยาว 10-30 เซนติเมตร บริเวณข้อมีกิ่งคล้ายหนามหน่อมีขนาดใหญ่ ไผ่สีสุกมีเนื้อหนา แข็งแรง ทนทานและเหนียว จึงนิยมนำไปใช้ประโยชน์มากกว่าไม้ชนิดอื่นๆ ไม่ว่าจะทำเครื่องจักรสาน เฟอร์นิเจอร์ นั่งร้านในการก่อสร้าง และนอกจากนี้ส่วนโคนของลำต้นยังนิยมนำมาใช้ทำไม้คานสำหรับหาบได้ดี [1]

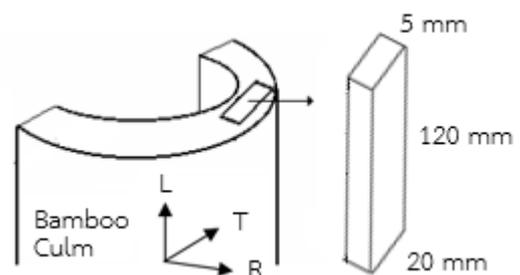
การนำไม้ไผ่มาใช้ในงานโครงสร้างหรือทำนั่งร้านสร้างบ้านนั้น จะเห็นได้ว่าเมื่อไม้ไผ่ได้รับภาระเป็นเวลานานจะส่งผลให้ไม้ไผ่เกิดการเปลี่ยนรูปร่างแบบชั่วคราวหรือถาวรได้ ซึ่งเหตุการณ์ลักษณะนี้อาจส่งผลให้โครงสร้างเกิดความเสียหายหรือมีรูปร่างที่ผิดเพี้ยนไปจนอาจเป็นสาเหตุให้โครงสร้างนั้นได้รับความเสียหายจนไม่สามารถใช้งานได้ พฤติกรรมในลักษณะนี้เป็น การตอบสนองต่อแรงกระทำของไม้ไผ่ จะประกอบไปด้วย การตอบสนองแบบฉับพลันและการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไป เรียกว่าการคืบตัวของวัสดุ (Creep) [3] ทำให้เสี่ยงต่อการแตกหักของลำไม้ไผ่ จนนำไปสู่การเสียหายและอันตรายในขณะใช้งาน

จากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมาพบว่าในประเทศไทย ยังไม่ได้มีการศึกษาพฤติกรรมการเปลี่ยนรูปของไม้ไผ่มากนัก จนได้มีการนำไม้หมากมาทดลองหาพฤติกรรมการคืบ [4] นอกจากนี้ยังได้มีการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาศึกษาพฤติกรรมการเปลี่ยนรูปร่างของไม้ไผ่เมื่อได้รับภาระกด [5] [6] หรือการนำมาใช้ทำนายพฤติกรรมการเปลี่ยนรูปของเนื้อไม้ชนิดอื่น เช่นการศึกษาพฤติกรรมการคืบในระยะยาวของไม้สนเหลือง [7] และพฤติกรรมการคืบของคานไม้จริงที่เสริมแรงด้วยแผ่นไฟเบอร์ [8] โดยพบว่าสามารถทำนายพฤติกรรมการคืบได้สอดคล้องกันกับการทดลองจากชิ้นตัวอย่าง นอกจากนี้ยังได้ศึกษาการคืบของวัสดุเชิงประกอบโพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูงผสมเส้นใยไม้ไผ่โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ให้ผลการทำนายที่สอดคล้องกับข้อมูลที่ได้จากการทดลอง [9] ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงศึกษาผลของภาระดัดที่มีต่อพฤติกรรมการเปลี่ยนรูปร่างคืบของไผ่สีสุก ที่นิยมนำมาสร้างโครงสร้างของที่อยู่อาศัย และใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการทำนายพฤติกรรมการคืบของไม้ไผ่

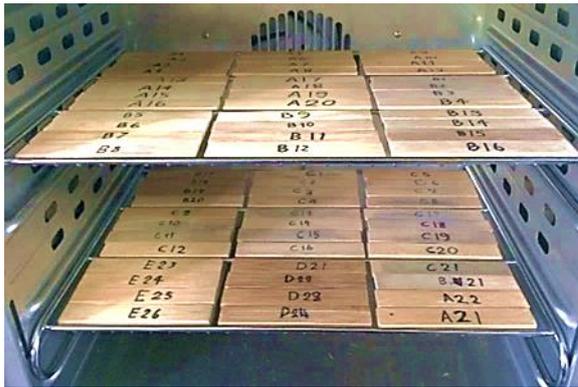
เพื่อใช้เป็นแนวทางในการศึกษาหาแบบจำลองพฤติกรรมการเปลี่ยนรูปร่างคืบของลำไม้ไผ่ และตรวจสอบร่วมกับการทดลองจากชิ้นตัวอย่าง เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการพิจารณาผลของภาระดัดที่มีต่อการเปลี่ยนรูปของไม้ไผ่ในงานโครงสร้างต่างๆ

2. อุปกรณ์และวิธีการ

ในการศึกษาพฤติกรรมการเปลี่ยนรูปร่างคืบของไผ่สีสุกในครั้งนี้ เลือกใช้ไผ่สีสุกที่ได้จากอำเภอเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่ ที่มีอายุประมาณ 3-5 ปี นำไม้ไผ่มาตัดออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนโคนลำต้น ส่วนกลางลำต้น และส่วนปลายลำต้น จากนั้นทำการผ่าซีกๆ ตามแนวเส้นยาวเพื่อปลอกผิวด้านในและผิวด้านนอกออกด้านละประมาณไม่เกิน 1 มิลลิเมตร จากนั้นนำซีกไม้ไผ่ที่ผ่านการปลอกผิวแล้วทั้งส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลายลำต้น ทั้งหมดไปอบแห้งเพื่อกำจัดความชื้นออกจากเนื้อไม้ด้วยตู้อบแห้งยี่ห้อ Binder ที่อุณหภูมิ $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นทำการอบชื้นไม้ไผ่และชั่งมวลชื้นไม้ไผ่ทุกๆ 1 ชั่วโมง จนกระทั่งมวลชื้นไม้ไผ่มีการเปลี่ยนแปลงไม่เกิน 0.01 กรัม ตามมาตรฐานของ ISO/DIS 22157 [10] ไม้ไผ่ที่ผ่านการอบแห้งแล้วจะถูกนำมาปรับขนาดเพื่อนำมาใช้เป็นชิ้นทดสอบจำนวนทั้งหมด 36 ชิ้น แต่ละชิ้นมีขนาดกว้าง 20 mm ทิศทางตามแนวเส้นสัมผัส (Transverse Direction, T) หนา 5 mm ทิศทางตามแนวรัศมี (Radial Direction, R) และยาว 120 mm ทิศทางตามแนวเส้นใย (Longitudinal Direction, L) ดังแสดงในรูปที่ 1 และ 2



รูปที่ 1 ขนาดของชิ้นทดสอบ



รูปที่ 2 ชั้นทดสอบไม้ไผ่ที่ผ่านการอบแห้ง

ชั้นทดสอบไม้ไผ่จากส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลายลำต้นส่วนละ 3 ชั้น จะถูกนำไปทดสอบเพื่อหาค่าภาระตัดสูงสุดของชั้นทดสอบที่สามารถรับได้ ด้วยวิธีการทดสอบแบบภาระตัดแบบ 3 จุด ด้วยเครื่องทดสอบสากล (Universal Testing Machine) ยี่ห้อ Hounsfield รุ่น H50KS ดังแสดงในรูปที่ 3 โดยใช้อัตราการกดชั้นทดสอบ 2.5 mm/min [10] ระยะห่างระหว่างจุดรองรับมีขนาด 100 mm ให้ภาระกระทำกับชั้นทดสอบบริเวณกึ่งกลางคาน



รูปที่ 3 เครื่องทดสอบสากลยี่ห้อ Hounsfield

ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบถูกนำมาหาค่าความต้านแรงตัดสูงสุดจากสมการที่ (1)

$$\sigma_b = \frac{3P_u L}{2bh^2} \quad (1)$$

โดยที่ σ_b คือ ความต้านแรงตัดสูงสุด (หน่วย N/mm²), P_u คือ ภาระสูงสุดที่ชั้นทดสอบสามารถรับได้

(หน่วย N), L คือ ความยาวระหว่างจุดรองรับของชั้นทดสอบ (หน่วย mm), b คือ ความกว้างของหน้าตัดของชั้นทดสอบ (หน่วย mm) และ h คือ ความสูงของหน้าตัดของชั้นทดสอบ (หน่วย mm) [11]

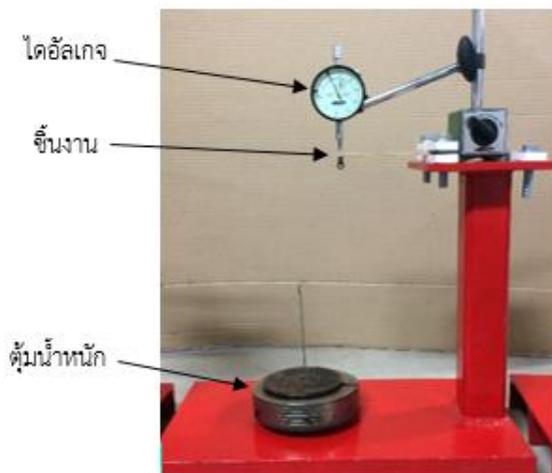
นำค่าความต้านแรงตัดสูงสุดที่ได้จากการทดลองด้วยวิธีการกดแบบ 3 จุด จากสมการที่ (1) มาหาค่าภาระสูงสุดที่ชั้นทดสอบสามารถรับได้ด้วยวิธีการคานปลายอื่น จากสมการที่ (2)

$$\sigma_b = \frac{6P_c L}{bh^2} \quad (2)$$

โดยที่ P_c คือ ภาระสูงสุดที่ชั้นทดสอบสามารถรับได้ด้วยวิธีการแบบคานปลายอื่น (หน่วย N)

ซึ่งค่าภาระ P_c นี้ถูกนำไปใช้ในการออกแบบภาระที่จะใช้ในการทดสอบหาพฤติกรรมการเปลี่ยนรูปแบบคาน (P_0) โดยในการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการพิจารณาภาระที่นำไปใช้ในการทดสอบคือ 10% 20% และ 30% ของภาระสูงสุดที่ชั้นทดสอบสามารถรับได้ด้วยวิธีการแบบคานปลายอื่น (P_c)

นำชั้นทดสอบที่เหลือมาทำการทดสอบหาพฤติกรรมคานด้วยวิธีการคานปลายอื่น โดยแบ่งชั้นทดสอบออกเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มละ 9 ชั้น แต่ละกลุ่มทำการทดสอบโดยใช้ภาระที่มีขนาดเป็น 10% 20% และ 30% ของภาระสูงสุดที่ชั้นทดสอบสามารถรับได้ ตามลำดับ การทดสอบถูกทำในห้องควบคุมอุณหภูมิและความชื้นที่ 25 °C ± 2 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 60-70 %RH [10] โดยไม่พิจารณาผลของความชื้นในเนื้อไม้ไผ่ที่อาจเกิดการเปลี่ยนแปลงในขณะทดสอบ ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบประกอบด้วย แท่นจับยึดชั้นทดสอบ ไดอัลเกจ และตุ้มภาระ ดังรูปที่ 4 โดยกำหนดให้ระยะห่างระหว่างจุดยึดถึงปลายอิสระของชั้นทดสอบมีความยาว 100 mm ตำแหน่งที่ใช้ในการแขวนตุ้มภาระและตำแหน่งติดตั้งไดอัลเกจอยู่ห่างจากจุดยึด 90 mm เริ่มต้นด้วยการให้ภาระกระทำกับชั้นทดสอบ 4 ชั่วโมง ข้อมูลการโก่งของชั้นทดสอบถูกบันทึกไว้ทุกๆ 1 นาที และทำการทดสอบซ้ำจำนวน 3 ครั้งในแต่ละกลุ่ม



รูปที่ 4 ชุดทดสอบการคืบ

ข้อมูลระยะเวลาการเปลี่ยนรูปที่ได้จะถูกนำมาใช้เพื่อหาค่าความเครียดคืบที่เวลาใดๆ (Creep Strain) ของไม้ไผ่ โดยสามารถหาได้จากสมการที่ (3) นั่นคือ

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma_0}{E(t)} \quad (3)$$

โดยที่ $\varepsilon(t)$ คือ ความเครียดคืบที่เวลาใดๆ ของไม้ไผ่ σ_0 คือ ความเค้นดัดคืบที่ให้แก่ชิ้นทดสอบ (หน่วย N/mm^2) และ $E(t)$ คือ โมดูลัสการยืดหยุ่นที่เป็นฟังก์ชันของเวลา (หน่วย N/mm^2) ซึ่งค่า σ_0 และ $E(t)$ สามารถหาได้จากสมการที่ (4) และ (5)

$$\sigma_0 = \frac{6P_0L}{bh^2} \quad (4)$$

$$E(t) = \frac{P_0L^3}{3I\delta(t)} \quad (5)$$

โดยที่ I คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่หน้าตัด (หน่วย mm^4) และ $\delta(t)$ คือ ระยะโก่งของคานปลายยื่นที่เป็นฟังก์ชันของเวลา (หน่วย mm)

ระยะโก่งของคานปลายยื่นที่ได้จากการทดสอบยังถูกนำไปหาค่าความเครียดคืบในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งในการวิจัยในครั้งนี้ได้ใช้แบบจำลอง

พฤติกรรมการคืบของไบเลย์-นอร์ตัน (Bailey-Norton Creep Law) [12] ดังแสดงในสมการที่ (6)

$$\varepsilon(t) = A\sigma_0^m t^n \quad (6)$$

โดยที่ A , m และ n คือ ค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองพฤติกรรมการคืบของ Bailey-Norton Creep Law และสามารถหาได้จากกรวิธีเชิงตัวเลข และ t คือ เวลาใดๆ

ความเครียดคืบที่ได้จากสมการที่ (3) และสมการที่ (6) จะนำมาเปรียบเทียบกับกัน เพื่อเป็นแนวทางในการพิจารณาผลของการใช้แบบจำลองพฤติกรรมการคืบของไบเลย์-นอร์ตัน ที่มีต่อพฤติกรรมการเปลี่ยนรูปของไม้ไผ่เมื่อได้รับภาระดัดมากระทำ

3. ผลและวิจารณ์

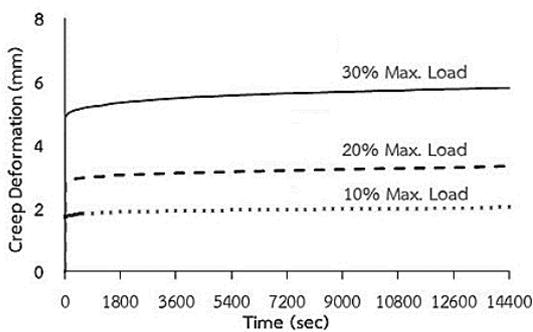
จากการทดสอบการดัดแบบ 3 จุด ด้วยเครื่องทดสอบสากล พบว่าไม้ไผ่ที่ผ่านการอบแห้งสามารถรับภาระดัดได้สูงสุด (P_u) 523 N ค่าความต้านแรงดัดสูงสุดที่ได้จากสมการที่ (1) มีค่า 156.900 N/mm^2 เมื่อนำมาหาค่าภาระสูงสุดที่ขึ้นทดสอบสามารถรับได้ด้วยวิธีการแบบคานปลายยื่น (P_c) จากสมการที่ (2) จะได้ 145.278 N จากนั้นนำค่าภาระสูงสุดที่ขึ้นทดสอบสามารถรับได้ไปหาภาระที่จะใช้ในการทดสอบหาพฤติกรรมการเปลี่ยนรูปแบบคืบที่ 10% 20% และ 30% ของภาระสูงสุดที่ขึ้นทดสอบสามารถรับได้ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ขนาดของภาระดัดที่ใช้ในการทดสอบหาพฤติกรรมการเปลี่ยนรูปแบบคืบของไม้ไผ่

P_c (N)	P_0 (N)		
	10%	20%	30%
145.278	14.528	29.056	43.583

ผลการศึกษาพฤติกรรมการคืบของไม้ไผ่เมื่อได้รับภาระดัดขนาด 10% 20% และ 30% ของภาระสูงสุดที่ขึ้นทดสอบสามารถรับ ด้วยวิธีการคานปลายยื่น เป็นเวลา 4 ชั่วโมง แสดงดังรูปที่ 5 โดยมีการกระจายตัวของข้อมูลในการหาระยะเปลี่ยนรูปแบบคืบ มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ภาระ 10% เท่ากับ 0.41 mm ที่ภาระ 20% เท่ากับ 0.20 mm และที่ภาระ 30% เท่ากับ 0.41 mm ตามลำดับ

จากรูปที่ 5 พบว่าขึ้นทดสอบไผ่สีสุกที่ผ่านการอบแห้ง เมื่อได้รับภาระตัดจะเกิดการเปลี่ยนรูปร่างอย่างฉับพลันในช่วงแรก จากนั้นเมื่อเวลาผ่านไปการเปลี่ยนรูปร่างจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ พฤติกรรมการเปลี่ยนรูปร่างที่เกิดขึ้นนี้มีผลมาจากลักษณะโครงสร้างของเนื้อไม้ไผ่ที่มีสมบัติเชิงกลแบบวิสโคอิลาสติก (Viscoelastic) [12] ที่มีพฤติกรรมยืดหยุ่น (Elastic) และหนืด (Viscous) เป็นพฤติกรรมเปลี่ยนรูปร่างของวัสดุที่ขึ้นอยู่กับเวลาเมื่อวัสดุนั้นอยู่ภายใต้สภาวะที่รับภาระคงที่ ซึ่งเรียกพฤติกรรมลักษณะนี้ว่าพฤติกรรมการเปลี่ยนรูปร่างแบบคืบ



รูปที่ 5 การเปลี่ยนรูปร่างแบบคืบของไผ่สีสุกเมื่อรับภาระตัด

นอกจากนี้ยังพบว่าขนาดของภาระตัดที่มากกระทำกับขึ้นทดสอบมีผลต่อระยะการเปลี่ยนรูปร่าง ถ้าขนาดของภาระตัดที่มากกระทำมีค่ามากจะส่งผลให้ขึ้นทดสอบเกิดการเปลี่ยนรูปร่างมากขึ้น แต่ถ้าภาระตัดที่มากกระทำมีค่าน้อย จะส่งผลให้การเปลี่ยนรูปร่างที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยตามไปด้วย และมีแนวโน้มที่การเปลี่ยนรูปร่างนั้นจะมีค่าคงที่ไม่ว่าเวลาจะผ่านไปเท่าใด

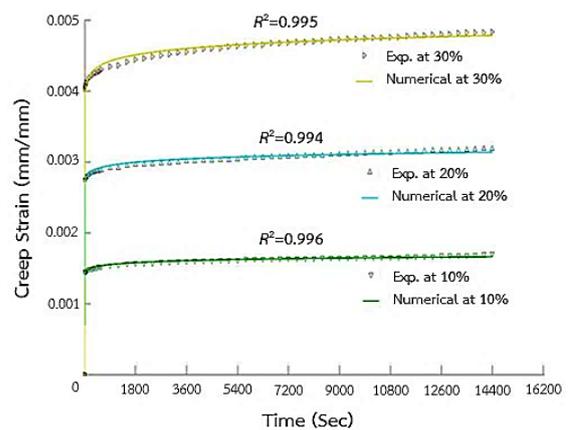
ข้อมูลการเปลี่ยนรูปร่างที่ได้จากการทดสอบถูกนำหาค่าความเครียดคืบที่เวลาใดๆ ตามสมการที่ (3) เพื่อนำไปใช้ในการหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในแบบจำลองพฤติกรรม การคืบของไบเล่ย์-นอร์ตัน ในสมการที่ (6) โดยใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขด้วยโปรแกรม Scilab [13] โดยใช้การพิจารณาสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (Coefficient of Determination, R^2) [14] มากกว่า 0.9 ขึ้นไป

ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในแบบจำลองพฤติกรรม การคืบของไบเล่ย์-นอร์ตัน แสดงได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในแบบจำลองพฤติกรรม การคืบของไบเล่ย์-นอร์ตัน $\varepsilon(t) = A\sigma_0^m t^n$

% Load	Parameters		
	A	m	n
10%	0.00030	0.40130	0.02228
20%	0.00031	0.51280	0.02476
30%	0.00065	0.65840	0.02843

จากนั้นนำข้อมูลของความเครียดคืบที่ได้จากแบบจำลองพฤติกรรม การคืบของไบเล่ย์-นอร์ตัน ไปเปรียบเทียบกับค่าความเครียดคืบที่ได้จากการทดสอบด้วยวิธีการคานปลายยื่น ตามสมการที่ (3) พบว่าเมื่อให้ภาระกระทำกับขึ้นทดสอบที่แตกต่างกันจะเกิดความเครียดคืบแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 ความเครียดคืบของไผ่สีสุกเมื่อรับภาระตัด

จากรูปที่ 6 พบว่าที่ภาระ 30% จะเกิดความเครียดคืบมากที่สุด และน้อยสุดที่ภาระ 10% นอกจากนี้ยังพบว่าแบบจำลองพฤติกรรม การคืบของไบเล่ย์-นอร์ตัน มีความสอดคล้องกับผลการทดสอบเป็นอย่างดีโดยมีค่า R^2 มากกว่า 0.9 ขึ้นไป โดยที่ค่าพารามิเตอร์ A จะส่งผลต่อการเปลี่ยนรูปร่างในช่วงของการเริ่มให้ภาระในระยะแรกตามพฤติกรรมเชิงกลในช่วงยืดหยุ่น เมื่อวัสดุมีภาระกระทำเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้พารามิเตอร์ A มีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เช่นเดียวกับพารามิเตอร์ m ส่วนค่าพารามิเตอร์ n จะส่งผลต่อการเปลี่ยนรูปร่างในช่วงที่สองที่วัสดุมีพฤติกรรมเชิงกลในช่วงหนืด เมื่อเวลาที่ขึ้นทดสอบไม้ไผ่สีสุกได้รับภาระเพิ่มมากขึ้น จะส่งผลให้ขึ้นทดสอบไม้ไผ่สีสุกเกิดการเปลี่ยนรูปร่างอย่างช้าๆ จนการเปลี่ยนรูปร่างนั้นอาจนำไปสู่การเสียหายของขึ้นทดสอบได้ในทางตรงกันข้ามถ้าภาระที่มา

กระทำกับชิ้นทดสอบมีค่าน้อย ผลของพารามิเตอร์ A , m และ n มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนรูปแบบคืบของชิ้นทดสอบน้อยมาก จนเมื่อเวลาที่รับภาระเพิ่มมากขึ้น การเปลี่ยนรูปของชิ้นทดสอบเกือบจะมีค่าคงที่

4. สรุป

ผลของภาระดัดที่มากกระทำกับไม้สีสุกนั้นทำให้ไม้สีสุกเกิดการเปลี่ยนรูปอย่างฉับพลันในช่วงแรก และการเปลี่ยนรูปจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่อระยะเวลาในการรับภาระเพิ่มขึ้น โดยที่ภาระดัดที่มากกระทำมีค่าเพิ่มสูงขึ้น จะส่งผลให้การเปลี่ยนรูปของไม้มีค่าเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย ผลของการเปลี่ยนรูปนี้ถ้าปล่อยให้ไม้สีสุกรับภาระไปเรื่อยๆ อาจนำไปสู่การเสียหายได้ ดังนั้นผู้ที่นำไม้ไปใช้งานในลักษณะที่รับภาระดัดเป็นระยะเวลานาน ต้องคำนึงถึงการเปลี่ยนรูปแบบคืบนี้ด้วย เพื่อป้องกันการเสียหายของโครงสร้างที่อาจเกิดขึ้นได้

แบบจำลองพฤติกรรมการคืบของไบเล่ย์-นอร์ตัน มีความสอดคล้องกับผลการทดสอบเป็นอย่างดีโดยมีค่า R^2 น้อยที่สุดที่ 0.994 ซึ่งแบบจำลองนี้มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการทำนายพฤติกรรมการเปลี่ยนรูปแบบคืบของไม้สีสุกหรือไม้ชนิดอื่น เมื่อได้รับภาระดัดเป็นระยะเวลานานๆ นอกจากนั้นแบบจำลองพฤติกรรมการคืบของไบเล่ย์-นอร์ตัน ยังอาจนำไปใช้ในการทำนายพฤติกรรมการคืบของไม้ไผ่ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งเป็นโจทย์ที่ทางคณะผู้วิจัยมีความสนใจที่จะดำเนินการศึกษาต่อไปในอนาคต เพื่อใช้เป็นแนวทางในการวิเคราะห์ปัญหาการเปลี่ยนรูปแบบคืบของไม้ไผ่ต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณห้องวิจัยและปฏิบัติการสมบัติทางกลของวัสดุทางการเกษตร สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ และโรงฝึกฝีมือสาขาวิชาออกแบบเครื่องเรือน คณะศิลปกรรมและสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ที่จำเป็นต่อการศึกษาวิจัยในครั้งนี้เป็นอย่างสูง

6. เอกสารอ้างอิง

[1] P. Yangpattana and R. Thawon, "Diversity and utilization of bamboo in Thailand," in *Proceeding of the 1st Bamboo and*

Livelihoods in Thailand: Local Knowledge and Management. Bangkok, 2014, pp. 10-18.

[2] S. Phumiphamon, "Bamboo with the Local Community Way in Thailand," in *Proceeding of the 1st Bamboo and Livelihoods in Thailand: Local Knowledge and Management*. Bangkok, 2014, pp. 19-27.

[3] J. Bodig and B.A. Jayne, "Mechanics of Wood and Wood Composites," Krieger Publishing Company. Malabar, Florida, 1993.

[4] T. Ounjaijom and W. Rangsi, "Creep behavior of the bamboo (*Dendrocalamus Hamiltonii*)," in *Proceeding of the 26th ME-NETT Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand*, Dusit Thani Resort, Chiang Rai, Thailand, 2012, pp.72.

[5] T. Ounjaijom and W. Rangsi, "Burgers model parameter identification of bamboo creep behavior," in *Proceeding of the 4th TSME International Conference on Mechanical Engineering*, Chonburi, Thailand, 2013, pp. 86.

[6] T. Ounjaijom and W. Rangsi, "Numerical and experimental study of the transverse creep-recovery behavior of bamboo culm (*Dendrocalamus hamiltonii*)," *Walailak J. Sci. Technol.*, vol. 13, no. 8, pp. 615-629, 2016.

[7] J. Tissaoui, "Effects of long-term creep on the integrity of modern wood structures," Ph.D. dissertation, Civil Engineering, Virginia Polytechnic Institute & State University, 1996.

[8] M. Yahyaei-Moayyed and F. Taheri, "Experimental and computational investigations into creep response of AFRP reinforced timber beams," *Compos. Struct.*, vol. 93, no. 2, pp. 616-628, 2011.

[9] Y. Xu, S.-Y. Lee and Q. Wu, "Creep analysis of bamboo high-density polyethylene composites: effect of interfacial treatment and fiber loading level," *Polym. Compos.*, vol. 32, no. 5, pp. 692-699, 2011.

- [10] International Standard, Determination of Physical and Mechanical Properties of Bamboo, ISO/DIS 22157, 2004.
- [11] M. Nakagima, K. Kojiro, H. Sugimoto, T. Miki and K. Kanayama, “ Studies on bamboo for sustainable and advanced utilization,” *energy*, vol. 36, no.4, pp. 2049-2054, 2011.
- [12] R. S. Lakes, “ *Viscoelastic Materials*,” CRC Press, Boca Raton, Florida, 2009.
- [13] S. L. Campbell, J. P. Chancelier and R. Nikoukhah, “ Modeling and Simulation in Scilab/Scicos,” Springer, New York, p. 113-117. 2006.
- [14] Pramote Dechaumphai, “*Numerical Methods in Engineering*,” 9th ed. , Chulalongkorn University Press, Bangkok, 2014.