



## ผลของปริมาณความชื้นในไม้ยางพาราที่ผ่านการอบด้วยความร้อนสูงที่มีต่อประสิทธิภาพของคานไม้ประสานด้วยกาวภายใต้น้ำหนักบรรทุกทุกแบบคงค้างและแบบสลับทิศ

ฐิปกรณ์ อุดรนคร วราวิทย์ เอกอินทมาศ และ ทวิช พูลเงิน\*

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

\* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 0 2470 9145 อีเมล: tawich.pul@kmutt.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2022.01.003

รับเมื่อ 23 สิงหาคม 2564 แก้ไขเมื่อ 29 พฤศจิกายน 2564 ตอรับเมื่อ 7 ธันวาคม 2564 เผยแพร่ออนไลน์ 13 มกราคม 2565

© 2022 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เน้นไปที่การศึกษาผลของปริมาณความชื้นในไม้ยางพาราที่ผ่านการปรับปรุงสมบัติด้วยความร้อนสูงที่มีผลต่อสมบัติในการรับแรงดัด พฤติกรรมการคืบดัด และการให้น้ำหนักบรรทุกทุกแบบสลับทิศของคานไม้ประสานด้วยกาว รวมทั้งนำเสนอผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการของคานไม้ยางพาราประสานด้วยกาวที่มีความชื้นในไม้ร้อยละ 7.73 และ 6.26 หลังจากผ่านการอบด้วยความร้อนสูงที่เปรียบเทียบกับคานไม้ยางพาราควบคุมประสานด้วยกาวที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงด้วยความร้อนสูง ซึ่งจะมีปริมาณความชื้นในไม้ร้อยละ 9.66 ในกรณีของสมบัติในการรับแรงดัด กำลังต้านทานแรงดัดสูงสุดของคานไม้ยางพาราประสานด้วยกาวที่มีปริมาณความชื้นในไม้ร้อยละ 7.73 และ 6.26 หรือลดลงจากไม้ยางพาราควบคุมร้อยละ 19.98 และ 35.20 มีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัดร้อยละ 8.57 และ 46.72 ตามลำดับ ในขณะที่ค่ามอดุลัสความยืดหยุ่นมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก สำหรับผลการทดสอบการให้น้ำหนักบรรทุกทุกแบบคงค้างโดยพิจารณาจากคานไม้ยางพาราประสานด้วยกาวที่มีความชื้นในเนื้อไม้ที่แตกต่างกัน และแปรเปลี่ยนระดับความเค้นคงค้างเป็นเวลา 1,000 ชั่วโมง พบว่า ค่าการคืบสัมพัทธ์สูงสุดเท่ากับ 0.31 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าไม้ท่อนต้นที่ไม่ได้ทำการประสานด้วยกาว อย่างไรก็ตาม ค่าการคืบสัมพัทธ์ของคานไม้ยางพาราประสานด้วยกาวที่มีปริมาณความชื้นร้อยละ 7.73 และ 6.26 ที่ระดับความเค้นร้อยละ 55 มีค่าลดลงอย่างมากเหลือเพียงร้อยละ 47.27 และ 42.27 ตามลำดับ การทดสอบแสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงความชื้นในเนื้อไม้ส่งผลโดยตรงต่อค่าความคืบสัมพัทธ์ โดยเฉพาะที่ระดับความเค้นที่สูง การทดสอบการให้น้ำหนักบรรทุกทุกแบบคงค้างเป็นระยะเวลายาวนานขึ้นที่ 1 ปี พบว่า แบบจำลองตามกฎของกำลังซึ่งใช้ทำนายการคืบระยะสั้นที่ 1,000 ชั่วโมง ยังสามารถใช้ทำนายพฤติกรรมการคืบดัดของไม้ยางพาราประสานด้วยกาวในระยะยาวได้ด้วย ในกรณีของการให้แรงแบบสลับทิศผลการทดสอบชี้ให้เห็นว่าคานไม้ประสานด้วยกาวที่มีปริมาณความชื้นร้อยละ 7.73 และ 6.26 เมื่อเทียบกับคานไม้ยางพาราควบคุม มีการสลายพลังงานลดลงเฉลี่ยร้อยละ 21.05 และ 82.51 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการลดลงของปริมาณความชื้นในไม้ไม่มีผลต่อค่าการสลายพลังงาน และค่าการเสื่อมถอยกำลังของคานไม้ยางพาราประสานด้วยกาว การศึกษาครั้งนี้ยังชี้ให้เห็นว่าปริมาณความชื้นร้อยละ 7.73 หลังจากปรับปรุงสมบัติด้วยความร้อนสูงเป็นปริมาณความชื้นที่เหมาะสมในการนำไปใช้เป็นชิ้นส่วนของโครงสร้าง เนื่องจากส่งผลต่อการลดลงของสมบัติเชิงกลไม่มากนักแต่ให้ผลดีในแง่ของการคงขนาดและการทนทานต่อสภาพแวดล้อม

**คำสำคัญ:** การให้น้ำหนักบรรทุกทุกแบบคงค้าง การให้น้ำหนักบรรทุกทุกแบบสลับทิศ ความชื้น ประสานด้วยกาว ไม้ยางพารา

การอ้างอิงบทความ: ฐิปกรณ์ อุดรนคร วราวิทย์ เอกอินทมาศ และ ทวิช พูลเงิน, “ผลของปริมาณความชื้นในไม้ยางพาราที่ผ่านการอบด้วยความร้อนสูงที่มีต่อประสิทธิภาพของคานไม้ประสานด้วยกาวภายใต้น้ำหนักบรรทุกทุกแบบคงค้างและแบบสลับทิศ,” *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, ปีที่ 34, ฉบับที่ 3, หน้า 1–14, เลขที่บทความ 243-105354, ก.ค.-ก.ย. 2567.



## Effect of Moisture Content in Rubberwood with Heat Treatment on the Performance of Glued-laminated Timber Beams under Sustained and Cyclic Loads

Thippakorn Udtaranakron, Warawit Eakintumas and Tawich Pulngern\*

Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok, Thailand

\* Corresponding Author, Tel. 0 2470 9145, E-mail: tawich.pul@kmutt.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2022.01.003.

Received 23 August 2021; Revised 29 November 2021; Accepted 7 December 2021; Published online: 13 January 2022

© 2022 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

### Abstract

This research focuses on the effect of moisture content (MC) of rubberwood with heat treatment on the flexural properties, creep, and cyclic load behaviors of glued-laminated timber beams and presented the experimental results of rubberwood glulam beams with MC of 7.73% and 6.26% in comparison with that of control rubberwood glulam beams with MC of 9.66%. In the case of flexural properties, modulus of rupture in case of rubberwood glulam with MC of 6.26% and 7.73% which MC was reduced from the control wood about 19.98% and 35.20% decreased significantly of 8.57% and 46.72%, while the modulus of elasticity was slightly changed. For the sustained load test, the rubberwood with various MC was considered by varying stress levels for the duration of 1,000 hrs. The maximum relative creep of rubberwood glulam was 0.310 which was lower than natural timber. However, the relative creep of rubberwood glulam with MC of 6.26% and 7.73% for stress level of 55% were significantly decreased to 47.27% and 42.27%, respectively. The results indicated that variation of MC in rubberwood glulam directly influenced the value of relative creep, especially for the high-stress level. The longer time of sustained load test for the duration of 1 year was also investigated for specific stress levels and found that the power-law creep model which was used in case of 1,000 hrs could be used for the long-term creep response prediction of rubberwood glulam. The results from the cyclic loading test also demonstrated that the energy dissipation of rubberwood glulam with MC of 6.26% and 7.73% in comparison with the control glulam reduced to be 21.05% and 82.51%, respectively. The reduction of MC in rubberwood affected significantly in the case of energy dissipation and the impairment of strength of rubberwood glulam. This study indicates that thermally modified rubberwood glulam with MC of 7.73% is the suitable moisture content for structural members. This moisture content affects slightly the mechanical properties and gives better dimensional stability and weather resistance.

**Keywords:** Cyclic Load, Glued-laminated, Moisture Content, Rubberwood, Sustained Load

Please cite this article as: T. Udtaranakron, W. Eakintumas, and T. Pulngern, "Effect of moisture content in rubberwood with heat treatment on the performance of glued-laminated timber beams under sustained and cyclic loads," *The Journal of KMUTNB*, vol. 34, no. 3, pp. 1–14, ID. 243-105354, Jul.–Sep. 2023 (in Thai).

## 1. บทนำ

ในประเทศไทยยางพาราเป็นพืชที่สามารถสร้างรายได้จากการส่งออกเป็นอย่างมาก เนื่องจากเป็นพืชที่มีพื้นที่การเพาะปลูกครอบคลุมเป็นบริเวณกว้าง การส่งออกยางพาราส่วนใหญ่จะเน้นไปที่การส่งออกวัตถุดิบและไม้ยางพาราแปรรูป ซึ่งสามารถสร้างรายได้ให้กับเกษตรกรและอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องเป็นอย่างดี ในอดีตไม้ยางพาราแปรรูปประสบปัญหาไม่สามารถส่งออกได้ตามเป้าหมายที่กำหนดเนื่องจากสภาวะเศรษฐกิจตกต่ำทั่วโลก [1] และได้ทำการแก้ไขโดยสนับสนุนการส่งออกไปยังตลาดต่างประเทศกลุ่มใหม่ เช่น ประเทศจีน ที่ส่วนใหญ่นำไปใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตเฟอร์นิเจอร์ ต่อมาเมื่อประเทศจีนลดการนำเข้าไม้ยางพาราแปรรูป จึงส่งผลกระทบต่อโดยตรงกับอุตสาหกรรมโรงเลื่อยและโรงอบไม้ ทำให้ผู้ประกอบการหลายรายต้องยุติกิจการลง เพื่อเป็นการแก้ปัญหาให้กับผู้ประกอบการอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องให้มีทางเลือกที่มากขึ้น โดยนำไม้ยางพาราที่มีจุดเด่นสำคัญคือเป็นไม้ป่าปลูกที่สามารถตัดโค่นแล้วสามารถปลูกทดแทนได้ มาแปรรูปด้วยกระบวนการอบแห้งเพื่อปรับปรุงสมบัติให้ดีขึ้น

โดยทั่วไปการอบไม้จะใช้อุณหภูมิที่ 80–90 องศาเซลเซียส ร่วมกับการใช้สารเคมีหรือการอัดน้ำยา ซึ่งจะใช้เวลาในการอบนานขึ้นอยู่กับความหนาของไม้ และยังมีปริมาณความชื้นสูง ดังนั้นการใช้กระบวนการอบแห้งด้วยความร้อนสูง (Thermal Modification) เป็นเทคโนโลยีที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ที่ช่วยในการปรับปรุงสมบัติของไม้โดยไม่ใช้สารเคมี ความร้อนในการอบจะช่วยปรับปรุงสมบัติของไม้ให้เกิดการปรับเปลี่ยนโครงสร้างทางเคมี และเกิดการเปลี่ยนแปลงชั่วคราวหรือถาวร เช่น ความสามารถในการคงขนาด ทนทานต่อทุกสภาพอากาศและความต้านทานการสีกร่อนของไม้ [2], [3] ในกระบวนการนี้จะใช้ความชื้นและอุณหภูมิ 180–220 องศาเซลเซียส เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน และคุณภาพการอบไม้ที่ดียิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพด้านการใช้งานให้กับไม้ได้อย่างถาวรเหมาะสมสำหรับไม้ทุกชนิด เพิ่มความเป็นฉนวน รวมถึงต้านทานจุลินทรีย์และศัตรูของไม้และช่วยลดการผุกร่อนอีกด้วย [4]–[6]

สำหรับการสร้างมูลค่าเพิ่ม และทางเลือกในการพัฒนาไม้ยางพาราแปรรูป สามารถใช้เทคนิคการประสานด้วยกาว (Glued Laminated Technique) นำไปขึ้นรูปให้เป็นโครงสร้างไม้ที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ไม้สำหรับงานโครงสร้างที่มีความแข็งแรง ทนทาน และที่สำคัญคือมีน้ำหนักเบาว่าโครงสร้างที่ทำจากวัสดุก่อสร้างประเภทอื่นๆ ทำให้สามารถลดต้นทุนของโครงสร้าง เสา และฐานรากของอาคารได้ นอกจากนี้ไม้ยางพาราเป็นไม้โตเร็ว หากนำมาประสานด้วยกาวให้เป็นโครงสร้างไม้ขนาดใหญ่และใช้ทดแทนไม้เนื้อแข็ง สามารถช่วยลดปัญหาการตัดไม้ทำลายป่าอีกทางหนึ่งด้วย ทั้งนี้เทคโนโลยีนี้ยังมีส่วนช่วยให้โครงสร้างมีหน้าตัด หรือขนาดตามความต้องการของผู้บริโภค อีกทั้งสามารถจัดสมบัติเชิงลบของไม้ เช่น การบิดและการโก่งหลังจากการอบ [7] อย่างไรก็ตาม งานวิจัยในอดีต [7], [8] ส่วนใหญ่ประยุกต์ใช้เทคนิคการประสานไม้ด้วยกาวโดยใช้ไม้ท่อนเป็นหลัก แต่ในประเทศไทยงานวิจัยเกี่ยวกับการใช้ไม้ยางพาราที่ผ่านการอบด้วยความร้อนสูงร่วมกับการใช้เทคโนโลยีการประสานด้วยกาวมีอยู่น้อยมาก และงานวิจัยในต่างประเทศที่สืบค้นได้ก็จะเน้นที่สมบัติพื้นฐาน ยังไม่พิจารณาการเสียน้ำที่เพิ่มมากขึ้นภายใต้น้ำหนักบรรทุกแบบคงค้างและแบบสลับทิศ อาจนำไปสู่การวิบัติของโครงสร้างไม้ประสานด้วยกาวได้ นอกจากนี้งานวิจัยในอดีต [9]–[11] ยังมีการศึกษาปริมาณความชื้นในไม้ที่มีผลต่อสมบัติในการรับแรงดัด และพฤติกรรมการคืบค่อนข้างน้อย ส่วนใหญ่จะเน้นศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางสภาวะความชื้นภายนอกร่วมการให้น้ำหนักบรรทุกแบบคงค้างของไม้

การศึกษาในครั้งนี้เน้นการประเมินผลปริมาณความชื้นที่ต่างกันไม่ยางพาราหลังจากการอบที่มีผลต่อสมบัติในการรับแรงดัด พฤติกรรมการคืบคอด และการให้น้ำหนักบรรทุกแบบสลับทิศของคานไม้ยางพาราประสานด้วยกาว การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายพฤติกรรมการคืบคอดในระยะสั้นและระยะยาว รวมไปถึงการเสื่อมถอยของกำลังและการสลายพลังงานจากการให้น้ำหนักบรรทุกแบบสลับทิศ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเน้นด้านการประยุกต์ใช้ไม้ยางพาราแปรรูปมาประสานด้วยกาวที่นำไปใช้ในงานโครงสร้าง ซึ่ง

เป็นการยกระดับเทคโนโลยีการปรับปรุงสมบัติของไม้ และสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับไม้ยางพาราได้อีกด้วย

## 2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

### 2.1 ไม้ยางพารา

งานวิจัยนี้ใช้ไม้ยางพารา (*Rubberwood, Hevea Brasiliensis*) ที่ผ่านการอบด้วยความร้อนสูง โดยกรรมวิธีในการอบไม้ด้วยความร้อนสามารถใช้สารเคมีร่วมกับการใช้อุณหภูมิหรือใช้ความร้อน และความร้อนสูงในการปรับปรุงสมบัติของไม้ โดยไม้ยางพาราที่ใช้ในงานวิจัยนี้แบ่งเป็น 2 ประเภท ประเภทแรกไม้ยางพาราควบคุมเป็นไม้ยางพาราอัดน้ำยาอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส สำหรับประเภทที่สองคือ ไม้ยางพาราที่ผ่านการปรับปรุงสมบัติด้วยความร้อนสูง (Thermally Modified Rubberwood) ซึ่งกระบวนการอบไม้ไม่มีการใช้ออกซิเจนในปริมาณต่ำ สามารถลดการดูดความชื้นของไม้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ [12] ซึ่งกระบวนการนี้จะใช้ความร้อนสูงที่อุณหภูมิ 180–220 องศาเซลเซียส

สำหรับการหาปริมาณความชื้นของไม้ยางพาราที่ผ่านกรรมวิธีทั้ง 2 ประเภทในช่วงต้น สามารถทำการทดสอบและเตรียมตัวอย่างตามมาตรฐาน ASTM D4442 [13] โดยใช้ไม้ตัวอย่างทดสอบที่ไม่มีการประสานด้วยกาวขนาด  $23 \times 75 \times 120$  มิลลิเมตร จำนวน 3 ตัวอย่างทดสอบ ซึ่งผลการทดสอบหาปริมาณความชื้นของชิ้นไม้ยางพาราควบคุม และชิ้นไม้ที่ผ่านการปรับปรุงสมบัติด้วยความร้อนสูงมีปริมาณชื้นเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 9.66, 7.73 และ 6.26 ตามลำดับ โดยผลการทดสอบมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.52, 0.17 และ 0.15 ตามลำดับ

### 2.2 การประสานไม้ด้วยกาว

ตัวอย่างทดสอบไม้ประสานด้วยกาวของงานวิจัยนี้ใช้วัสดุประสานชนิดพอลิยูรีเทน (Polyurethane; PU) คือ COSMO PU-160.110 เป็นวัสดุประสานไม้สำหรับงานก่อสร้าง งานผลิตชิ้นส่วนประสานหลายชั้น และงานในอุตสาหกรรมอื่นๆ ซึ่งขั้นตอนแรกทำความสะอาดบริเวณผิวไม้ให้สะอาด จากนั้นทำการฉีควัสดุประสานด้วยเครื่องฉีดน้ำยา

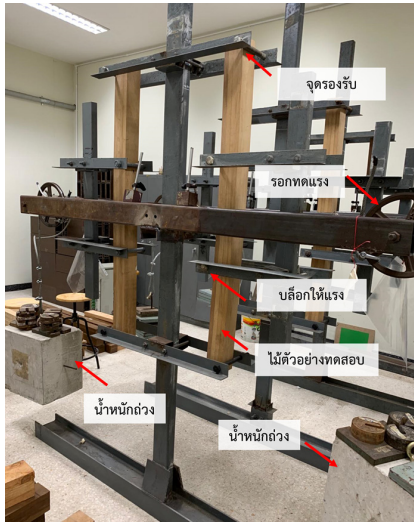
ประสานลงบนผิวไม้ในปริมาณ 250 กรัมต่อตารางเมตร จัดเรียงไม้ให้เป็นชั้นเสมอกันตามจำนวนและขนาดที่ต้องการ ชั้นตอนถัดมาจึงบีบอัดด้วยเครื่องบีบอัดความดัน 0.015 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร และชั้นตอนสุดท้ายทำการตัดแต่งไม้ตัวอย่างทดสอบด้วยการไสไม้ประสานด้วยกาวให้มีขนาดตามที่กำหนด โดยงานวิจัยนี้กำหนดให้คานไม้ตัวอย่างทดสอบมีขนาดเท่ากับ  $80 \times 80 \times 1280$  มิลลิเมตร (1 : 1 : 16) ซึ่งประกอบจากไม้ขนาด  $20 \times 80 \times 1280$  มิลลิเมตร เรียงซ้อนกัน 4 ชั้น ประสานด้วยกาว

### 2.3 การทดสอบกำลังต้านทานแรงดัดแบบ 4 จุด

ในการทดสอบกำลังต้านทานแรงดัดแบบ 4 จุด ของไม้ยางพาราประสานด้วยกาว การติดตั้งและเตรียมไม้ตัวอย่างทดสอบสอดคล้องตามมาตรฐาน ASTM D198 [14] โดยที่อัตราส่วนความยาวต่อความลึกของคานไม้ตัวอย่างทดสอบ (L/d) เท่ากับ 15 และยื่นจากจุดรองรับทั้งสองฝั่ง 40 มิลลิเมตร คานไม้ตัวอย่างทดสอบทั้ง 3 ประเภท ทำมาจากไม้ยางพาราควบคุมประสานด้วยกาวที่มีปริมาณความชื้นเท่ากับร้อยละ 9.66 (GMC9.66) และไม้ยางพาราที่ผ่านการปรับปรุงสมบัติด้วยความร้อนสูงประสานด้วยกาว ที่มีปริมาณชื้นของไม้เท่ากับร้อยละ 7.73 และ 6.26 ตามลำดับ (GMC7.73 และ GMC6.26) จำนวนประเภทละ 3 ตัวอย่างทดสอบ

### 2.4 การทดสอบการให้น้ำหนักบรรทุกทุกแบบคงค้าง

การพิจารณาพฤติกรรมการคืบดัดของคานภายใต้ น้ำหนักคงที่ต่อเนื่องที่เวลาใดๆ จากการทดสอบการให้น้ำหนักบรรทุกทุกแบบคงค้าง การติดตั้งและวิธีการทดสอบคานไม้ตัวอย่างทดสอบสอดคล้องตามมาตรฐาน ASTM D198 และ ASTM D6815 [15] โดยติดตั้งคานไม้ตัวอย่างทดสอบบนอุปกรณ์การทดสอบที่มีลักษณะคล้ายกับการทดสอบกำลังต้านทานแรงดัดแบบ 4 จุด ให้ได้ศูนย์กลางในแนวตั้งและแนวระดับดังรูปที่ 1 ให้แรงกระทำกับคานไม้ตัวอย่างทดสอบจนเกิดความเค้น ซึ่งพิจารณาระดับความเค้นที่แตกต่างกันร้อยละ 25 40 และ 55 ของความเค้น เนื่องจากแรงดัดสูงสุด โดยการแขวนน้ำหนักถ่วงให้แรงกระทำกับไม้ตัวอย่างทดสอบด้วย

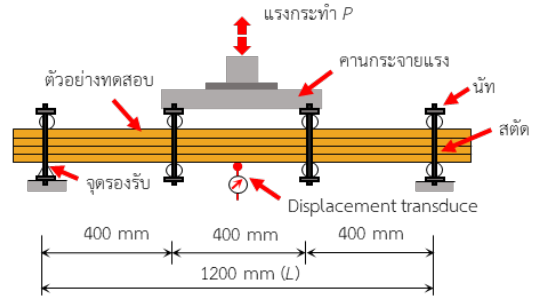


รูปที่ 1 อุปกรณ์สำหรับการให้น้ำหนักบรรทุกทุกแบบคงค้าง

สลิงอย่างซ้ำๆ บนรอกทดแรง เสมือนเป็นระบบล้อและเพลาที่มีรัศมีต่างกัน 10 เท่า ทำให้แรงกระทำกับไม้ตัวอย่างทดสอบมากกว่าน้ำหนักถ่วง 10 เท่า จากนั้นบันทึกระยะเวลาแอนตัวตามระยะเวลาตามมาตรฐาน ในช่วงแรกจะบันทึกเวลาในหน่วยนาที (1 2 5 15 และ 30 นาที) ในช่วงถัดมาบันทึกเวลาในหน่วยของชั่วโมง (1 2 5 20 50 70 120 250 350 500 700 และ 1,000 ชั่วโมง) ทั้งนี้เนื่องจากผู้วิจัยสนใจพฤติกรรมของตัวอย่างทดสอบเมื่อรับแรงคงค้างเป็นเวลานาน ผู้วิจัยจึงทำการทดสอบตัวอย่าง GMC7.73 ต่อเนื่องในระยะยาว โดยบันทึกค่าระยะเวลาแอนตัวทุกเดือนจนครบระยะเวลา 1 ปี ซึ่งภายในห้องปฏิบัติการทดสอบนี้มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 28–31 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วงร้อยละ 84–86 ตามลำดับ

## 2.5 การทดสอบการให้น้ำหนักบรรทุกทุกแบบสลับทิศ

การทดสอบโครงสร้างไม้ภายใต้ น้ำหนักบรรทุกทุกแบบสลับทิศจำเป็นต้องพิจารณาระยะการแอนตัวในแนวตั้ง และพฤติกรรมของวัสดุตามมาตรฐาน EN 12512 [16] การเตรียมและติดตั้งไม้ตัวอย่างทดสอบมีรูปแบบที่เหมือนกันกับการทดสอบกำลังต้านทานแรงดัด แต่บริเวณที่จุดรองรับ และคานกระจายแรงจะยึดด้วยสตัดและบันทึกดังรูปที่ 2 โดยใช้คานไม้



รูปที่ 2 การติดตั้งอุปกรณ์และตัวอย่างทดสอบสำหรับการทดสอบการให้น้ำหนักบรรทุกทุกแบบสลับทิศ

ตัวอย่างทดสอบจำนวน 3 ตัวอย่าง ในขั้นตอนของการทดสอบจะให้แรงกระทำกับไม้ตัวอย่างทดสอบตามระยะการแอนตัวและจำนวนรอบ โดยรอบแรกให้แรงอัดกระทำกับไม้ตัวอย่างทดสอบที่ร้อยละ 25 ( $-0.25\Delta_y$ ) ของระยะการแอนตัวที่จุดคราก ( $\Delta_y$ ) ถอนแรงกระทำจนระยะการแอนตัวเท่ากับศูนย์ จากนั้นจึงให้แรงดึงกระทำ ( $0.25\Delta_y$ ) เช่นเดียวกันกับแรงอัด เพิ่มระยะการแอนตัวและจำนวนรอบดังตารางที่ 1 จนกระทั่งคานไม้ตัวอย่างทดสอบวิบัติหรือมีระยะการแอนตัวเท่ากับ 30 มิลลิเมตร

ตารางที่ 1 จำนวนรอบและระยะการแอนตัว

ระยะการแอนตัว	จำนวนรอบ (รอบ)
$0.25\Delta_y$	1
$0.5\Delta_y$	1
$0.75\Delta_y$	3
$\Delta_y$	3
$1.5\Delta_y$	3
$2\Delta_y$	3

## 2.6 การทำนายพฤติกรรมการคืบคด

การทำนายพฤติกรรมการคืบคดของวัสดุที่มีความซับซ้อน ใช้วิธีการเลือกเส้นกราฟที่เหมาะสมกับข้อมูลจากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ซึ่งการทำนายพฤติกรรมการคืบคดของวัสดุมีฟังก์ชันที่เป็นตัวแปรต้นประกอบด้วย เวลา อุณหภูมิ สมบัติของวัสดุ และความเค้นเนื่องจากแรงกระทำ นอกจากนี้ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นดังกล่าวเป็นอิสระซึ่งกันและกัน



Bailey [17] และ Norton [18] ได้นำเสนอสมการเอมพิริคัลในรูปแบบสมการตามกฎยกกำลังสำหรับการคืบในหนึ่งมิติที่ขึ้นกับเวลาและความเค้น ดังสมการที่ (1) ซึ่งงานวิจัยในอดีต [19]–[21] นิยมใช้แบบจำลองดังกล่าวในการทำนายพฤติกรรมการคืบดัดของไม้กันอย่างแพร่หลาย ซึ่งสมการที่ (1) ดังกล่าวมีค่าสัมประสิทธิ์การดัดลึนใจที่สูง แสดงถึงความน่าเชื่อถือ และความสอดคล้องกับผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

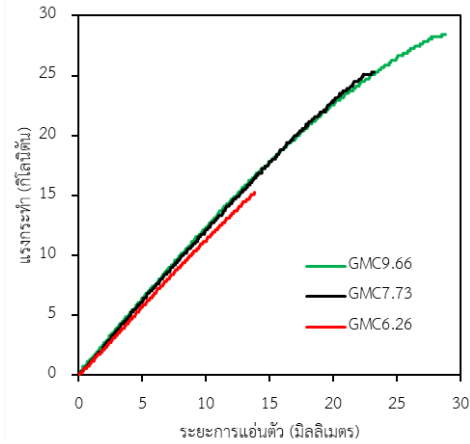
$$\delta_c = a\sigma^b t^m \quad (1)$$

โดย  $\delta_c$  คือ ค่าระยะการแอ่นตัวในหน่วยมิลลิเมตร  $\sigma$  คือ ความเค้นสูงสุดหน่วยเมกะปาสกาล  $t$  คือ เวลาในหน่วยชั่วโมง  $a$ ,  $b$  และ  $c$  คือ พารามิเตอร์ที่ขึ้นอยู่กับประเภทของวัสดุ สามารถพิจารณาได้จากการทดสอบการให้น้ำหนักบรรทุกทุกแบบคงค้างภายใต้ความเค้นคงที่

### 3. ผลการทดลอง

#### 3.1 การทดสอบกำลังต้านทานแรงดัดแบบ 4 จุด

รูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับระยะการแอ่นตัวของคานไม้ตัวอย่างทดสอบทั้งสามประเภท เพื่อให้แรงกระทำต่อเนื่องกระทำผ่านขีดจำกัดเส้นตรงในช่วงเวลาไม่นาน คานไม้ตัวอย่างทดสอบเกิดการวิบัติอย่างทันทีทันใดซึ่งบ่งบอกถึงพฤติกรรมแบบเปราะ โดยตารางที่ 2 แสดงผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงดัดแบบ 4 จุด และเปรียบเทียบค่าความเค้นสูงสุด เนื่องจากแรงดัดของคานไม้ตัวอย่างทดสอบทั้ง 3 ประเภท ที่มีปริมาณความชื้นแตกต่างกันพบว่า คานไม้ตัวอย่างทดสอบ GMC9.66 ซึ่งเป็นคานไม้ตัวอย่างทดสอบควบคุมมีค่าเฉลี่ยของความเค้นสูงสุดเท่ากับ 65.00 เมกะปาสกาล ขณะที่คานไม้ตัวอย่างทดสอบ GMC7.73 และ GMC6.26 มีค่าเท่ากับ 59.43 และ 34.63 เมกะปาสกาลตามลำดับ ซึ่งปริมาณความชื้นในเนื้อไม้ที่ร้อยละ 7.73 (GMC7.73) ลดลงจากคานไม้ตัวอย่างทดสอบควบคุมร้อยละ 19.98 ส่งผลให้ค่าความเค้นสูงสุดลดลงร้อยละ 8.57 และค่าความเค้นสูงสุดลดลงอย่างมีนัยสำคัญร้อยละ 46.72



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับระยะการแอ่นตัวของคานไม้ตัวอย่างทดสอบ

สำหรับไม้ยางพาราที่มีปริมาณความชื้นในเนื้อไม้ร้อยละ 6.26 (GMC6.26) ลดลงจากคานไม้ตัวอย่างทดสอบควบคุมร้อยละ 35.20 จะเห็นได้ว่าความชื้นในเนื้อไม้ส่งผลโดยตรงกับกำลังต้านทานแรงดัดของไม้ยางพาราประสานด้วยกาว การเปลี่ยนแปลงของปริมาณความชื้นที่ร้อยละ 35.20 ทำให้ค่าความเค้นลดลงในสัดส่วนที่สูงกว่าเท่ากับร้อยละ 46.72 ในส่วนของค่ามอดูลัสของความยืดหยุ่นของคานไม้ตัวอย่างทดสอบ GMC7.73 และ GMC6.26 มีค่าความแตกต่างกับค่ามอดูลัสยืดหยุ่นของคานไม้ตัวอย่างทดสอบควบคุมเท่ากับร้อยละ 1.73 และ 0.63 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าปริมาณความชื้นที่เปลี่ยนไปร้อยละ 35.20 ไม่ได้ส่งผลต่อค่ามอดูลัสยืดหยุ่นมากนัก โดยปกติไม้ยางพาราที่ปรับปรุงสมบัติด้วยความร้อน เมื่อพิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับการแอ่นตัว จะพบว่าเป็นวัสดุที่มีพฤติกรรมคล้ายวัสดุเปราะ การสูญเสียความชื้นในไม้จากการอบด้วยความร้อนสูงส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างระดับจุลภาคทำให้โครงสร้างระดับจุลภาคของไม้เกิดความไม่สมบูรณ์ อย่างไรก็ตาม ความไม่สมบูรณ์ของโครงสร้างระดับจุลภาคนี้อาจส่งผลน้อยในกรณีที่รับแรงกระทำในปริมาณสูง สังเกตได้จากผลการทดสอบที่แสดงไว้ในรูปที่ 3 ซึ่งชี้ให้เห็นว่าที่แรงกระทำน้อยกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับการแอ่นตัวของ

ไม้ที่มีความชื้นในไม้แตกต่างกันจะเป็นแบบเชิงเส้นและซ้อนทับกันในช่วงแรก แต่แรงกระทำสูงสุดจะลดลงแปรผันตามความชื้นที่ลดลง จากผลเหล่านี้เมื่อนำไปคำนวณหาค่ามอดุลัสยืดหยุ่นซึ่งคำนวณจากความสัมพันธ์ในช่วงต้นที่เป็นเชิงเส้น จึงได้ค่าไม้แตกต่างกันมาก ผลการศึกษาเหล่านี้สอดคล้องกับงานวิจัยในอดีต [4], [22] ซึ่งเป็นการศึกษาของไม้ประเภทอื่นและพบว่าไม้ที่ผ่านการอบด้วยความร้อนสูง จะทำให้ความชื้นในไม้ลดลงและส่งผลโดยตรงต่อโครงสร้างเซลล์ต่างๆ ในไม้ทำให้ไม้และส่งผลให้ไม้มีความเปราะมากขึ้น (Brittleness Increment) โดยให้ค่ากำลังต้านทานแรงดัดสูงสุดลดลงและส่งผลน้อยต่อค่ามอดุลัสยืดหยุ่น

### 3.2 พฤติกรรมการคืบคด

การทดสอบการให้น้ำหนักบรรทุกทุกแบบคงค้างของคานไม้ตัวอย่างทดสอบโดยพิจารณาระดับความเค้นที่แตกต่างกัน ผลการทดสอบพบว่าพฤติกรรมของคานไม้ตัวอย่างทดสอบ

ทั้งหมดอยู่ในช่วงการคืบเริ่มต้น (Primary Creep) จนถึงช่วงการคืบคงที่ (Secondary Creep) ในระยะเวลาการทดสอบ 1,000 ชั่วโมง ตามมาตรฐาน เนื่องจากไม่พบการวิบัติของคานไม้ โดยตารางที่ 3 แสดงค่าระยะการแอ่นตัว การเสียรูปเนื่องจากการคืบ ซึ่งสามารถหาได้จากผลต่างระหว่างระยะการแอ่นตัวที่ 1 นาที กับระยะการแอ่นตัวที่ 1,000 ชั่วโมง ( $\Delta_1 - \Delta_2$ ) รวมถึงค่าการคืบสัมพัทธ์ที่หาจากอัตราส่วนระหว่างค่าการเสียรูปเนื่องจากการคืบกับค่าระยะการแอ่นตัวเริ่มต้นที่ 1 นาที ผลการวิเคราะห์พบว่าการคืบสัมพัทธ์มีค่าอยู่ระหว่าง 0.116–0.310 และค่าการคืบสัมพัทธ์สูงสุดเท่ากับ 0.310 หากเปรียบเทียบกับงานวิจัยในอดีต [23]–[26] ซึ่งเป็นไม้ท่อนต้นที่มีค่าการคืบสัมพัทธ์อยู่ระหว่าง 0.8–1.4 ขณะที่ไม้ดัดกลาสเฟอร์ประสานกาวมีค่าการคืบสัมพัทธ์ระหว่าง 0.14–0.66 [20] ดังตารางที่ 4 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปริมาณความชื้นในไม้ยังพาราที่ลดลงและการประสานไม้ด้วยกาวส่งผลต่อการลดลงของพฤติกรรมคืบคด อย่างไรก็ตาม งาน

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงดัดแบบ 4 จุด

ตัวอย่างทดสอบ	แรงกระทำสูงสุด (กิโลนิวตัน)	ระยะการแอ่นตัวที่แรงกระทำสูงสุด (มิลลิเมตร)	ความเค้นสูงสุด (เมกะปาสกาล)	ค่ามอดุลัสของความยืดหยุ่น (เมกะปาสกาล)
GMC9.66	27.860 (2.50)	27.88 (1.62)	65.00 (5.88)	10,529.80 (827.33)
GMC7.73	25.441 (2.61)	24.52 (1.81)	59.43 (5.04)	10,711.62 (799.18)
GMC6.26	14.825 (1.13)	13.20 (2.08)	34.63 (2.69)	10,463.15 (1,061.93)

ตัวเลขที่อยู่ในวงเล็บคือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation; SD)

ตารางที่ 3 ค่าการแอ่นตัวของคานไม้ตัวอย่างทดสอบในช่วงการคืบและค่าการคืบสัมพัทธ์

ตัวอย่างทดสอบ	ระดับความเค้น (%)	ความเค้นดัด (เมกะปาสกาล)	น้ำหนักถ่วง (กิโลกรัม)	การแอ่นตัวของคาน (มม.)		$\Delta_1 - \Delta_2$ (มม.)	ค่าการคืบสัมพัทธ์
				ที่ 1 นาที	ที่ 1,000 ชั่วโมง		
GMC9.66	25	16.33	74	2.92	3.43	0.51	0.175
	40	26.12	120	6.05	6.94	0.89	0.147
	55	35.92	163	9.49	11.58	2.09	0.220
GMC7.73	25	14.91	65	2.39	3.13	0.74	0.310
	40	23.85	104	5.24	5.94	0.70	0.134
	55	32.80	143	7.77	8.67	0.90	0.116
GMC6.26	25	8.69	33	2.11	2.70	0.59	0.280
	40	13.90	53	4.15	4.67	0.52	0.125
	55	19.11	73	5.13	5.78	0.65	0.127

วิจัยในอดีต [27] ที่เกี่ยวกับผลของปริมาณความชื้นที่มีผลต่อการคืบของไม้ประเภทอื่นพบว่า การลดลงของปริมาณความชื้นในไม้ส่งผลให้ไม้มีความเครียดลดลง ซึ่งการลดลงของความเครียดส่งผลโดยตรงกับการคืบของวัสดุซึ่งกลไกที่ส่งผลต่อการคืบของไม้ยางพาราจะเป็นไปในแนวทางเดียวกับไม้ประเภทอื่น นอกจากนี้การวิเคราะห์พฤติกรรมการคืบของตัวอย่างทดสอบที่มีปริมาณความชื้นแตกต่างกัน โดยพิจารณาค่าการเสียรูปเนื่องจากการคืบแต่ละระดับความเค้นพบว่า ที่ระดับความเค้นร้อยละ 40 และ 55 คานไม้ตัวอย่างทดสอบ GMC7.73 และ GMC6.26 ค่าการเสียรูปเนื่องจากการคืบมีค่าลดลงร้อยละ 19.98 และ 35.19 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับคานไม้ตัวอย่างทดสอบควบคุม ดังนั้นเมื่อน้ำหนักบรรทุกคงค้างที่เพิ่มมากขึ้น และปริมาณความชื้นในไม้ยางพาราที่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณความชื้นสูงสุด ส่งผลให้พฤติกรรมการคืบคืบคดของคานไม้ประสานด้วยกาวมีการเสียรูปเนื่องจากการคืบลดลงเช่นเดียวกัน

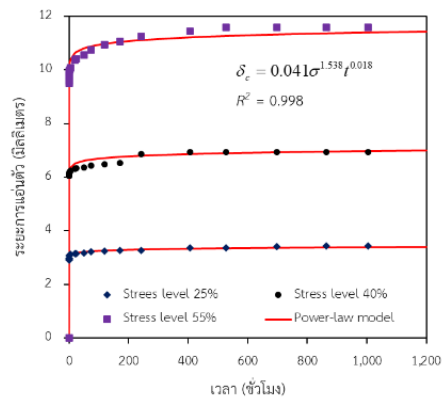
ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบค่าการคืบสัมพัทธ์ระหว่างไม้ยางพาราประสานด้วยกาวและไม้ท่อนตัน

ลักษณะท่อนไม้	ตัวอย่างทดสอบ	ค่าการคืบสัมพัทธ์
ประสานด้วยกาว	ไม้ยางพาราประสานด้วยกาว*	0.116–0.310
ประสานด้วยกาว	ไม้ดีกลาสเฟอร์ประสานด้วยกาว	0.14–0.66 [20]
ท่อนตัน	ไม้ดีกลาสเฟอร์ (10% MC)	<1.0 [23]
ท่อนตัน	Scots pine sapwood (14–6% MC)	1.0–1.3 [24]
ท่อนตัน	Pine and spruce (8–14% MC)	0.8 [25]
ท่อนตัน	Douglas-fir lumber (11% MC)	1.0–1.4 [26]

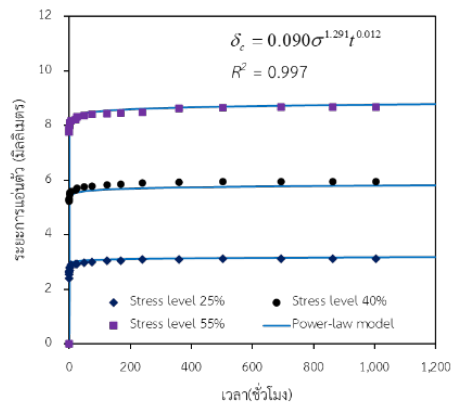
\*งานวิจัยนี้

### 3.3 สมการทำนายพฤติกรรมการคืบ

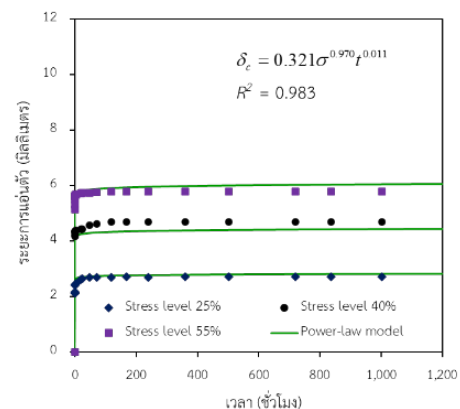
รูปที่ 4–6 แสดงแบบจำลองการคืบคืบคดตามสมการเอมพิริคัลในรูปแบบสมการตามกฎยกกำลังของคานไม้ตัวอย่างทดสอบ GMC9.66 GMC7.73 และ GMC6.26 ตามลำดับ เปรียบเทียบกับผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ



รูปที่ 4 แบบจำลองเส้นโค้งการคืบของคานไม้ตัวอย่างทดสอบ GMC9.66 ของสมการตามกฎยกกำลัง



รูปที่ 5 แบบจำลองเส้นโค้งการคืบของคานไม้ตัวอย่างทดสอบ GMC7.73 ของสมการตามกฎยกกำลัง



รูปที่ 6 แบบจำลองเส้นโค้งการคืบของคานไม้ตัวอย่างทดสอบ GMC6.26 ของสมการตามกฎยกกำลัง



โดยพารามิเตอร์ที่ขึ้นอยู่กับประเภทของวัสดุแต่ละแบบ จำลองแสดงสมการที่ (2)–(4) ผลจากการสร้างแบบจำลอง เพื่อทำนายพฤติกรรมจากการคืบดัดของไม้ตัวอย่างทดสอบ ทั้ง 3 ประเภท โดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การคืบดัดสนใจ พบว่า ค่าที่ได้อยู่ระหว่าง 0.983–0.998 ซึ่งแบบจำลองตาม กฎยกกำลังแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองดังกล่าวสอดคล้อง กันกับข้อมูลที่ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ นอกจากนี้ ยังสามารถใช้การทำนายพฤติกรรมการคืบดัดได้ อย่งไรก็ตาม เมื่อพิจารณาถึงพารามิเตอร์ของแบบจำลองตามกฎยกกำลัง ของคานไม้ตัวอย่างทดสอบทั้ง 3 ประเภท ดังสมการที่ (2)–(4) พบว่า ค่าพารามิเตอร์ที่ขึ้นอยู่กับประเภทของวัสดุ  $a$   $b$  และ  $m$  ส่งผลต่อการเสีรูปร่างเนื่องจากการคืบของตัวอย่างทดสอบ โดยที่  $a$  เป็นสมบัติที่เปลี่ยนไปตามวัสดุที่ส่งผลต่อคาร์ระยะ การแอนตัวเริ่มต้น และขึ้นอยู่กับค่าความเค้นจากการให้น้ำหนัก บรรทุกเริ่มต้น (Applied Stress) ในขณะที่  $b$  และ  $m$  มีผล ต่อค่าความชันของกราฟการเสีรูปร่างเนื่องจากการคืบของคานไม้ ตัวอย่างทดสอบ ดังนั้นการลดลงของปริมาณความชันในไม้ ยางพาราส่งผลให้ค่า  $b$  และ  $m$  ลดลงทำให้ค่าการเสีรูปร่าง เนื่องจากการคืบของคานไม้ยางพาราประสานด้วยกาว ลดลงเช่นเดียวกัน

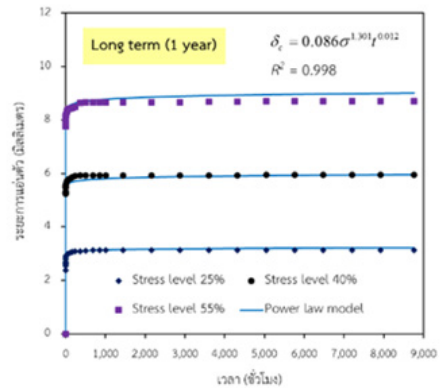
$$\delta_c = 0.041\sigma^{1.538}t^{0.018} \quad (2)$$

$$\delta_c = 0.090\sigma^{1.291}t^{0.012} \quad (3)$$

$$\delta_c = 0.321\sigma^{0.970}t^{0.011} \quad (4)$$

$$\delta_c = 0.086\sigma^{1.301}t^{0.012} \quad (5)$$

จากการพิจารณาพฤติกรรมการคืบดัดคานไม้ยางพารา ประสานด้วยกาว GMC7.73 ในระยะยาวเป็นเวลา 1 ปี พบว่า คานไม้ตัวอย่างทดสอบยังคงอยู่ในช่วงการคืบคงที่ โดยไม่มีการวิบัติเกิดขึ้น อย่งไรก็ตาม การทำนายพฤติกรรม การคืบดัดของคานไม้ดังกล่าวโดยใช้แบบจำลองตามกฎ ยกกำลังดังสมการที่ (5) ไม่มีความแตกต่างทางนัยสำคัญ เมื่อ

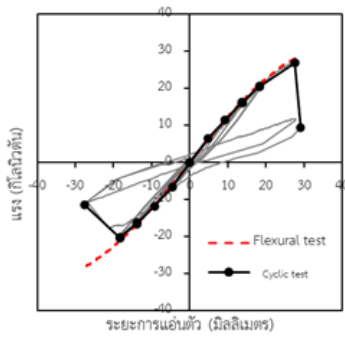


รูปที่ 7 พฤติกรรมการคืบดัดของคานไม้ตัวอย่างทดสอบ GMC7.73 ในช่วงระยะเวลา 1 ปี

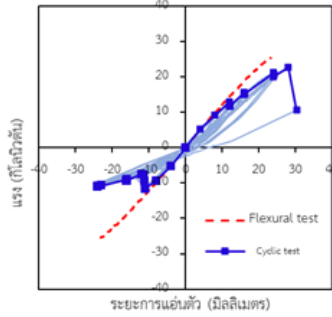
เปรียบเทียบกับพฤติกรรมการคืบในระยะสั้น (1,000 ชั่วโมง) โดยสังเกตจากค่าพารามิเตอร์ที่ขึ้นอยู่กับประเภทของวัสดุ ( $a$   $b$  และ  $m$ ) ของสมการที่ (3) และสมการที่ (5) มีค่า แตกต่างกันไม่มากเนื่องจากค่าการแอนตัวของไม้คาน ตัวอย่างทดสอบในช่วงระยะยาวไม่เพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ จึงทำให้ค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าร้อยละ 5 สำหรับ  $a$  ขณะที่ค่าพารามิเตอร์  $b$  และ  $m$  ไม่เปลี่ยนแปลง ซึ่งแบบจำลองเส้นโค้งการคืบของคานไม้ GMC7.73 ในช่วง ระยะเวลา 1 ปี แสดงดังรูปที่ 7 นอกจากนี้ค่าการเสีรูปร่าง เนื่อง การคืบ และค่าการคืบสัมพัทธ์ในระยะยาวมีค่าอยู่ระหว่าง 0.72–0.94 และ 0.121–0.310 ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบกับ ผลการทดสอบในระยะสั้นไม่มีผลต่างทางนัยสำคัญ ดังนั้น แบบจำลองพฤติกรรมการคืบดัดในระยะสั้นสามารถใช้ในการทำนายพฤติกรรมการคืบของไม้ยางพาราประสานด้วยกาวได้

### 3.4 พฤติกรรมของคานไม้ยางพาราประสานด้วยกาวภายใต้ น้ำหนักบรรทุกแบบสลับทิศ

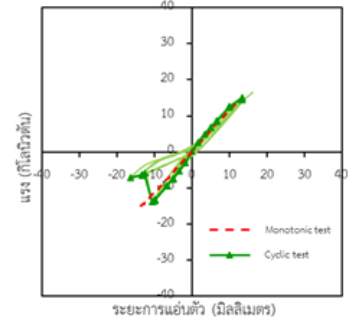
การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำ กับระยะการแอนตัวของไม้ยางพาราประสานด้วยกาว ทั้ง 3 ประเภท สำหรับการทดสอบกำลังต้านทานแรงดัด (Monotonic Test) และการทดสอบการให้น้ำหนักบรรทุก แบบสลับทิศ (Cyclic Test) โดยพิจารณาจากลักษณะของ เส้นโค้งรอบนอก (Backbone Curve) ดังรูปที่ 8 พบว่า



(ก) GMC9.66



(ข) GMC7.73



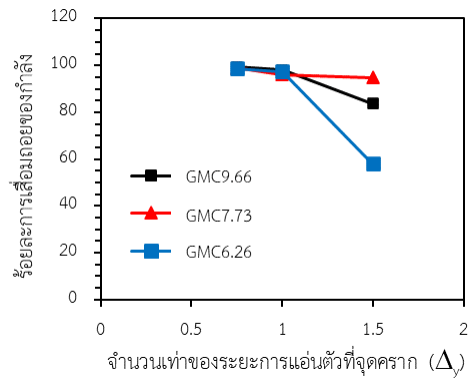
(ค) GMC6.26

รูปที่ 8 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างแรงและระยะการแอ่นตัวระหว่างสองการทดสอบของคานไม้

ช่วงแรกของกราฟเส้นโค้งรอบนอกของคานไม้ตัวอย่างทั้ง 3 ประเภท มีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น โดยความชันของกราฟมีความใกล้เคียงกันกับกราฟที่ได้จากการทดสอบกำลังต้านทานแรงดัด แสดงให้เห็นว่าค่ามอดูลัสของความยืดหยุ่นของทั้งสองการทดสอบมีค่าไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้ค่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุดของการทดสอบการให้น้ำหนักบรรทุกแบบสลับทิศของคานไม้ตัวอย่างทดสอบทั้ง 3 ประเภท มีค่าลดลงประมาณร้อยละ 10–20 เมื่อเปรียบเทียบกับ การทดสอบกำลังต้านทานแรงดัด ซึ่งเป็นผลมาจากการเสื่อมกำลัง (Strength Degradation) ของวัสดุ ทำให้คานไม้ทดสอบเกิดความเสียหายเป็นรอยแตกเนื่องจากแรงดึงหรือแตกแบบเฉือนตามแนวนอน นอกจากนี้การสะสมของความเสียหายจากการให้และถอนแรงกระทำแบบซ้ำยังส่งผลต่อการสูญเสียกำลังและความแข็งแรงอีกด้วย [28]

### 3.5 การเสื่อมถอยของการกำลัง

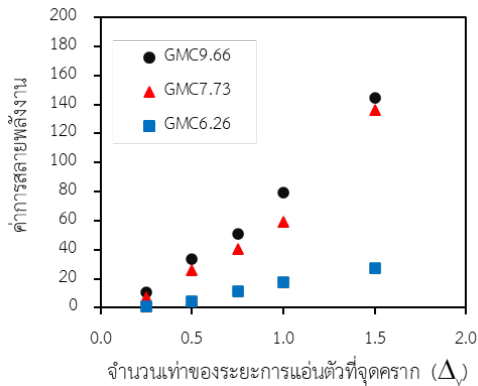
การเสื่อมถอยของกำลัง (Impairment of Strength) สามารถบ่งบอกถึงการลดลงกำลังรับแรงของคานไม้ตัวอย่างทดสอบในรอบแรกกระทั่งถึงรอบที่สามของการให้แรงกระทำที่แอมพลิจูดเท่ากัน [15] โดยพิจารณาผลต่างระหว่างแรงกระทำสูงสุดในรอบที่สาม (F3) และแรงกระทำสูงสุดในรอบแรก (F1) รูปที่ 9 แสดงค่าการเสื่อมถอยของกำลังที่ลดลงตามค่าระยะการแอ่นตัวที่เพิ่มขึ้นของไม้ยางพาราประสานด้วยกาว เพื่อให้แรงกระทำกับคานไม้ตัวอย่างทดสอบส่วนใหญ่



รูปที่ 9 ค่าร้อยละการเสื่อมถอยของกำลัง

ที่ระยะการแอ่นตัวที่จุดครากเท่ากับ  $2\Delta$ , คานไม้ตัวอย่างทดสอบจะเกิดการวิบัติทำให้ร้อยละการเสื่อมถอยลดลงอย่างเห็นได้ชัด อย่างไรก็ตาม ปริมาณความชื้นของคานไม้ตัวอย่างทดสอบส่งผลให้ค่าร้อยละการเสื่อมถอยของกำลังมีแนวโน้มลดลง ขณะที่ค่าร้อยละการเสื่อมถอยของกำลังของคานไม้ตัวอย่างทดสอบ GMC9.66 และ GMC7.73 ที่ระยะการแอ่นตัวที่จุดครากเท่ากับ  $1.5\Delta$ , มีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากคานไม้ทั้งสองประเภทมีประสิทธิภาพในการรับแรงดัด และแรงกระทำแบบสลับทิศไม่แตกต่างกันมากนัก ซึ่งสามารถสังเกตได้จากค่าการสลายพลังงานได้ที่มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน และผลการทดสอบของคานไม้ตัวอย่างทดสอบที่แสดงในกราฟเป็นค่าเฉลี่ย ซึ่งคานไม้ทั้งสองประเภทมีค่าร้อยละการเสื่อมถอยที่อยู่ในช่วงเดียวกันอีกด้วย

สุปภรณ์ อุดรนคร และคณะ, “ผลของปริมาณความชื้นในไม้ยางพาราที่ผ่านการอบด้วยความร้อนสูงที่มีต่อประสิทธิภาพของคานไม้ประสานด้วยกาวภายใต้น้ำหนักบรรทุกแบบคงค้างและแบบสลับทิศ.”



รูปที่ 10 ค่าการสลายพลังงานของคานไม้ตัวอย่างทดสอบที่มีปริมาณความชื้นต่างกัน

### 3.6 การสลายพลังงานและลักษณะการวิบัติ

การประเมินประสิทธิภาพในการสลายพลังงาน (Energy Dissipation) ของคานไม้ตัวอย่างทดสอบ สามารถพิจารณาได้จากพื้นที่ของกราฟฮิสเทอรีซิสในแต่ละรอบ จากการทดสอบพบว่า เมื่อระยะเวลาการแอ่นตัวเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าการสลายพลังงานเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากเกิดความเสียหายสะสมในคานตัวอย่างทดสอบ นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบค่าการสลายพลังงานของคานไม้ตัวอย่างควบคุม (GMC9.66) กับคานไม้ GMC7.73 พบว่า ค่าการสลายพลังงานลดลงประมาณร้อยละ 5.82–31.92 ขณะที่เปรียบเทียบกับคานไม้ GMC6.26 ค่าการสลายพลังงานลดลงมากถึงร้อยละ 88.95 ที่จำนวนเท่าของระยะการแอ่นตัวที่จุดครากเดียวกัน แสดงให้เห็นว่า ปริมาณความชื้นในเนื้อไม้ของพาราที่ลดลงส่งผลให้อัตราการเพิ่มของค่าการสลายพลังงานมีค่าลดลง การเปรียบเทียบค่าการสลายพลังงานของคานไม้ตัวอย่างทดสอบที่มีปริมาณความชื้นแตกต่างกันแสดงดังรูปที่ 10 ซึ่งการลดลงของค่าการสลายพลังงานเมื่อปริมาณความชื้นในเนื้อไม้ของพาราลดลง เนื่องจากความชื้นที่ลดลงในการศึกษานี้เป็นการลดลงจากการนำไม้ของพาราไปอบด้วยความร้อนสูงเป็นการเพิ่มความเปราะให้กับไม้ เมื่อไม้มีความเปราะมากขึ้นจะส่งผลโดยตรงทำให้การสลายพลังงานลดลงเช่นกัน

นอกจากนี้ลักษณะการวิบัติของคานไม้ของพาราประสานด้วยกาวจากการทดสอบการให้น้ำหนักบรรทุกแบบ

สลับทิศพบว่า รูปแบบการวิบัติโดยทั่วไปจะเกิดการวิบัติ 4 ลักษณะ คือ รอยแตกเนื่องจากแรงดึง การวิบัติแบบรอยแตกขวางเส้นใย การวิบัติแบบเฉือนตามแนวขนอน และการวิบัติแบบเปราะขาด ซึ่งส่วนใหญ่การวิบัติเกิดขึ้นบริเวณกึ่งกลางคานและบล็อกให้แรง ซึ่งความแตกต่างด้านปริมาณความชื้นของไม้ของพาราประสานด้วยกาวไม่มีผลทางนัยสำคัญต่อรูปแบบการวิบัติของคานตัวอย่างทดสอบ

### 4. อภิปรายผลและสรุป

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอผลของปริมาณความชื้นในไม้ของพาราที่ส่งผลต่อสมบัติทางกล และพฤติกรรมการคืบคดด้วยการทดสอบกำลังต้านทานแรงดัด การทดสอบการให้น้ำหนักบรรทุกทุกแบบคงค้ำ และแบบสลับทิศของคานไม้ของพาราประสานด้วยกาว นอกจากนี้ยังมีการสร้างแบบจำลองเพื่อทำนายพฤติกรรมการคืบคดของคานไม้ของพาราประสานด้วยกาวที่ระดับความเค้นแตกต่างกันอีกด้วย จากการศึกษาสามารถสรุปผลได้ดังนี้

1) ปริมาณความชื้นของไม้ของพาราประสานด้วยกาวมีผลต่อการกำลังต้านทานแรงดัด เนื่องจากการลดลงปริมาณความชื้นของไม้ทำให้สมบัติทางกลของไม้ของพารามีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ขณะที่มอดูลัสของความยืดหยุ่นของไม้ของพาราประสานด้วยกาวทั้งสามประเภทมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

2) แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการศึกษาพฤติกรรมการคืบคดของไม้ของพาราประสานด้วยกาวที่ขึ้นอยู่กับความเค้นและเวลา เมื่ออุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์มีค่าคงที่ ซึ่งใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ตามกฎยกกำลังของ Bailey-Norton พบว่า การลดลงของปริมาณความชื้นในไม้จากการอบด้วยความร้อนสูงส่งผลต่อการคืบคดทั้งการคืบในระยะสั้นและระยะยาว โดยเฉพาะการคืบในระยะยาวเป็นเวลามากกว่า 1 ปี ที่พบว่า การเพิ่มขึ้นของการแอ่นตัวมีค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับการแอ่นตัวในช่วง 45 วันแรก ซึ่งสามารถใช้แบบจำลองการคืบในระยะสั้นในการทำนายพฤติกรรมการเสียรูประยะยาวได้

3) พฤติกรรมของคานไม้ของพาราประสานด้วยกาวเมื่อ



มีน้ำหนักบรรทุกทุกกระทำแบบสลับทิศ ทำให้เกิดการเสื่อมถอยหรือสูญเสียกำลังและความแข็งแรง เนื่องจากไม้ตัวอย่างทดสอบมีการสะสมของความเสียหายจากการให้และถอนแรงกระทำหลายครั้ง นอกจากนี้อัตราการเพิ่มของค่าการสลายพลังงาน และการเสื่อมถอยกำลังของไม้ยางพาราประสานด้วยกาวมีค่าลดลงตามปริมาณความชื้นของไม้ที่ลดลง

4) ปริมาณความชื้นในไม้ที่ลดลงไม่เกินร้อยละ 7.73 ส่งผลต่อกำลังต้านทานแรงดัดไม่เกินร้อยละ 10 และมีค่าการสลายพลังงานภายใต้แรงกระทำแบบสลับทิศที่ใกล้เคียงกับไม้ยางพาราควบคุม อย่างไรก็ตาม เทคนิคการอบไม้ด้วยความร้อนสูงถึงแม้จะส่งผลต่อการสูญเสียปริมาณความชื้นในเนื้อไม้และสมบัติเชิงกลของไม้ยู่บ้าง แต่มีผลดีในแง่ของการคงขนาดและความทนทานต่อสภาพแวดล้อม

## 5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากการยางแห่งประเทศไทย และผลงานนี้เป็นความรับผิดชอบของผู้วิจัยตามสัญญาเลขที่ 002/2563 นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณบริษัท เจเค อีโนเวชั่น วัสดุ โปรดัคส์ จำกัด จังหวัดระยอง ที่อนุเคราะห์ไม้ยางพารา บริษัท ดีโก้ เอ็นเตอร์ไพรส์ จำกัด จังหวัดฉะเชิงเทรา ที่อนุเคราะห์การเตรียมคานไม้ตัวอย่างทดสอบ และภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีที่สนับสนุนเครื่องมือและสถานที่ในการทำวิจัย

## เอกสารอ้างอิง

- [1] W. Boonsong, "A development of c-grade processed rubberwood of aaa co., ltd.," M.S. thesis, Graduate School of Commerce Burapha University, Burapha University, 2017 (in Thai).
- [2] L. Todaro, A. Rita, P. Cetera, and M.D. Auria, "Thermal treatment modifies the calorific value and ash content in some wood species," *Fuel*, vol. 140, pp. 1-3, 2015.
- [3] D. Sandberg and A. Kutnar, "Thermally modified

timber: Recent developments in Europe and North America," *Wood and Fiber Science*, vol. 48, no. 1, pp. 28-39, 2016.

- [4] B. F. A. Bakar, S. Hiziroglu, and P. M. Tahir, "Properties of some thermally modified wood species," *Materials and Design*, vol. 43, pp. 348-355, 2013.
- [5] P. H. G. Cademartori, P. S. B. Santos, L. Serrano, J. Labidi, and D. A. Gatto, "Effect of thermal treatment on physicochemical properties of gypmie messmate wood," *Industrial Crops and Products*, vol. 45, pp. 360-366, 2013.
- [6] E. D. Tomak, D. Ustaomer, M. A. Ermeidan, and S. Yildiz, "An investigation of surface properties of thermally modified wood during natural weathering for 48 months," *Measurement*, vol. 127, pp. 187-197, 2018.
- [7] Y. Nadir and P. Nagarajan, "The behavior of horizontally glued laminated beams using rubber wood," *Construction and Building Materials*, vol. 55, pp. 398-405, 2014.
- [8] W. H. W. Mohamad, M. A. Razlan, and Z. Ahmad, "Bending strength properties of glued laminated timber from selected Malaysian hardwood timber," *International Journal of Civil & Environmental Engineering*, vol. 11, no. 4, pp. 7-12, 2011.
- [9] C. Bengtsson, "Mechano-sorptive creep of timber-influence of material parameters," *Holz als Roh- und Werkstoff*, vol. 59, pp. 229-236, 2001.
- [10] W. Zhang, M. Tokumoto, and T. Takeda, "Effects of temperature on mechano-sorptive creep of delignified wood," *Journal of Wood Science*, vol. 53, pp. 187-191, 2007.
- [11] C. O. Ceallaigh, K. Sikora, D. McPolin, and A. M.

- Harte, "The mechano-sorptive creep behaviour of basalt FRP reinforced timber elements in a variable climate," *Engineering Structures*, vol. 200, 2019.
- [12] T. Li, D. Cheng, A. Stavros, M. E. P. Wålinger, and D. Zhou, "Response of hygroscopicity to heat treatment and its relation to durability of thermally modified wood," *Construction and Building Materials*, vol. 144, pp. 671–676, 2017.
- [13] *Standard Test Methods for Direct Moisture Content Measurement of Wood and Wood-based Materials*, ASTM D4442-16, ASTM International, West Conshohocken, PA., United States of America, 2016.
- [14] *Standard Test Methods of Static Tests of Lumber in Structural Sizes*, ASTM D198-14, 2014.
- [15] *Standard Specification for Evaluation of Duration of Load and Creep Effects of Wood and Wood-based Products*, ASTM D6815-09, 2015.
- [16] *Timber Structures-test Methods-cyclic Testing of Joints Made with Mechanical Fasteners*, EN 12512, 2005.
- [17] R. W. Bailey, "The utilization of creep test data in engineering design," *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Transport Engineering*, vol. 131, pp. 131–349, 1935.
- [18] F. H. Norton, *The Creep of Steel at High Temperature*. McGraw-Hill, New York, NY. pp. 67–70, 1929.
- [19] T. Pulngern, T. Chitsamran, S. Chucheepsakul, V. Rosarpitak, S. Patcharaphun, and N. Sombatsompop "Effect of temperature on mechanical properties and creep responses for wood/PVC composites," *Construction and Building Materials*, vol. 111, pp. 191–198, 2016.
- [20] T. Pulngern, K. Chanto, W. Pansuwan, and W. Pattaraumpornsak, "Effect of lamina thickness on flexural performance and creep behavior of douglas fir glued laminated timber beam," *Wood Research*, vol. 65, no. 5, pp. 715–726, 2020.
- [21] M. A. A. Alrubaie, R. A. Lopez-Anido, and D. J. Gardner, "Flexural creep behavior of high-density polyethylene lumber and wood plastic composite lumber made from thermally modified wood," *Polymer*, vol. 12, no. 2, pp. 262, 2020.
- [22] M. Sehlstedt-Persson, "Properties of solid wood: Responses to drying and heat treatment," Licentiate thesis, Department of Skellefteå Campus, Division of Wood Science and Technology Luleå University of Technology, 2005.
- [23] S. Gowda, M. Kortessmaa, and A. Ranta-Maunus, "Long term creep tests on timber beams in heated and non-heated environments," Technical Research Centre of Finland, Espoo, Finland, VTT Publication 278, 1996.
- [24] C. C. Gerhards, "Bending creep and load duration of douglas-fir 2 by 4s under constant load for up to 12-plus years," *Wood Fiber Science*, vol. 32, no. 4, pp. 489–501, 2000.
- [25] H. Epmeier, M. Johansson, R. Kligler, and M. Westin, "Bending creep performance of modified timber," *Holz als Roh- und Werkstoff*, vol. 65, pp. 343–351, 2007.
- [26] Y. Shen and R. Gupta, "Evaluation of creep behavior of lumber," *Forest Products Journal*, vol. 47, pp. 89–96, 1997.





- [27] R. Edward, S. Elzbieta, M. Jerzy, M. Przemysław, and B. Magdalena, “Moisture-dependent strength properties of thermally-modified *Fraxinus excelsior* wood in compression,” *Materials*, vol. 13, 1647.
- [28] A. Ataei, A.A. Chiniforush, M. Bradford, and H. Valipour, “Cyclic behavior of bolt and screw shear connectors in steel-timber composite (STC) beams,” *Journal of Constructional Steel Research*, vol.161, pp. 328–340, 2019.