นิพนธ์ต้นฉบับ

การศึกษาชีวกลศาสตร์และสมบัติวัสดุของเครื่องจักสาน "งูกินเขียด" จากผักตบชวา เพื่อการประยุกต์ใช้เป็นอุปกรณ์ช่วยดึงนิ้วสำหรับบำบัดโรคลมปลายปัตฆาตและนิ้วล็อก

โสภาพรรณ แก้วหาญ[1] วนิดา พิมพ์เพ็ชร์[1] เจษฎา จันทร์ผา[1] วราภรณ์ บุตรจันทร์[1]
สถิตย์ อรุณแสง[2] และ วัชรินกร เมฆลา[3*]

[1] คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
[2] คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
[3] นักวิชาการอิสระ
*ผู้นิพนธ์ที่ให้การติดต่อ E-mail : ckokekana14@gmail.com

Received date: January 20, 2026; Revised date: June 6, 2026; Accepted date: June 6, 2026

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหลักการทำงานทางชีวกลศาสตร์ของเครื่องเล่นภูมิปัญญาไทย "งูกินเขียด" และเปรียบเทียบคุณสมบัติทางวัสดุศาสตร์ระหว่างตอกไม้ไผ่และเส้นใยผักตบชวา เพื่อประเมินศักยภาพในการพัฒนาเป็นอุปกรณ์ช่วยดึงนิ้วสำหรับลดอาการปวดและแก้ไขภาวะข้อติดในการแพทย์แผนไทยและเวชศาสตร์ฟื้นฟู โดยดำเนินการวิเคราะห์โครงสร้างการถักทอแบบเกลียวด้วยความสัมพันธ์ระหว่างมุมถักกับแรงบีบในแนวรัศมีตามหลักการเปลี่ยนแปลงแรงดึงในแนวแกนให้เป็นแรงบีบอัด รวมทั้งวิเคราะห์เปรียบเทียบค่ามอดุลัสของยังและลักษณะพื้นผิวระหว่างไม้ไผ่และผักตบชวาจากข้อมูลทุติยภูมิและทฤษฎีแรงเสียดทาน ผลการศึกษาพบว่าโครงสร้างสานแบบงูกินเขียดทำงานสอดคล้องกับหลักการทางฟิสิกส์ด้านการขยายตัวของโครงสร้างตาข่ายและปรากฏการณ์ล็อกด้วยแรงเสียดทาน ในด้านวัสดุศาสตร์พบว่าเส้นใยผักตบชวามีค่ามอดุลัสของยังประมาณ 6-8 จิกะพาสคัล ซึ่งต่ำกว่าไม้ไผ่ที่ระดับ 10-30 จิกะพาสคัล อยู่ประมาณ 3-4 เท่า แสดงให้เห็นถึงความยืดหยุ่นที่สูงกว่า ประกอบกับมีลักษณะโครงสร้างจุลภาคแบบฟองน้ำที่ช่วยกระจายแรงกดได้สม่ำเสมอ คุณสมบัติดังกล่าวจึงมีแนวโน้มที่จะช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดภยันตรายต่อเนื้อเยื่อและภาวะขาดเลือดเฉพาะที่ได้เหมาะสมกว่าวัสดุที่มีความแข็งเกร็งสูง โดยสรุป ภูมิปัญญาการสานงูกินเขียดจากผักตบชวามีคุณสมบัติเชิงกลที่สามารถปรับแรงบีบรัดได้ตามแรงดึง สอดคล้องกับกลไกการรักษาโรคลมปลายปัตฆาตบริเวณนิ้วมือตามทฤษฎีการแพทย์แผนไทย และมีศักยภาพในการพัฒนาต่อยอดเป็นอุปกรณ์ทางกายภาพบำบัดทางเลือกที่มีความปลอดภัยและเหมาะสมกับสรีรวิทยาของมนุษย์

คำสำคัญ: งูกินเขียด ชีวกลศาสตร์ เวชศาสตร์ฟื้นฟู

Original Article

Biomechanical Analysis and Material Properties of "Ngoo Kin Kied" Water Hyacinth Weave: Application as a Finger Traction Device for Treating Lom Plai Pattakat and Trigger Finger

Sopapan Kaewhan[1] Wanida Pimpeach[1] Jedsada Junpha[1] Waraporn Bootchan[1] Sathit Aroonseang[2] and Watcharinkorn Mekla[3*]

[1] Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi

[2] Faculty of Agricultural Technology and Agro-Industry, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi

[3] Independent Scholar

*Corresponding author E-mail: ckokekana14@gmail.com

Abstract

This study aimed to investigate the biomechanical principles of "Ngoo Kin Kied," a traditional Thai woven toy, and to compare the material properties of bamboo strips and water hyacinth fibers to evaluate its potential development as a finger traction device for pain relief and the resolution of joint stiffness in Thai traditional medicine and rehabilitation. The structural mechanics of the helical braid were analyzed through the relationship between the braid angle and radial compressive force, based on the principle of converting axial tension into radial compression. Furthermore, comparative analyses of Young's Modulus and surface characteristics between bamboo and water hyacinth were conducted using secondary data and friction theory. The findings revealed that the woven structure of Ngoo Kin Kied aligns with the physical principles of mesh expansion and friction-induced locking phenomena. In terms of material science, water hyacinth fibers exhibited a Young's Modulus of approximately 6-8 GPa, which is three to four times lower than that of bamboo (10-30 GPa), indicating significantly higher compliance. Coupled with a spongy micro-texture that facilitates uniform pressure distribution, these properties suggest that water hyacinth has a greater tendency to minimize the risks of soft tissue injury and localized ischemia compared to highly rigid materials. In conclusion, the traditional water hyacinth weave possesses mechanical properties capable of adjusting compressive force in response to applied tension. This mechanism corresponds with the therapeutic approach for treating "Lom Plai Pattakat" (digital wind element obstruction) in the fingers according to Thai traditional medicine, highlighting its potential for further development as a safe, physiologically compatible, and alternative physiotherapeutic device.

Keywords: Ngoo Kin Kied, Biomechanics, Rehabilitation

บทนำ

ในปัจจุบัน ปัญหาความผิดปกติของระบบกระดูกและกล้ามเนื้อบริเวณนิ้วมือ (Musculoskeletal Disorders) และอาการปวดตึงข้อจากการใช้งานซ้ำ ๆ ได้กลายเป็นปัญหาสำคัญทางการแพทย์ โดยในมุมมองของการแพทย์แผนไทย อาการเหล่านี้สอดคล้องกับกลุ่มอาการ "ลมปลายปัตฆาต" ซึ่งมีสาเหตุจากการไหลเวียนของเลือดลมที่ปลายประสาทนิ้วมือไม่สะดวก ส่งผลให้เกิดการคั่งค้างของเสียและขาดเลือดไปเลี้ยง (Ischemia) (สุภารัตน์ สุขโท และคณะ, 2563) การบำบัดรักษาฟื้นฟูจึงจำเป็นต้องอาศัยกลไกที่ช่วยกระตุ้นการไหลเวียนเลือดและลดแรงกดทับภายในข้อต่อ

ภูมิปัญญาพื้นบ้านของไทยมีสิ่งประดิษฐ์ที่เรียกว่า "งูกินเขียด" (Ngoo Kin Kied) ซึ่งดั้งเดิมนั้นถูกประดิษฐ์ขึ้นเพื่อเป็นเพียงเครื่องเล่นสำหรับเด็ก ไม่ได้มีบันทึกการใช้งานเป็นอุปกรณ์ทางการแพทย์แผนไทยอย่างเป็นทางการ อย่างไรก็ตาม หากพิจารณาเครื่องเล่นนี้ด้วยมุมมองทางวิศวกรรม จะพบว่าโครงสร้างการถักทอแบบเกลียว (Helical Braid) เป็นโครงสร้างเรขาคณิตรูปสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูน (Diamond Geometry) ที่ทำหน้าที่เสมือนเครื่องจักรกลไร้เฟือง (The Gearless Machine) (Stoeckel et al., 2004) มีกลไกการทำงานที่สามารถเปลี่ยนแรงดึงในแนวแกน (Axial Tension) ให้เป็นแรงบีบอัดในแนวรัศมี (Radial Compression) (Tondu, 2012) ซึ่งสอดคล้องกับหัตถการการดึงและบีบนวดเพื่อทะลวงลมในเส้นประธานสำหรับการรักษาโรคลมปลายปัตฆาต ทั้งนี้ ในอดีตภูมิปัญญานี้นิยมใช้ "ไม้ไผ่" เป็นวัสดุหลักในการสาน เนื่องจากเป็นวัสดุที่หาได้ง่ายในท้องถิ่น มีความแข็งแรงทนทาน และมีค่ามอดุลัสของยัง (Young's Modulus) สูง ทำให้ตอกไม้ไผ่สามารถสปริงตัวและคงรูปทรงได้ดี (Osorio et al., 2011)

อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาถึงการนำมาประยุกต์ใช้เป็นอุปกรณ์ทางการแพทย์กับร่างกายมนุษย์ ค่าความแข็งเกร็งที่สูงของไม้ไผ่อาจก่อให้เกิดแรงกดทับที่ไม่สม่ำเสมอ หรือบาดผิวหนังจากความแข็งกระด้างของวัสดุได้ (Thongtanworapat & Suwanno, 2019) คณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการเลือกใช้ "ผักตบชวา" (Water Hyacinth) มาเป็นวัสดุทดแทนและเปรียบเทียบ โดยมีเหตุผลหลัก 2 ประการ คือ 1) ด้านวัสดุศาสตร์เชิงชีวการแพทย์ ผักตบชวามีสมบัติเป็นวัสดุฉลาด (Smart Material) ที่มีค่าความยืดหยุ่นสูงกว่าไม้ไผ่ และมีโครงสร้างที่มีรูพรุนคล้ายฟองน้ำ (Micro-texture) ซึ่งคาดว่าจะช่วยให้การกระจายแรงกดสม่ำเสมอ (Uniform Distribution Pressure) ลดความเสี่ยงต่อภาวะขาดเลือดเฉพาะจุด (Abral et al., 2014) และ 2) ด้านยุทธศาสตร์เศรษฐกิจ (BCG Model) เพื่อเป็นการยกระดับวัชพืชทางน้ำที่สร้างปัญหาทางสิ่งแวดล้อม ให้กลายเป็นนวัตกรรมทางการแพทย์ที่มีมูลค่าเพิ่มสูง

สมมติฐานการวิจัย คุณสมบัติทางชีวกลศาสตร์และวัสดุศาสตร์ของเครื่องจักสานโครงสร้างเกลียวจะมีความแตกต่างกันตามชนิดของวัสดุ โดยเส้นใยผักตบชวาซึ่งมีค่ามอดุลัสของยังต่ำกว่าและมีโครงสร้างจุลภาคแบบรูพรุน จะสามารถกระจายแรงบีบรัด (Radial Force) ได้สม่ำเสมอกว่า สร้างแรงเสียดทานที่เหมาะสมโดยไม่ต้องใช้แรงกดสูง และลดความเสี่ยงในการเกิดจุดกดเจ็บ (Pressure Point) ได้ดีกว่าตอกไม้ไผ่ ส่งผลให้มีความปลอดภัยต่อเนื้อเยื่อและเหมาะสมกับการนำมาสัมผัสผิวหนังมนุษย์มากกว่า

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาเปรียบเทียบสมบัติทางชีวกลศาสตร์และวัสดุศาสตร์ระหว่างไม้ไผ่และผักตบชวา เพื่อประยุกต์ใช้ภูมิปัญญางูกินเขียดเป็น "อุปกรณ์ช่วยดึงนิ้ว" (Finger Traction Device) ทางกายภาพบำบัด ที่สามารถสร้างแรงดึงยืดข้อต่อ (Traction) พร้อมกับกระตุ้นการไหลเวียนเลือดกลับ (Reactive Hyperemia) (Crecelius et al., 2013) เพื่อใช้ในการบำบัดโรคลมปลายปัตฆาต และนิ้วล็อกได้อย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัยตามหลักวิทยาศาสตร์การแพทย์

วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาและวิเคราะห์หลักการทางชีวกลศาสตร์ของโครงสร้างเครื่องจักสานแบบเกลียว (งูกินเขียด) ผ่านสมการทางฟิสิกส์ และเปรียบเทียบคุณสมบัติทางวัสดุศาสตร์ระหว่างเส้นตอกไม้ไผ่และเส้นใยผักตบชวา ในด้านค่ามอดุลัสของยัง (Young's Modulus) และลักษณะพื้นผิวสัมผัส เพื่อพัฒนาเป็นต้นแบบอุปกรณ์ช่วยดึงนิ้วที่มีประสิทธิภาพในการกระจายแรงกดและมีความปลอดภัยสูงสำหรับใช้ในการบำบัดโรคนิ้วล็อกและฟื้นฟูสมรรถภาพมือ

ระเบียบวิธีศึกษา

การศึกษานี้ออกแบบเป็นการวิจัยเชิงวิเคราะห์เปรียบเทียบ (Comparative Analysis Study) โดยมีรายละเอียดการดำเนินการดังนี้

1. วัสดุที่ใช้ในการศึกษา (Materials) การศึกษานี้ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโครงสร้างถักทอแบบเกลียว (Helical Braid Geometry) ร่วมกับการสืบค้นและวิเคราะห์ข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data) ด้านคุณสมบัติทางกลของวัสดุธรรมชาติ 2 ชนิด ได้แก่ เส้นตอกไม้ไผ่ (Bamboo strip) อ้างอิงข้อมูลคุณสมบัติทางกลจากงานวิจัยของ Osorio et al. (2011) ซึ่งศึกษาเส้นใยไผ่สายพันธุ์ *Guadua angustifolia* ที่ผ่านการทดสอบคุณสมบัติตามมาตรฐาน เส้นใยผักตบชวาแห้ง (Dried water hyacinth fiber) อ้างอิงข้อมูลจากงานวิจัยของ Abral et al. (2014) ซึ่งศึกษาคุณสมบัติระดับจุลภาคของเส้นใยผักตบชวาสายพันธุ์ *Eichhornia crassipes*

ข้อพิจารณาด้านตัวแปรสิ่งแวดล้อม (Environmental Variables) ในการประเมินคุณสมบัติของเส้นใยธรรมชาติ ระดับความชื้น (Moisture content) ถือเป็นตัวแปรควบคุมที่สำคัญยิ่งทางวัสดุศาสตร์ เนื่องจากวัสดุธรรมชาติมีลักษณะชอบน้ำ (Hydrophilic nature) เมื่อความชื้นในสิ่งแวดล้อมหรือในตัววัสดุสูงขึ้น โมเลกุลของน้ำจะแทรกซึมเข้าสู่โครงสร้างพอลิเมอร์ธรรมชาติ (เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส) ทำหน้าที่เสมือนสารเพิ่มความยืดหยุ่น (Plasticizer) ปรากฏการณ์นี้ส่งผลให้ค่ามอดุลัสของยัง (Young's Modulus) หรือความแข็งเกร็งของวัสดุลดลง ทำให้วัสดุมีความยืดหยุ่น (Compliance) มากขึ้น แต่ในขณะเดียวกันก็ทำให้น้ำหนักของวัสดุเพิ่มขึ้นและสูญเสียความทนทานต่อแรงดึง (Tensile strength) ดังนั้น ข้อมูลทุติยภูมิที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์เปรียบเทียบในศึกษานี้ จึงคัดเลือกมาจากฐานข้อมูลการทดสอบภายใต้สภาวะควบคุมความชื้นมาตรฐาน เพื่อให้ผลการเปรียบเทียบเชิงกลระหว่างไม้ไผ่และผักตบชวามีความน่าเชื่อถือ ปราศจากความคลาดเคลื่อนจากปัจจัยทางสภาพแวดล้อม

2. เครื่องมือและวิธีการวิเคราะห์ข้อมูล (Analytical Methods)

การวิเคราะห์ทางทฤษฎี (Theoretical Analysis) ประยุกต์ใช้สมการความสัมพันธ์ทางเรขาคณิต (สมการที่ 1 และ 2) และกลศาสตร์การเปลี่ยนแรง (สมการที่ 3) เพื่อจำลองพฤติกรรมการกำเนิดแรงบีบของโครงสร้างผ่านซอฟต์แวร์จำลองแรงกระทำ (Force Simulation) โดยอิงตามกฎของฮุก (Hooke's Law) **การ**เปรียบเทียบวัสดุ (Material Comparison) ดำเนินการเปรียบเทียบค่าความแข็งเกร็ง (Young's Modulus) และลักษณะทางสัณฐานวิทยาพื้นผิว (Surface Morphology) ระหว่างวัสดุทั้งสองชนิด เพื่อประเมินความเหมาะสมและความปลอดภัยในการประยุกต์ใช้สัมผัสกับผิวหนังและเนื้อเยื่ออ่อนของมนุษย์ การวิเคราะห์ทางฟิสิกส์วัสดุ (Mechanics of Materials) วิเคราะห์กลไกการกระจายความเค้น (Stress distribution) และค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน เพื่ออธิบายข้อได้เปรียบทางชีวกลศาสตร์ของรูพรุนในเส้นใยผักตบชวา

กรอบแนวคิดทางทฤษฎีและหลักการชีวกลศาสตร์ (Theoretical Framework)

กลไกการทำงานของงูกินเขียดจัดเป็นโครงสร้างเรขาคณิตแบบ "เครื่องจักรกลไร้เฟือง" (The Gearless Machine) ซึ่งอาศัยหลักการทางเรขาคณิตและฟิสิกส์ในการทำงาน ดังนี้

1. โครงสร้างเรขาคณิต (Diamond Geometry) ลายสานของเครื่องจักสานชนิดนี้ไม่ได้เป็นลักษณะตารางสี่เหลี่ยมทั่วไป แต่ถูกถักทอแบบเกลียว (Helical Braid) ทำให้เกิดโครงสร้างรูปสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูน (Rhombus) ที่ทำหน้าที่เป็นบานพับจุลภาค (Micro-hinge) ซึ่งยอมให้โครงสร้างเกิดการยืดหดได้ตามแนวแกน โดยมีความสัมพันธ์ทางเรขาคณิตดังสมการ

$$L = \frac{N \cdot b}{\sin\theta} \quad (1)$$

$$R = \frac{N \cdot b\cos\theta}{2\pi} \quad (2)$$

เมื่อ L คือ ความยาวในแนวแกนของโครงสร้างถัก (Axial length)
R คือ รัศมีของท่อถัก (Radial radius)
N คือ จำนวนเส้นตอกหรือเส้นใยที่ใช้สาน
b คือ ความยาวของส่วนของเส้นใยหนึ่งหน่วย
θ คือ มุมถัก (Braid angle) ซึ่งวัดจากแนวแกนตามขวาง

2. การเปลี่ยนแรง (Force Transformation) หัวใจสำคัญของกลไกนี้คือความสามารถในการเปลี่ยน "แรงดึงในแนวแกน" ให้เป็น "แรงบีบอัดในแนวรัศมี" ซึ่งมีความสัมพันธ์ผกผันตามมุมถัก ดังสมการ

$$F_{radial} \ \alpha \ F_{axial} \cdot \cot\theta \quad (3)$$

เมื่อ F_{radial} คือ แรงบีบอัดในแนวรัศมี
F_{axial} คือ แรงดึงในแนวแกน
θ คือ มุมถัก

จากสมการที่ (3) อธิบายได้ว่า เมื่อมีแรงดึงกระทำในแนวแกน (F_{axial}) เพิ่มขึ้น มุมถัก (θ) จะมีค่าลดลง ส่งผลให้ฟังก์ชันโคแทนเจนต์ ($\cot\theta$) มีค่าเพิ่มขึ้นในลักษณะทวีคูณ ซึ่งนำไปสู่การเพิ่มขึ้นของแรงบีบในแนวรัศมี (F_{radial}) อย่างมีนัยสำคัญ กลไกนี้ทำให้โครงสร้างสามารถล็อกนิ่วได้โดยอัตโนมัติ (Self-locking mechanism)

3. แรงดันภายใน (Internal Pressure)

ในกรณีของการประยุกต์ใช้เพื่ออธิบายการทำงานแบบกล้ามเนื้อเทียม (McKibben Artificial Muscle) แรงดึงที่เกิดขึ้นจะมีความสัมพันธ์กับความดัน ดังสมการ

$$F = \frac{P\pi D_0^2}{4}(3\cos^2\theta - 1) \quad (4)$$

เมื่อ F คือ แรงดึงที่โครงสร้างสร้างขึ้น

P คือ ความดันภายในท่อ

D_0 คือ เส้นผ่านศูนย์กลางเริ่มต้น

θ คือ มุมถัก

จากสมการที่ (4) แสดงให้เห็นว่าโครงสร้างรูปแบบนี้สามารถรองรับและกระจายความเค้น (Stress) ได้สม่ำเสมอรอบทิศทาง

ผลการศึกษา

จากการดำเนินงานวิจัยเชิงวิเคราะห์และการจำลองเชิงตัวเลข คณะผู้วิจัยได้แบ่งผลการศึกษาออกเป็นประเด็นสำคัญดังนี้

1. ผลการวิเคราะห์ทางทฤษฎีและชีวกลศาสตร์ (Theoretical and Biomechanical Analysis Results) จากการจำลองแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโครงสร้าง "งูกินเขียด" พบว่าโครงสร้างการถักทอแบบเกลียว (Helical Braid) ทำให้เกิดหน่วยย่อยทางเรขาคณิตรูปสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูน (Diamond Geometry) ดังแสดงในภาพที่ 1 ซึ่งทำหน้าที่เป็นกลไกเปลี่ยนทิศทางแรงที่มีประสิทธิภาพสูง โดยเมื่อมีแรงดึงกระทำในแนวแกน (F_{axial}) จะส่งผลให้มุมถัก (θ) ลดลง และทำให้รัศมี (R) ของท่อถักลดลงอย่างรวดเร็ว ปรากฏการณ์นี้ยืนยันว่าโครงสร้างงูกินเขียดมีกลไกการล็อกนิ้วแบบอัตโนมัติ (Self-Locking Mechanism) ที่แปรผันตรงกับแรงดึงกระทำ ในเชิงฟิสิกส์ประยุกต์เมื่อพิจารณาโครงสร้างนี้ในลักษณะเดียวกับกล้ามเนื้อเทียม แรงที่เกิดขึ้นจะสัมพันธ์กับแรงดันภายในและมุมถัก โดยผลการวิเคราะห์ชี้ว่า มุมถักวิกฤตที่ทำให้เกิดสมดุลของแรงสูงสุดคือ $\theta \approx 39.29^{\circ}$ ดังแสดงในภาพที่ 2 ซึ่งเป็นค่ามุมที่เหมาะสมที่สุดในการเปลี่ยนแรงดึงให้เป็นแรงบีบรัดรอบนิ้วอย่างสม่ำเสมอ สำหรับกลไกการเปลี่ยนแรงดึงในแนวแกน (F_{axial}) ให้เป็นแรงบีบในแนวรัศมี (F_{radial}) ได้แสดงเวกเตอร์ของแรงและทิศทางอย่างชัดเจนในภาพที่ 3 ลายสานสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูนนี้จึงทำหน้าที่เป็นบานพับจุลภาค (Micro-hinge) ที่ยอมให้เกิดการยืดหดตามแนวแกนและเชื่อมโยงสู่การแปรผันแรงได้อย่างสมบูรณ์

2. ผลการเปรียบเทียบสมบัติทางวัสดุศาสตร์ (Material Comparison Results) จากการวิเคราะห์เปรียบเทียบคุณสมบัติทางกลระหว่าง "ไม้ไผ่" ซึ่งเป็นวัสดุดั้งเดิม และ "ผักตบชวา" ซึ่งเป็นวัสดุทางเลือก คณะผู้วิจัยได้สรุปผลการเปรียบเทียบค่าความแข็งเกร็งและลักษณะทางสัณฐานวิทยาไว้ในตารางที่ 1 (แสดงในภาคผนวก)

จากผลลัพธ์เชิงตัวเลขในตารางที่ 1 พบว่า เส้นใยผักตบชวามีค่ามอดุลัสของยัง (Young's Modulus) เฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 6–8 GPa ซึ่งต่ำกว่าไม้ไผ่ที่มีค่ามอดุลัสของยังสูงถึง 10–30 GPa อยู่ประมาณ 3–4 เท่า ตัวเลขนี้บ่งชี้ว่าผักตบชวามีความยืดหยุ่น (Compliance) ที่สูงกว่าไม้ไผ่อย่างมีนัยสำคัญ สอดคล้องกับพฤติกรรมกราฟแท่งแสดงการเปรียบเทียบความแข็งเกร็งในภาพที่ 4

นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาลักษณะทางสัณฐานวิทยาพื้นผิวจากภาพถ่ายขยาย (Macro Photography) ในภาพที่ 5 พบว่า ผิวของไม้ไผ่มีลักษณะเรียบมันและแข็งเกร็ง (ภาพที่ 5ก) ในขณะที่เส้นใยผักตบชวามีโครงสร้างจุลภาคขรุขระและมีรูพรุนคล้ายฟองน้ำ (ภาพที่ 5ข) โครงสร้างรูพรุนนี้จะทำหน้าที่กระจายแรงกดสม่ำเสมอ (Uniform Distribution Pressure) และทำหน้าที่เสมือนวัสดุผ่อนปรน (Compliant Interface) ที่ช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดภยันตรายต่อเนื้อเยื่ออ่อนและความเค้นเฉพาะจุดได้ดีกว่าวัสดุที่มีความแข็งเกร็งสูง

อภิปรายผล

การศึกษานี้ได้วิเคราะห์หลักการทางชีวกลศาสตร์และสมบัติทางวัสดุศาสตร์ของเครื่องจักสาน "งูกินเขียด" เพื่อประเมินศักยภาพในการประยุกต์ใช้เป็นอุปกรณ์ช่วยดึงนิ้วทางการแพทย์ โดยสามารถอภิปรายผลการศึกษาได้ดังนี้

1. กลไกทางชีวกลศาสตร์และการประยุกต์ใช้ในการแพทย์แผนไทย ผลการวิเคราะห์ทางทฤษฎียืนยันว่าโครงสร้างการถักทอแบบเกลียว (Helical Braid) มีกลไกการเปลี่ยนแรงดึงในแนวแกนให้เป็นแรงบีบรัดในแนวรัศมีผ่านโครงสร้างบานพับจุลภาคเรขาคณิต (Diamond Geometry) ปรากฏการณ์นี้สอดคล้องกับกลไกทางฟิสิกส์ของโครงสร้างตาข่ายยืดหยุ่น (Mesh expansion) เมื่อนำมาประยุกต์ใช้เป็นอุปกรณ์ดึงนิ้ว กลไกดังกล่าวสามารถสร้างแรงดึงยืดข้อต่อ (Joint Traction) และแรงบีบรัด (Compression) ได้พร้อมกัน ซึ่งในทางสรีรวิทยา เมื่อปลดแรงดึงออกจะก่อให้เกิดภาวะเลือดไหลเวียนกลับอย่างรวดเร็ว (Reactive Hyperemia) กระบวนการทางฟิสิกส์นี้สอดคล้องกับแนวทางการรักษาโรคลมปลายปัตฆาตในการแพทย์แผนไทย ที่อาศัยการทะลวงทางเดินของเลือดและลมบริเวณปลายประสาทนิ้วมือเพื่อลดการคั่งค้างของของเสีย

2. การวิเคราะห์เปรียบเทียบสมบัติวัสดุและความเหมาะสมทางคลินิก จากการเปรียบเทียบสมบัติทางกลระหว่างไม้ไผ่และผักตบชวา พบว่าผักตบชวามีความเหมาะสมทางคลินิกในการนำมาพัฒนาเป็นอุปกรณ์สัมผัสผิวหนังมนุษย์มากกว่าอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อพิจารณาจากค่ามอดุลัสของยัง (Young's Modulus) ผักตบชวา (6–8 GPa) มีความยืดหยุ่น (Compliance) สูงกว่าไม้ไผ่ (10–30 GPa) ถึง 3–4 เท่า (Abral et al.,2014 และ Osorio et al., 2011) ความยืดหยุ่นที่สูงกว่านี้จะช่วยลดแรงกระชาก (Jerk) หรือแรงกระแทกเฉียบพลันในขณะที่ผู้ป่วยออกแรงดึง นอกจากนี้ ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเส้นใยผักตบชวาที่มีความขรุขระและมีรูพรุนคล้ายฟองน้ำ (Spongy Micro-texture) ความเสี่ยงต่อเนื้อเยื่ออ่อนสำหรับไม้ไผ่มีความเสี่ยงสูง (อาจเกิด Point Load) ส่วนผักตบชวามีความเสี่ยงต่ำ (Biocompatible Interface)กว่า (Abral et al.,2014) นอกจานั้นยังทำหน้าที่เสมือนส่วนต่อประสานที่ผ่อนปรน (Biocompatible Interface) ช่วยกระจายแรงกดบนผิวสัมผัสได้สม่ำเสมอ (Uniform Distribution Pressure) แตกต่างจากผิวที่เรียบและแข็งเกร็งของไม้ไผ่ที่เสี่ยงต่อการเกิดจุดกดเจ็บ (Point Load) ดังนั้น ผักตบชวาจึงมีคุณสมบัติเชิงกลที่ปลอดภัยและเหมาะสมกว่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้งานในกลุ่มผู้ป่วยที่มีภาวะผิวหนังเปราะบางหรือมีปัญหาด้านระบบหลอดเลือด

3. ข้อจำกัดของการวิจัย (Limitations)

แม้ว่าผลการศึกษาเชิงทฤษฎีจะแสดงให้เห็นถึงศักยภาพของผักตบชวา แต่การศึกษาทางปฏิบัตินี้ยังมีข้อจำกัดที่ควรนำไปพิจารณาในการพัฒนาต่อยอด ได้แก่

1. **ความไม่สม่ำเสมอของวัสดุธรรมชาติ (Material Inconsistency)** เส้นใยผักตบชวาในธรรมชาติมีความแปรปรวนของคุณสมบัติเชิงกลสูง ทั้งในด้านความหนาแน่น ขนาดเส้นใย และระดับความชื้น (Moisture content) ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ล้วนส่งผลกระทบต่อค่าความแข็งเกร็งและแรงเสียดทานของชิ้นงานในแต่ละรอบการผลิต
2. **การควบคุมตัวแปรในการสาน (Weaving Variables)** เนื่องจากกระบวนการขึ้นรูปอาศัยทักษะงานฝีมือ แรงดึงที่เกิดขึ้นขณะสานและความถี่ของจุดตัดตาข่ายจึงอาจมีความคลาดเคลื่อน (Human error) ทำให้แรงบีบรัด (Radial force) ของอุปกรณ์แต่ละชิ้นอาจไม่เท่ากันอย่างสมบูรณ์แบบ

3. ข้อจำกัดด้านรูปแบบเรขาคณิต (Geometrical Constraints) สมการและการวิเคราะห์ทางชีวกลศาสตร์ในงานวิจัยนี้ อ้างอิงจากลายสานโครงสร้างเกลียวสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูนตามที่ปรากฏในภาพตัวอย่างเท่านั้น หากมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบลายสาน จำนวนเส้นตอก หรือความยาวเริ่มต้น กลไกการเปลี่ยนทิศทางแรงและค่ามุมวิกฤต ($\theta \approx 39.29^{\circ}$) อาจเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งจำเป็นต้องมีการคำนวณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ใหม่ทั้งหมด

ข้อสรุป

การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า โครงสร้างของเครื่องจักสานงูกินเขียดทำงานภายใต้หลักการถักทอแบบเกลียว (Helical Braid) ซึ่งมีกลไกทางชีวกลศาสตร์ในการเปลี่ยนแรงดึงแนวแกนให้เป็นแรงบีบรัดแนวรัศมี เมื่อเปรียบเทียบวัสดุศาสตร์พบว่า เส้นใยผักตบชวา (Young's Modulus 6–8 GPa) มีความยืดหยุ่นสูงกว่าไม้ไผ่ (10–30 GPa) และมีโครงสร้างจุลภาคที่ช่วยกระจายแรงกดได้สม่ำเสมอกว่า คุณสมบัติเชิงกลดังกล่าวสามารถสร้างแรงเสียดทานที่เหมาะสมและลดความเสี่ยงต่อเนื้อเยื่ออ่อน สอดคล้องกับกลไกการทะลวงเลือดลมเพื่อบำบัดโรคลมปลายปัตฆาตตามหลักทฤษฎีการแพทย์แผนไทย ดังนั้น ภูมิปัญญาการสานงูกินเขียดจากผักตบชวาจึงมีศักยภาพและหลักฐานทางฟิสิกส์รองรับในการนำมาพัฒนาเป็นอุปกรณ์ทางกายภาพบำบัดทางเลือก ที่มีความปลอดภัยและเหมาะสมต่อสรีรวิทยาของมนุษย์ต่อไป

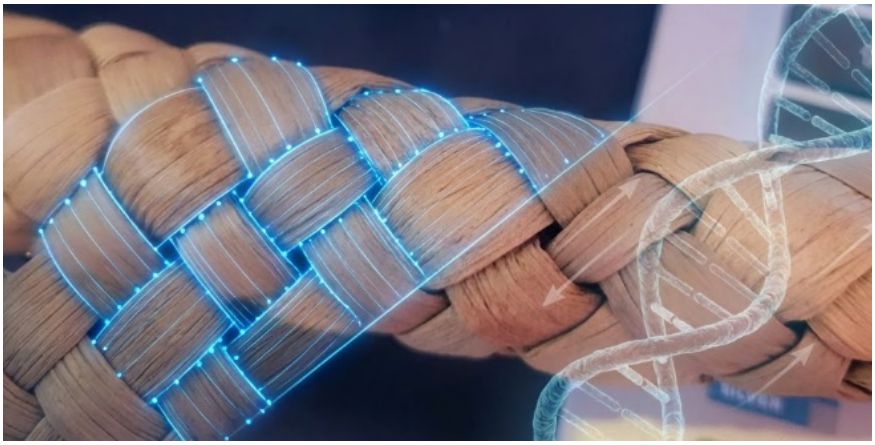
กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ ห้องปฏิบัติการทดสอบวัสดุ และสนับสนุนข้อมูลทางวิชาการสำหรับการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ขอขอบคุณปราชญ์ชาวบ้านและครูภูมิปัญญาผู้สืบสานงานจักสานงูกินเขียด ที่ได้มอบองค์ความรู้ต้นแบบอันทรงคุณค่า ซึ่งเป็นรากฐานสำคัญในการนำมาวิเคราะห์และต่อยอดด้วยกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เพื่อพัฒนาเป็นนวัตกรรมทางการแพทย์แผนไทยประยุกต์ที่เป็นประโยชน์ต่อสาธารณชนต่อไป

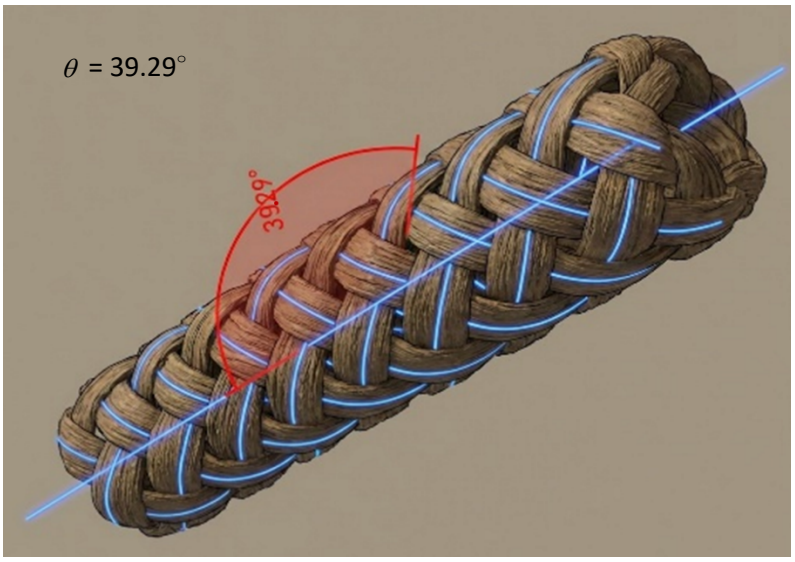
ตาราง ภาพ และแผนภาพ

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบค่ามอดุลัสของยัง (Young's Modulus) และลักษณะทางสัณฐานวิทยา

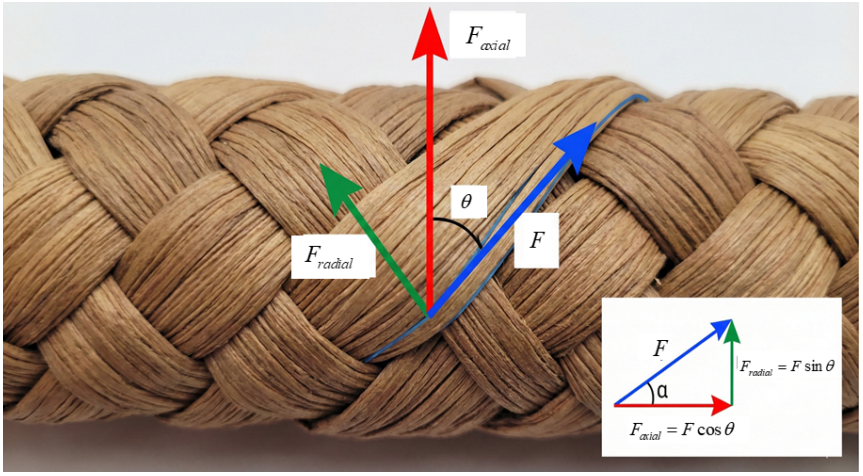
คุณสมบัติ (Properties)	**ไม้ไผ่ (Bamboo)**	**ผักตบชวา (Water Hyacinth)**
มอดุลัสของยัง (Young's Modulus)	10–30 GPa	6–8 GPa
สัณฐานวิทยาพื้นผิว (Morphology)	เรียบ และแข็งเกร็ง (Smooth/Rigid)	รูพรุนแบบฟองน้ำ (Spongy Micro-texture)
ความเสี่ยงต่อเนื้อเยื่ออ่อน	สูง (อาจเกิด Point Load)	ต่ำ (Biocompatible Interface)



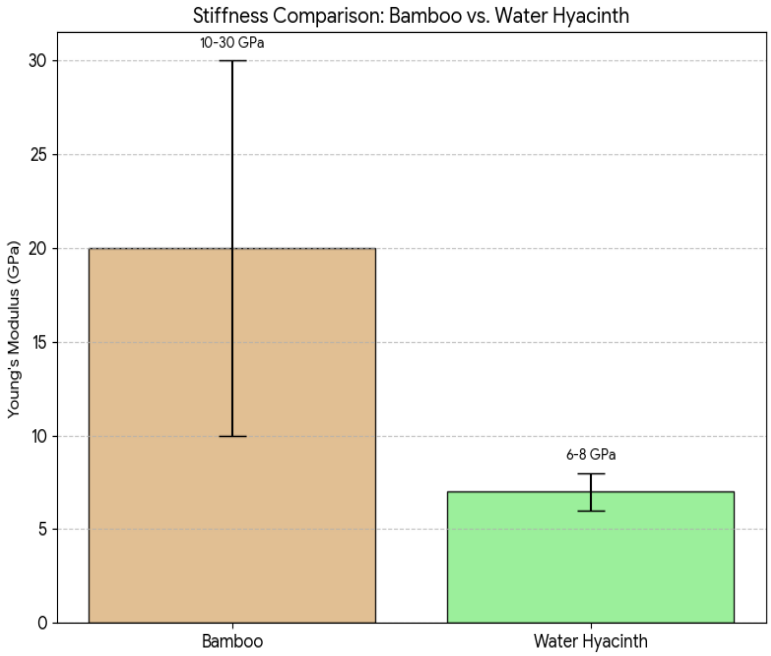
ภาพที่ 1 แสดงโครงสร้างการถักทอแบบเกลียวไขว้ (Helical Braid) ที่สร้างรูปทรงสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูน (Diamond Geometry) ซึ่งทำหน้าที่เป็นบานพับจุลภาคให้โครงสร้างยืดหดได้



ภาพที่ 2 แผนภาพแสดงมุมถัก (Braid Angle, θ) และความสัมพันธ์ทางเรขาคณิตของโครงสร้างงูกินเขียด ที่มุมวิกฤต $\theta \approx 39.29^{\circ}$



ภาพที่ 3 แผนภาพแสดงเวกเตอร์แรง (Force Vector Diagram) แสดงกลไกการเปลี่ยนแรงดึงในแนวแกน (F_{axial}) ให้เป็นแรงบีบในแนวรัศมี (F_{radial})



ภาพที่ 4 แสดงกราฟแท่งเปรียบเทียบค่ามอดุลัสของยัง (Young's Modulus) ระหว่างไม้ไผ่ (10-30 GPa) และเส้นใยผักตบชวา (6-8 GPa) แสดงความแตกต่างของความยืดหยุ่น



ภาพที่ 5 ภาพถ่ายขยาย (Macro Photography) เปรียบเทียบลักษณะพื้นผิวระหว่าง (ก) ผิวไม้ไผ่ที่มีความเรียบ และ (ข) เส้นใยผักตบชวาที่มีรูพรุนและเส้นใยเซลลูโลส (Micro-texture)

เอกสารอ้างอิง

สุภารัตน์ สุขโท, ปริยาภัทร สิงห์ทอง, ภควัต ไชยชิต, และ วาสนา หลงชิน. (2563). ผลระยะสั้นของการนวดไทยแบบราชสำนักในผู้ที่มีอาการของโรคลมปลายปัตฆาต สัญญาณ 4 หลัง. *วารสารหมอยาไทยวิจัย*, *6*(1), 1–20.

Abral, H., Kadriadi, K., Rodianus, A., Mastriyanto, P. A., Sandrawati, N., Sapuan, S. M., & Ishak, M. R. (2014). Characterization of water hyacinth fibers: The effect of alkali treatment. *International Journal of Polymer Analysis and Characterization*, *19*(1), 125–129.

Crecelius, A. R., Richards, J. C., Luckasen, G. J., Larson, D. G., & Dinenno, F. A. (2013). Reactive hyperemia occurs via activation of inwardly rectifying potassium channels and Na+/K+-ATPase in humans. *Circulation Research*, *113*(8), 1011–1021.

Osorio, L., Trujillo, E., Van Vuure, A. W., & Verpoest, I. (2011). Morphological aspects and mechanical properties of single bamboo fibers and flexural characterization of bamboo/epoxy composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, *30*(5), 396–408.

Stoeckel, D., Pelton, A., & Duerig, T. (2004). Self-expanding nitinol stents: Material and design considerations. *European Radiology*, *14*(2), 292–301.

Thongtanworapat, T., & Suwanno, P. (2019). Comparison of pain scores between bamboo and stainless steel finger traps: An experimental study. *Journal of Health Science and Medical Research*, *37*(2), 145–150.

Tondu, B. (2012). Modelling of the McKibben artificial muscle: A review. *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, *23*(3), 225–253.