

การทดสอบภายใต้แรงดึงทางเดียวด้วยการติดตามภาพวิดีโอบนโทรศัพท์เคลื่อนที่ : กรณีศึกษาการผิดรูปของเส้นด้ายกัญชง

นภรัตน์ จิวลักษณ์¹ และ วิไลพร ลักษมีวานิชย์^{2*}

มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ถ.ช้างเผือก อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50300

* Corresponding Author: vilaiporn_luk@cmru.ac.th

¹ อาจารย์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

² รองศาสตราจารย์ ภาควิชาฟิสิกส์และวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ข้อมูลบทความ

บทคัดย่อ

ประวัติบทความ :

รับเพื่อพิจารณา : 21 พฤษภาคม 2564

แก้ไข : 27 เมษายน 2565

ตอบรับ : 19 พฤษภาคม 2565

DOI : 10.14456/kmuttrd.2022.13

คำสำคัญ :

การทดสอบภายใต้แรงดึงทางเดียว /

เส้นด้ายกัญชง / วิดีโอความเร็วสูง /

โทรศัพท์เคลื่อนที่ /

โปรแกรมแทรคเกอร์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อติดตามการผิดรูปของจุดบนเส้นด้ายกัญชงที่มีความยาวเริ่มต้นต่างกันภายใต้แรงดึงทางเดียวด้วยการบันทึกภาพวิดีโอความเร็วสูงด้วยโทรศัพท์เคลื่อนที่และโปรแกรมแทรคเกอร์ โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ใช้มีการทำงานบนระบบ iOS สามารถบันทึกภาพได้ในอัตรา 120 เฟรมต่อวินาที ตัวอย่างเส้นด้ายกัญชงเป็นด้ายที่พันเกลียวสม่ำเสมอตลอดใจด้าย มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสม่ำเสมอประมาณ 0.64 มิลลิเมตร เส้นด้ายที่ทดสอบมีความยาวเริ่มต้นระหว่างหัวจับต่างกัน 5 ค่า ได้แก่ 2.5, 5.0, 10.0, 20.0 และ 25.0 เซนติเมตร ผลการติดตามการเปลี่ยนตำแหน่งด้วยโปรแกรมแทรคเกอร์ พบว่า ตำแหน่งหัวจับเหล็กกลาง หรือตำแหน่งด้ายที่หัวจับล่าง ไม่มีการเคลื่อนที่ ในขณะที่หัวจับเหล็กบนหรือเส้นด้ายที่หัวจับบนเคลื่อนที่ด้วยอัตราการผิดรูปเท่ากับอัตราเร็วของหัวจับบนที่กำหนดให้เคลื่อนที่ในอัตรา 30 เซนติเมตรต่อวินาที การผิดรูปบริเวณกึ่งกลางของเส้นด้าย 2 จุดที่ห่างกันเป็นระยะ 1.0 เซนติเมตร มีการเปลี่ยนตำแหน่งอย่างสม่ำเสมอสอดคล้องกัน ด้วยอัตราการผิดรูปประมาณครึ่งหนึ่งของอัตราการเคลื่อนที่ของหัวจับบน ความสัมพันธ์ของความเค้น-ความเครียดเฉลี่ยจนถึงจุดขาดของเส้นด้ายมีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น ค่ายังมอดูลัสและค่าการทนแรงดึง ณ จุดขาดของเส้นด้ายลดลงเมื่อความยาวเริ่มต้นระหว่างหัวจับของเส้นด้ายมีค่าสูงกว่า 5.0 เซนติเมตร โดยค่ายังมอดูลัสและค่าการทนแรงดึงสูงสุดดังกล่าวมีค่าเท่ากับ 36 MPa และ 48 MPa ตามลำดับ ในขณะที่ร้อยละของระยะยืด ณ จุดขาดมีค่าต่ำสุดที่ 137 และสูงสุดที่ 210 สอดคล้องกับความยาวเริ่มต้นของเส้นด้ายที่ 5.0 และ 25.0 เซนติเมตร ตามลำดับ

Uniaxial Tensile Test Using Mark-Tracking Video on a Smart Phone : Case Study on Hemp Yarn Deformation

Napatat Jiwalak¹ and Vilaiporn Luksameevanish^{2*}

Chiang Mai Rajabhat University, Chang Phueak Road, Mueang, Chiang Mai 50300

* Corresponding Author: vilaiporn_luk@cmru.ac.th

¹ Lecturer, Department of Chemistry, Faculty of Science and Technology.

² Associate Professor, Department of Physics and General Science, Faculty of Science and Technology.

Article Info

Article History:

Received: May 21, 2021

Revised: April 27, 2022

Accepted: May 19, 2022

DOI : 10.14456/kmuttrd.2022.13

Keywords :

Uniaxial Tensile Test /

Hemp Fiber /

High Speed Video /

Mobile Phone /

Tracker Program

Abstract

This research aimed to investigate deforming marks on hemp yarn samples undergoing uniaxial tensile tests by using a high-speed video recorder at 120 frames per minute on an iOS mobile phone. The hemp yarn samples were evenly threaded, having the diameter of 0.64 mm. Five conditions of initial grip length of fiber were investigated i.e., 2.5, 5.0, 10.0, 20.0 and 25.0 cm. The observations showed that the lower metal grip or the yarn held at the lower metal grip had no movement, while the upper grip or the yarn held at the upper metal grip moved upward at the speed equal to the speed of the cross head of 30 cm per min. Two marking points, which were 1.0 cm apart, at the middle of each tested specimen deformed consistency at about half the upper grip speed. Linear stress-strain relationships up to the breaking point of the fiber were noted. Young's modulus and tensile strength of the specimens decreased when the initial yarn grip length was larger than 5.0 cm, at which point the maximum values of these properties were 36 MPa and 48 MPa, respectively. On the other hand, elongation at break of the specimens increased with an increase in the initial yarn grip length of longer than 5.0 cm. The minimum and maximum values of this property were 137% and 210% when the initial grip length were 5.0 and 25.0 cm, respectively.

1. บทนำ

ปัจจุบันงานวิจัยทางวิทยาศาสตร์ศึกษาได้นำการบันทึกภาพวิดีโอของวัตถุขณะเคลื่อนที่มาประยุกต์ใช้เพื่อเป็นสื่อการเรียนการสอนอย่างกว้างขวางดังที่ Wattanakasivich และ Poonyawatpornkul [1] ได้ระบุว่ามีการนำเอาเทคนิคการบันทึกภาพด้วยวิดีโอความเร็วสูงกับโปรแกรมติดตามการเคลื่อนที่มาใช้ในงานวิจัยตั้งแต่ พ.ศ. 2543 ทั้งในด้านกลศาสตร์ ความร้อน ชีววิทยา และฟิสิกส์ของกีฬา เช่น Cross [2] ได้ศึกษาเทคนิคการโยนข้ามแขนของกีฬาเบสบอล Chean และคณะ [3-4] ได้ใช้กล้อง CCD ถ่ายภาพวิดีโอการผิดรูปภายใต้การโค้งงอ (bending) และการดึงทางเดียวเพื่อหาสมบัติเฉพาะของใยแก้วนำแสง (optical fiber) เทคนิคดังกล่าวถูกนำมาใช้ช่วยสอนในหลากหลายหัวข้อทางฟิสิกส์ควบคู่กับการแก้ไขความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน (misunderstanding) ของผู้เรียน เช่น การเคลื่อนที่ของวัตถุบนพื้นเอียงและการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ ในงานวิจัยของ Poonyawatpornkul และ Luksameevanish [5-6] เป็นต้น งานวิจัยเหล่านี้ใช้วิธีการบันทึกภาพเคลื่อนไหวของวัสดุด้วยวิดีโอความเร็วสูงจากกล้องบันทึกภาพที่มีความสามารถในการบันทึกภาพได้มากกว่า 120 เฟรมต่อวินาที จากนั้นจึงมาวิเคราะห์ตำแหน่งที่เปลี่ยนไป เช่น โปรแกรมแทรคเกอร์ (tracker program) ซึ่งเป็นโปรแกรมสำเร็จรูปที่สามารถติดตั้งได้ทั้งบนโทรศัพท์เคลื่อนที่และคอมพิวเตอร์ทั่วไป โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย โปรแกรมแทรคเกอร์สามารถวิเคราะห์ตำแหน่งวัตถุจากภาพเคลื่อนไหว 2 มิติ ที่ตั้งฉากกันได้ละเอียดในระดับมิลลิวินาที และสามารถอธิบายคุณลักษณะการเคลื่อนที่ที่ต่อเนื่องในรูปแบบของความเร็วและความเร่งในแต่ละมิติได้ด้วยราคาและเทคโนโลยีที่พัฒนาให้มีคุณภาพสูงยิ่งขึ้นในปัจจุบัน เทคนิคการวิเคราะห์ภาพเคลื่อนไหวด้วยวิดีโอความเร็วสูงดังกล่าวจึงได้รับความนิยมให้เป็นส่วนหนึ่งของสื่อช่วยสอน

การทดสอบการผิดรูปภายใต้แรงดึงทางเดียวเป็นหนึ่งในการทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุที่ได้รับความนิยมอย่างกว้างขวางทั้งในงานด้านวิศวกรรมและงานด้านวิทยาศาสตร์ วัตถุประสงค์เบื้องต้นของการทดสอบคือเพื่อศึกษาสมบัติเฉพาะของวัสดุ เช่น ค่ามอดูลัสของยัง (Young's Modulus) ค่าการทนแรงดึง (tensile strength) และค่าระยะยืด ณ จุดขาด (elongation at break) [7-8] สอดรับ

มาตรฐานการทดสอบวัสดุสากล เช่น มาตรฐานการทดสอบวัสดุของสหรัฐอเมริกา (American standard testing of material, ASTM) มาตรฐานอังกฤษ (British Standard, BS) หรือมาตรฐานญี่ปุ่น (Japanese Industrial Standard, JIS) [9-10] ปัจจุบันเครื่องมือทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุถูกพัฒนาขึ้นให้สามารถทดสอบสมบัติภายใต้การผิดรูปหลายลักษณะ เช่น การผิดรูปภายใต้แรงดึง แรงกด แรงเฉือน แรงบิด หรือแม้แต่ออกแบบให้สามารถควบคุมอุณหภูมิของวัสดุทดสอบได้ เครื่องมือดังกล่าวจึงถูกเรียกว่าเป็นเครื่องทดสอบสมบัติเชิงกลเอนกประสงค์ (universal mechanical testing machine) ดังปรากฏในงานวิจัยที่ศึกษาด้านวัสดุศาสตร์หลากหลายสาขา [11-14] ข้อจำกัดของอุปกรณ์เหล่านี้ คือราคาแพง และกรณีต้องการความแม่นยำในการทดสอบเพิ่มขึ้นก็ต้องใช้ชิ้นส่วนเสริม (accessories parts) เช่น เครื่องวัดระยะยืด (extensometer) ที่สามารถติดตามการผิดรูปขณะวัสดุถูกดึง ชิ้นส่วนเสริมดังกล่าว มักมีราคาแพงและมักถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้จำกัด เช่น วัสดุต้องมีรูปร่างหรือขนาดที่เฉพาะเจาะจง หรือมีระยะติดตามจำกัด

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงต้องการติดตามการผิดรูปของด้ายกัญชงภายใต้แรงดึงทางเดียวด้วยการบันทึกภาพการผิดรูปของวัสดุด้วยกล้องวิดีโอความเร็วสูงที่มีอยู่บนโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ใช้ในชีวิตประจำวัน แล้วนำภาพถ่ายดังกล่าวไปวิเคราะห์หาตำแหน่งที่เปลี่ยนไปด้วยโปรแกรมแทรคเกอร์ ชุดอุปกรณ์ดังกล่าวสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นเครื่องมือสำหรับการจัดการเรียนรู้ในห้องเรียน และมีจุดมุ่งหมายที่ต้องการหาค่าสมบัติเชิงกลของเส้นด้ายกัญชงดังกล่าวที่มีความยาวเริ่มต้นต่างกัน 5 ค่า (ช่วง 2.5 - 25.0 เซนติเมตร) ขณะมีการผิดรูปด้วยอัตรา 30 เซนติเมตรต่อวินาที งานวิจัยนี้ได้เลือกตัวอย่างเป็นเส้นด้ายกัญชงเกรดตลาดที่ไม่ทราบแหล่งผลิต เส้นด้ายดังกล่าวมีลักษณะพันเกลียวสม่ำเสมอพร้อมนำไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องนุ่งห่ม ผลการศึกษาอัตราการผิดรูปของเส้นด้ายกัญชงนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการศึกษาสมบัติเชิงกลเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของเส้นด้ายหรือออกแบบการขึ้นรูปสิ่งทอ รวมถึงเป็นแนวทางในการปรับปรุงคุณสมบัติของเส้นด้ายกัญชงท้องถิ่น เช่น เส้นด้ายกัญชงที่พัฒนาจากกลุ่มวิสาหกิจชุมชนคนดาวม่วง งานผ้าใย

กัญชง ตำบลโป่งแยง อำเภอแมริม จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งเป็นกลุ่มชาวบ้านที่ผลิตด้ายกัญชงแบบดั้งเดิมจากรุ่นสู่รุ่น และมุ่งต่อยอดพัฒนาระดับคุณภาพผลิตภัณฑ์งานผ้าใยกัญชงให้ยั่งยืนต่อไป

2. วัสดุและระเบียบวิธีวิจัย

2.1 การเตรียมวัสดุและอุปกรณ์ในการวิจัย

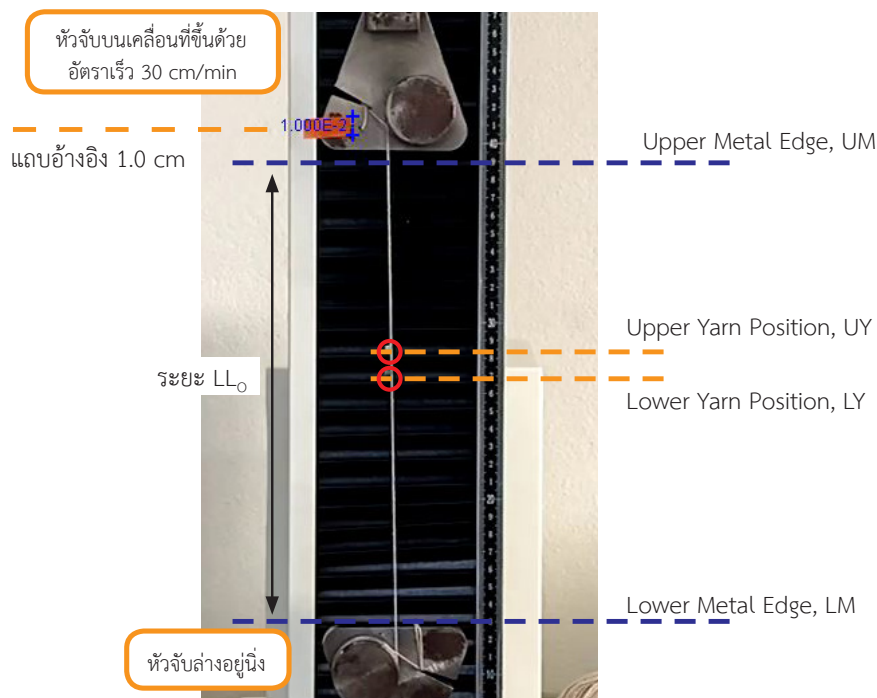
วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยได้แก่

- (1) เครื่องทดสอบวัสดุภายใต้แรงดึงทางเดียว (tensile machine) Bemacs, รุ่น ITO-1065B
- (2) โทรศัพท์เคลื่อนที่ ระบบ iOS ที่สามารถบันทึกภาพวิดีโอด้วยอัตรา 120 เฟรมต่อวินาที
- (3) ขาตั้งกล้อง
- (4) แถบกระดาษมาตรฐานที่มีความกว้าง 1.00 เซนติเมตร
- (5) คอมพิวเตอร์ที่มีด้วยโปรแกรม Tracker และโปรแกรม Microsoft excel

- (6) เส้นด้ายกัญชงเกรดตลาด ผลิตจากโรงงานที่ไม่ทราบแหล่งผลิต ขนาด 200 tex เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.64 ± 0.01 มิลลิเมตร (วัดซ้ำ 5 ครั้ง ต่อหนึ่งตัวอย่างที่ดึงด้วยเครื่องมือวัดที่มีความละเอียด 0.01 มิลลิเมตร)

2.2 ขั้นตอนวิธีการดึงเส้นด้าย และการวิเคราะห์ข้อมูล

เพื่อศึกษาอิทธิพลของความยาวเริ่มต้นของเส้นด้ายกัญชงตัวอย่าง งานวิจัยนี้จึงจัดให้มีการทดสอบการทนแรงดึงจนขาดของเส้นด้ายกัญชงตัวอย่างที่มีความยาวระหว่างหัวจับเริ่มต้นต่างกัน 5 เงื่อนไข ได้แก่ 2.5, 5.0, 10.0, 20.0 และ 25.0 เซนติเมตร ด้วยอัตราการบิดรูป 30 เซนติเมตรต่อนาที แต่ละเงื่อนไขความยาว มีการทดลองซ้ำ 7 ตัวอย่าง ขั้นตอนการเตรียมดึงเส้นด้ายและตั้งกล้องถ่ายวิดีโอ เริ่มจากการจัดภาพถ่ายตัวอย่างเส้นด้ายบนเครื่องทดสอบแรงดึงให้มีลักษณะดังแสดงในตัวอย่างรูปที่ 1 แล้วดำเนินการทดลองและวิเคราะห์ผลดังรายละเอียดต่อไปนี้



รูปที่ 1 แผนภาพเส้นด้ายขณะอยู่ระหว่างหัวจับบน-ล่างของเครื่องทดสอบแรงดึง

(1) จัดเส้นด้ายตัวอย่างบนหัวจับด้ายบนและล่างของเครื่องทดสอบการดึงทางเดียว ให้อยู่แนวระนาบตั้ง โดยจัดให้ความยาวเริ่มต้นของเส้นด้ายระหว่างขอบเหล็กบนและล่างของหัวจับยาวตามที่ต้องการต่างกัน 5 ค่า คือ 2.5, 5.0, 10.0, 20.0 และ 25.0 เซนติเมตร ความยาวของเส้นด้ายระหว่าง “ขอบเหล็กบน (Upper metal edge, UM)” และ “ขอบเหล็กล่าง (Lower metal edge, LM)” ดังกล่าวกำหนดให้เป็นระยะ LL_0

(2) ตีเครื่องหมาย (mark) บนเส้นด้ายบริเวณกึ่งกลางระยะ LL_0 2 ตำแหน่ง เรียกว่าตำแหน่ง “ด้ายบน (Upper Yarn, UY)” และ “ด้ายล่าง (Lower Yarn, LY)” โดยจัดให้ UY ห่างจาก LY เป็นระยะ 1.00 เซนติเมตร ระยะนี้คือระยะความยาวเริ่มต้น (initial gage length, L_0) ที่ต้องการสังเกตการผิดรูป

(3) ตัดแถบกระดาษที่มีความกว้าง 1.0 เซนติเมตร บนแผ่นหัวจับเส้นด้ายด้านบน ความกว้างของแถบกระดาษนี้ใช้เป็นความยาวมาตรฐานสำหรับการสอบเทียบความยาวของโปรแกรมแทรกเกอร์

(4) ตั้งกล้องโทรศัพท์เคลื่อนที่บนขาตั้งกล้อง ที่ระยะห่างจากเครื่องทดสอบแรงดึงทางเดียว ในตำแหน่งที่

ด้วยโปรแกรมแทรกเกอร์บนคอมพิวเตอร์ โดยเทียบระยะมาตรฐานจากความกว้างของแถบกระดาษ

(7) ตำแหน่ง “ด้ายบน” และตำแหน่ง “ด้ายล่าง” จะมีค่าถูกต้องก็ต่อเมื่อ (ก) ผลการแทรกตำแหน่ง “ขอบเหล็กล่าง, LM” อยู่ที่ตำแหน่ง 0 เซนติเมตร ตลอดเวลาของการเคลื่อนที่จนด้ายขาด และ (ข) ตำแหน่ง “ขอบเหล็กบน, UM” เปลี่ยนตำแหน่งไปในอัตรา 30 เซนติเมตรต่อนาที เท่ากับอัตราการเคลื่อนที่ของหัวจับบนที่กำหนดด้วยเครื่องทดสอบแรงดึงทางเดียว

(8) นำข้อมูลที่ได้จากการติดตามตำแหน่งของ “LY” และ “UY” ที่เปลี่ยนแปลงไปกับเวลา ไปวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ของตำแหน่งกับเวลาโดยใช้โปรแกรม Microsoft excel ความสัมพันธ์ดังกล่าวควรเป็นความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น ตามอัตราการผิดรูปคงตัวที่กำหนดให้ หัวจับบนเคลื่อนที่ จากนั้นนำจึงวิเคราะห์หาค่าร้อยละของความเครียดที่เวลาใด ๆ (ดังแสดงในสมการที่ (1)) โดยความเครียดหมายถึง สัดส่วนของความยาวที่เปลี่ยนไปจากตำแหน่งเวลาเริ่มทำการทดลองเทียบกับความยาวเดิมของเส้นด้ายที่สังเกต ซึ่งหมายถึงระยะห่างของ LY และ UY ณ เวลา $t = 0$ วินาที ที่จัดไว้เท่ากับ 1.0 เซนติเมตร

$$\Delta L(t) = L(t) - L(t=0) \quad (1)$$

เมื่อ $\Delta L(t)$ คือความยาวเปลี่ยนไปของเส้นด้าย ที่เวลา t หรือ ΔL ที่เวลา t ใด ๆ

$L(t)$ คือตำแหน่งของเส้นด้ายที่เวลา t

$L(t=0)$ คือตำแหน่งของเส้นด้ายที่เวลา $t = 0$ วินาที

สามารถมองเห็นหัวจับบนและล่างได้ตลอดการทดลอง โดยจัดให้ระยะไฟส่องอยู่ที่ตำแหน่งกึ่งกลางของเส้นด้าย

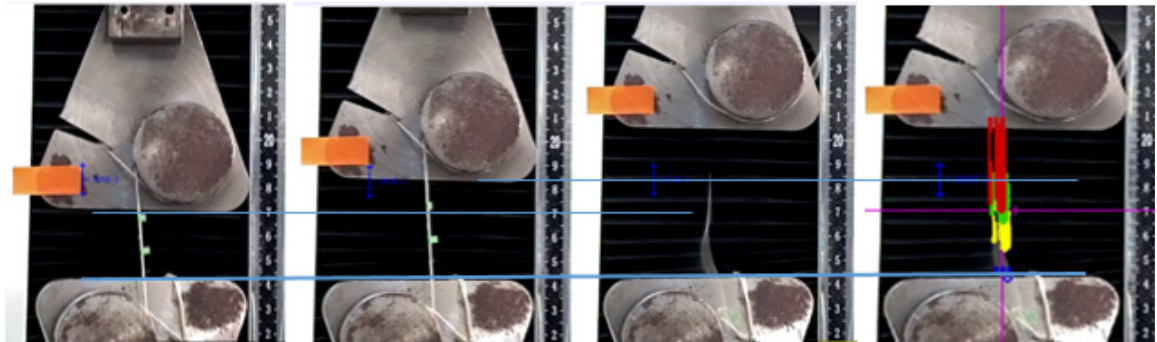
(5) จัดให้เครื่องทดสอบแรงดึงทำงาน โดยหัวจับบนเคลื่อนที่ขึ้นด้วยอัตราเร็ว 30 เซนติเมตรต่อนาที ตามมาตรฐานการทดสอบเส้นด้ายที่กำหนดไว้ใน ASTM D3822-07 [10] และจัดให้เครื่องทดสอบแรงดึงบันทึกค่าแรงที่เปลี่ยนไปตลอดระยะเวลาดึงด้วยความละเอียดตามที่กำหนดไว้เช่น บันทึกทุก ๆ 0.03 วินาที ขณะเดียวกันก็บันทึกภาพเคลื่อนที่ของด้ายตัวอย่าง จนกระทั่งขาดจากกัน

(6) วิเคราะห์ตำแหน่งที่เปลี่ยนไปของ ตำแหน่งขอบเหล็ก LM และ UM และตำแหน่งเส้นด้าย LY และ UY

(9) วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของแรงดึงที่เป็นฟังก์ชันของเวลาการผิดรูป ที่ได้จากเครื่องทดสอบแรงดึงในรูปแบบสมการเหมาะสมที่สุดกับข้อมูลเชิงตัวเลขที่ได้ จากนั้นจึงหาความสัมพันธ์ของแรง กับร้อยละความเครียดที่เวลาเดียว

3. ผลการวิจัย

ตัวอย่างการผิดรูปของเส้นด้ายที่มีความยาวระหว่างหัวจับเริ่มต้น 2.5 เซนติเมตร แสดงในรูปที่ 2 เป็นภาพนิ่งของด้ายตัวอย่างขณะผิดรูปที่เวลา 0, 2 และ 5.5 วินาที ในรูปที่ 2 (ก) ถึง (ค) ตามลำดับ รูปที่ 2 (ค) แสดงให้เห็นว่าเส้นด้ายขาดที่เวลา 5.5 วินาที รูปที่ 2 (ง) แสดงตัวอย่าง

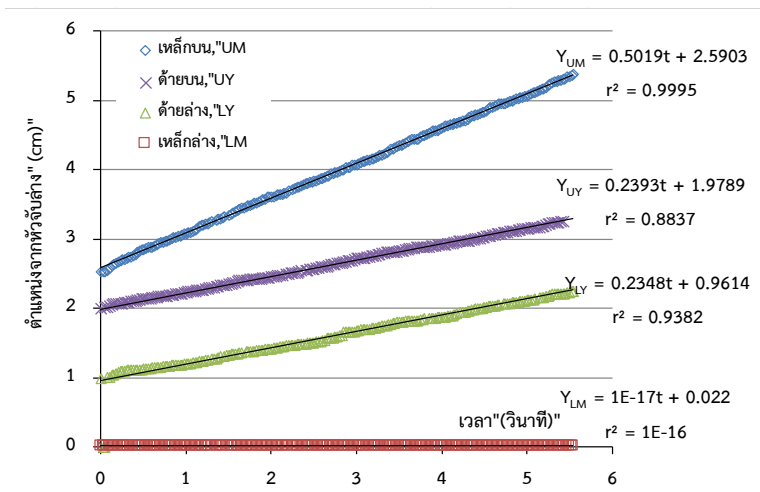


(ก) ที่ 0 วินาที (ข) ที่ 2 วินาที (ค) ที่ 5.5 วินาที (ง) tracker 5.5 วินาที

รูปที่ 2 ภาพตัวอย่างการผิดรูปจนขาดของเส้นด้ายที่มีความยาวเริ่มต้น 2.5 เซนติเมตร (ก) ถึง (ค) เป็นภาพหนึ่งที่เวลา 0, 2 และ 5.5 วินาที (เส้นด้ายขาด) และ (ง) ภาพหลังจาก tracker จนเส้นด้ายขาด ตำแหน่งขอบเหล็ก LM และ UM และตำแหน่งด้าย LY และ UY แสดงด้วยจุด/แถบสีน้ำเงิน สีแดง สีเหลืองและสีเขียว ตามลำดับ

ผลการติดตามการผิดรูปของตำแหน่ง LM, UM, LY และ UY (แสดงด้วยจุด/แถบสีน้ำเงิน สีแดง สีเหลืองและสีเขียว ตามลำดับ) ด้วยโปรแกรมเทอร์คเกอร์ ในช่วงเวลา 0 จนถึง 5.5 วินาที การติดตามตำแหน่งการผิดรูปของเส้นด้ายเกิดขึ้นหลังจากมีผลการแทรกตำแหน่งขอบเหล็กของหัวจับบนและล่างที่ยืนยันว่าตำแหน่ง LM อยู่หนึ่ง และ UM เคลื่อนที่ขึ้นด้วยอัตราเร็ว 30 เซนติเมตรต่อวินาที ตามที่กำหนดด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง ดังแสดงในรูปที่ 3 ข้อมูลในรูปแสดงให้เห็นว่า LM อยู่ที่ตำแหน่ง 0 เซนติเมตรตลอดเวลาของการทดสอบ

แสดงด้วยสมการ $Y_{LM} \text{ (cm)} = 1 \times 10^{-17} t + 0.002$ และค่าสหสัมพันธ์กำลังสอง (r^2) ของสมการมีค่าเท่ากับ 1×10^{-16} สมการนี้แสดงให้เห็นว่าความชันของเส้นตรง Y_{LM} และค่า r^2 มีค่าประมาณเท่ากับศูนย์ ซึ่งหมายถึง Y_{LM} ไม่มีการเปลี่ยนแปลงกับเวลา หรือ Y_{LM} ไม่มีความสัมพันธ์ใด ๆ กับเวลาที่เปลี่ยนไป ส่วนตำแหน่ง UM เพิ่มขึ้นตามเวลาอย่างสม่ำเสมอแบบเชิงเส้นด้วยสมการ $Y_{UM} \text{ (cm)} = 0.5019 t - 0.0742$ สมการนี้มีความชันของกราฟเท่ากับ 0.5019 เซนติเมตรต่อวินาที หรือเท่ากับ 30.35 เซนติเมตรต่อวินาที



รูปที่ 3 ตำแหน่ง “เหล็กบน” “เหล็กล่าง” “ด้ายบน” และ “ด้ายล่าง” เทียบกับตำแหน่งขอบเหล็กหัวจับล่างกรณีตัวอย่างเส้นด้ายที่มีความยาวระหว่างหัวจับเริ่มต้นที่ 2.5 เซนติเมตร

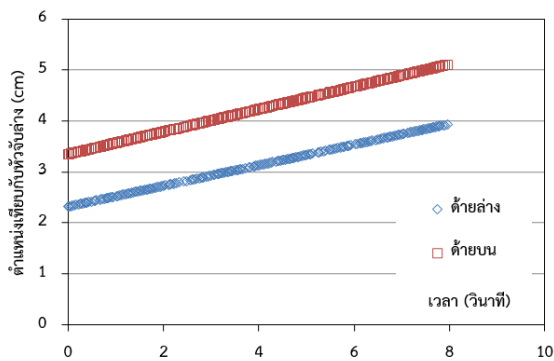
ซึ่งแตกต่างจากอัตราเร็วที่กำหนดไว้ (30.0 เซนติเมตรต่อวินาที) ร้อยละ 1.86 จัดเป็นค่าความคลาดเคลื่อนที่น้อยมาก ความคลาดเคลื่อนดังกล่าวอาจเป็นเพราะแถบมาตรฐานอ้างอิงมีขนาดเล็กเกินไป และเมื่อพิจารณาการเปลี่ยนตำแหน่งของตำแหน่งเส้นด้ายจากตำแหน่ง LY และ UY พบว่าตำแหน่งทั้งสองเปลี่ยนไปกับเวลาอย่างสม่ำเสมอในอัตรา 0.2348 และ 0.2398 เซนติเมตรต่อวินาที ซึ่งมีค่าเท่ากับ 14.1 และ 14.4 เซนติเมตรต่อวินาที ตามลำดับ อัตราการผิดรูปของเส้นด้ายทั้งสองตำแหน่งมีค่าประมาณครึ่งของค่าอัตราเร็วของหัวจับที่กำหนดให้เคลื่อนที่ จากการติดตามการเปลี่ยนตำแหน่งทั้งสองแสดงให้เห็นว่าด้าย ณ ตำแหน่งหัวจับล่างอยู่นิ่งกับที่ ในขณะที่เส้นด้าย ณ ตำแหน่งสูงขึ้นไป มีอัตราการผิดรูปเพิ่มมากขึ้น และมีค่าเท่ากับอัตราการผิดรูปที่กำหนดโดยเครื่องทดสอบที่ตำแหน่งหัวจับบน

รูปที่ 4 เป็นตัวอย่างผลการติดตามตำแหน่งที่เปลี่ยนไปของตำแหน่ง “ด้ายบน” และ “ด้ายล่าง” รูปที่ 4 (ก) เป็นกรณีตัวอย่างที่มีความยาวระหว่างหัวจับเริ่มต้นเท่ากับ 5.0 เซนติเมตร พบว่าที่เวลาเริ่มต้นของการทดลอง ($t = 0$ วินาที) “LY” และ “UY” อยู่ที่ตำแหน่งสูงกว่า “ขอบเหล็กกลาง, LM” ที่ตำแหน่งประมาณ 2.3 และ 3.3 เซนติเมตร ตามลำดับ และเมื่อเวลาผ่านไปขณะดึงเส้นด้าย ตำแหน่งเส้นด้ายดังกล่าวมีค่าเพิ่มขึ้นในลักษณะที่ตำแหน่งทั้งสองมีการเปลี่ยนแปลงแบบขนานกันไปจนเส้นด้ายขาดที่เวลาประมาณ 7.6 วินาที การเปลี่ยนตำแหน่งดังกล่าวคล้ายกับ

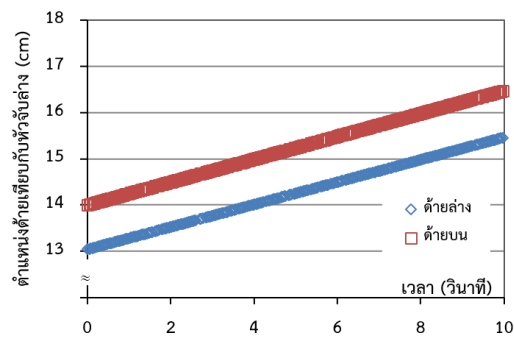
กรณีของเส้นด้ายที่มีความยาวระหว่างหัวจับเริ่มต้นเท่ากับ 25.0 เซนติเมตร (รูปที่ 4 (ข)) แตกต่างกันที่ ณ เวลา $t = 0$ วินาที ตำแหน่ง “LY” และ “UY” บริเวณกึ่งกลางเส้นด้ายอยู่สูงกว่าขอบเหล็กกลางเป็นระยะ 13.0 และ 14.0 เซนติเมตร ตามลำดับ เส้นด้ายที่มีความยาวเริ่มต้น 5.0 เซนติเมตร มีเวลาในการดึงจนขาดสั้นกว่ากรณีเส้นด้ายที่มีความยาวเริ่มต้น 25.0 เซนติเมตร ซึ่งขาดที่เวลาประมาณ 10.0 วินาที

ตำแหน่งที่เปลี่ยนไปกับเวลาของ “LY” หรือ “UY” เทียบกับหัวจับเหล็กกลางถูกนำไปเชื่อมโยงกับแรงที่เวลานั้น ๆ ทำให้พบว่าแรงขณะที่เส้นด้ายถูกดึงที่เวลาใด ๆ ดังแสดงในแผนภาพรูปที่ 5 ซึ่งเป็นกรณีตัวอย่างของเส้นด้ายที่มีความยาวเริ่มต้นเท่ากับ 5.0 และ 25.0 เซนติเมตร จากแผนภาพทำให้เห็นลักษณะของแรงกับตำแหน่งเส้นด้ายมีการเปลี่ยนแปลงคู่ขนานกันจนกระทั่งเส้นด้ายขาดออกจากกัน แรงสูงสุดขณะที่เส้นด้ายขาด กรณีเส้นด้ายที่มีความยาวเริ่มต้น 5.0 เซนติเมตร มีค่าสูงกว่ากรณี 25.0 เซนติเมตร ในทางกลับกันเส้นด้ายที่ยาวเริ่มต้น 5.0 เซนติเมตร มีระยะเคลื่อนที่หรือระยะยืดน้อยกว่า สอดคล้องกับเวลาทดสอบที่สั้นกว่าดังแสดงในรูปที่ 4

ตำแหน่งที่เปลี่ยนไปที่เวลา t ใด ๆ ถูกนำไปเทียบกับตำแหน่งที่เวลาเท่ากับ 0 ทำให้ได้ค่าระยะยืดของเส้นด้าย ΔL ที่เวลา t ใด ๆ ดังแสดงในสมการที่ (1) และเมื่อนำค่า ΔL ที่เวลานั้น ๆ หาค่าด้วยความยาวเริ่มต้นในช่วงที่สังเกต 1.0 เซนติเมตร ซึ่งเป็นระยะห่างที่เวลาเท่ากับ 0 ของตำแหน่ง LY

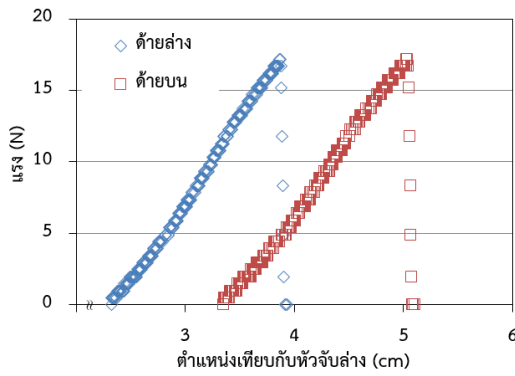


(ก) กรณี $LL_0 = 5.0$ เซนติเมตร

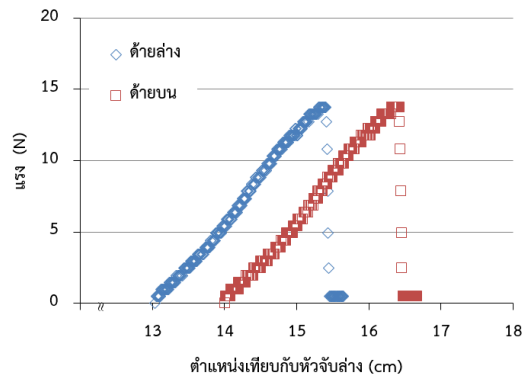


(ข) กรณี $LL_0 = 25.0$ เซนติเมตร

รูปที่ 4 ตำแหน่ง ด้ายบนและด้ายล่างของเส้นด้ายตลอดช่วงเวลาการดึงจนขาดของตัวอย่างเส้นด้ายที่มีความยาวเริ่มต้นระหว่างเท่ากับ 5.0 และ 25.0 เซนติเมตร

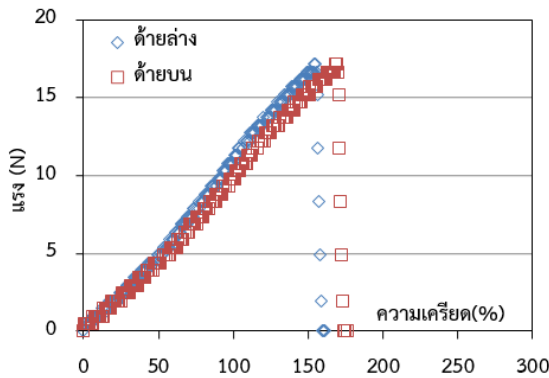


(ก) กรณี $LL_0 = 5.0$ เซนติเมตร

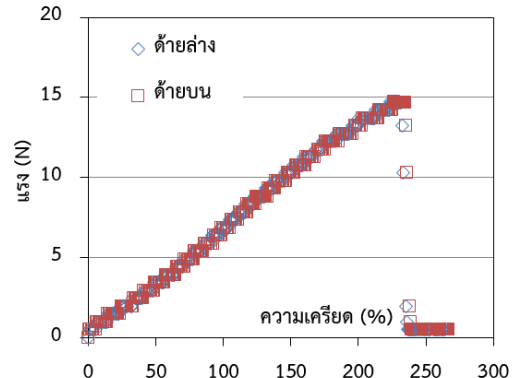


(ข) กรณี $LL_0 = 25.0$ เซนติเมตร

รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ของแรงกับตำแหน่งเส้นด้ายตลอดช่วงเวลาการดึงจนขาด กรณีตัวอย่างความยาวเส้นด้ายระหว่างหัวจับเท่ากับ (ก) 5.0 เซนติเมตร และ (ข) 25.0 เซนติเมตร



(ก) ตัวอย่างเส้นด้าย $LL_0 = 5.0$ cm



(ข) ตัวอย่างเส้นด้ายที่ $LL_0 = 25.0$ cm

รูปที่ 6 ตัวอย่างความสัมพันธ์ของแรงและร้อยละของความเครียด กรณีเส้นด้ายมีความยาวเริ่มต้นระหว่างหัวจับเท่ากับ 5.0 และ 25.0 เซนติเมตร

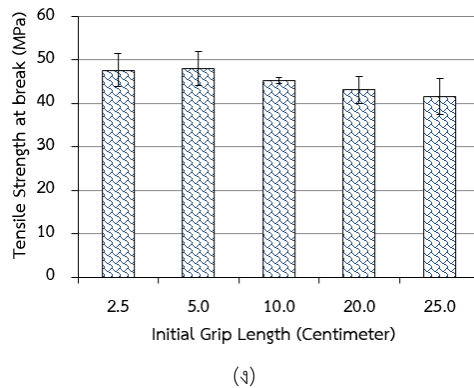
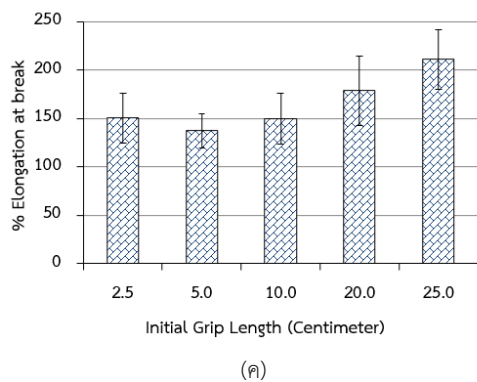
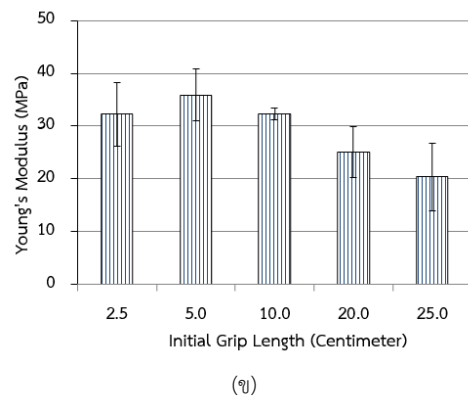
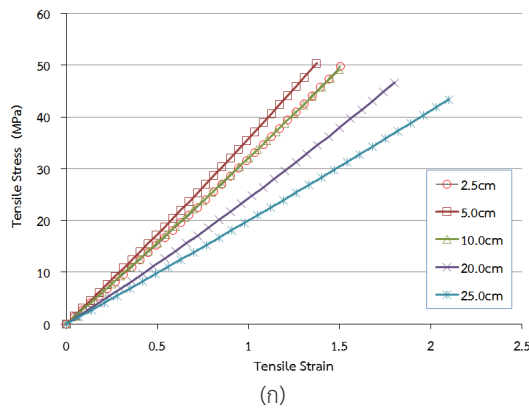
และ UY ทำให้ได้ค่าความเครียด และพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของแรงและร้อยละของความเครียดของตำแหน่งเส้นด้ายทั้งสองทำให้ได้ความสัมพันธ์ ดังแสดงในรูปที่ 6 ซึ่งเป็นตัวอย่างกรณีเส้นด้ายที่มีความยาวเริ่มต้นระหว่างหัวจับเท่ากับ 5.0 และ 25.0 เซนติเมตร ความสัมพันธ์ของแรงกับร้อยละความเครียดของตำแหน่งเส้นด้ายทั้งสองยุบรวมกันเป็นเส้นเดียว นั่นหมายความว่า การผิดรูปของด้ายที่ตำแหน่งทั้งสองบริเวณกึ่งกลางของเส้นด้ายที่จับไว้ด้วยหัวจับของเครื่องทดสอบแรงดึงมีลักษณะสอดคล้องกัน

ผลการดึงเส้นด้ายกัญชงที่มีความยาวระหว่างหัวจับเริ่มต้นหรือความยาวเริ่มต้นของเส้นด้ายก่อนดึงต่างกัน 5 เจียนไซ โดยแต่ละเจียนไซมีการดึงเส้นด้ายจำนวน 7 ตัวอย่าง หรือได้ข้อมูลการผิดรูปของตำแหน่งเส้นด้ายของแต่ละเจียนไซเป็นจำนวน 14 ชุดข้อมูล จากการติดตามการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของ “ด้ายล่าง” และ “ด้ายบน” การติดตามตำแหน่งทั้งสองจากภาพวิดีโอให้ข้อมูลมีความแปรปรวนของแต่ละชิ้นตัวอย่างอยู่ระหว่างร้อยละ 13 - 20 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความแปรปรวนภายในของธรรมชาติเส้นด้ายที่ดึงแต่ละเส้นมาจากส่วนต่าง ๆ ของใจด้ายที่ยาวมาก (การดึงเส้นด้าย 1 เส้น

ต้องเตรียมเส้นด้ายให้ยาวกว่าระยะห่างระหว่างหัวจับ หรือ ความยาวเริ่มต้นของเส้นด้ายที่ต้องดึงประมาณ 30 เซนติเมตร เช่นเส้นด้ายที่มีความยาวเริ่มต้น 25.0 เซนติเมตร ต้องใช้ด้าย จากใจด้ายยาวประมาณ 60 เซนติเมตร) ขัดแย้งกับสิ่งที่สังเกต ได้จากการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขึ้นตัวอย่างที่ไม่สามารถ เห็นความแปรปรวนได้ชัดเจน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะขนาดเส้น ผ่านศูนย์กลางมีขนาดเล็ก และเครื่องมือวัดมีระดับความ ละเอียดเพียง 0.01 มิลลิเมตร เทียบกับขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลางขนาด 0.64 มิลลิเมตร ทำให้มีความคลาดเคลื่อน จากเครื่องมือวัดเพียงร้อยละ 1.7 ความแปรปรวนดังกล่าว อาจเกิดจากการวัดความยาวของเส้นด้ายที่คลาดเคลื่อน

สมบัติเชิงกลภายใต้แรงดึงของเส้นด้ายกัญชงที่มีความ ยาวระหว่างหัวจับหรือความยาวเส้นด้ายเริ่มต้นช่วง 2.5- 25.0 เซนติเมตร แสดงในรูปที่ 7 ที่ประกอบด้วยความสัมพันธ์ ของความเค้น-ความเครียด ค่ายังมอดุลัส ค่าการทนแรงดึง

ณ จุดขาด และค่าร้อยละของการยืด ณ จุดขาด จากข้อมูลที่ ได้พบว่าความแข็งแรงของเส้นด้ายมีค่าสูงสุดที่ระยะระหว่าง หัวจับเท่ากับ 5.0 เซนติเมตร และมีค่าลดลงเมื่อความยาว ของเส้นด้ายเพิ่มมากขึ้น พฤติกรรมมีความสอดคล้องกันเมื่อ พิจารณาจากความสัมพันธ์ของความเค้น-ความเครียด ค่ายัง มอดุลัส และค่าการทนแรงดึง ณ จุดขาด ความสัมพันธ์ของ ความเค้น-ความเครียดของเส้นด้ายยาว 5.0 เซนติเมตร มีค่า ความชันสูงสุดสอดคล้องกับค่ามอดุลัสที่ 36 MPa และมีค่า การทนแรงดึง ณ จุดขาดเท่ากับ 48 MPa ค่ายังมอดุลัส และค่าการทนแรงดึง ณ จุดขาดที่ความยาวเส้นด้ายเริ่มต้น 25.0 เซนติเมตร มีค่าต่ำสุดที่ 20 และ 41.5 MPa ตามลำดับ ในทางกลับกันค่าระยะยืด ณ จุดขาดของเส้นด้ายที่มีความ ยาวเริ่มต้น 5.0 เซนติเมตร มีค่าต่ำสุดที่ร้อยละ 137 ส่วน เส้นด้ายที่มีความยาวเริ่มต้นยาวที่สุดที่ 25.0 เซนติเมตร สามารถยืดไปจนถึงร้อยละ 210 ก่อนขาดจากกัน



รูปที่ 7 สมบัติเชิงกลภายใต้แรงดึงของเส้นด้ายกัญชงที่ความยาวระหว่างหัวจับ ช่วง 2.5 -25 เซนติเมตร (ก) ความสัมพันธ์ของความแรง-ความเครียด (ข) ค่ายังมอดุลัส (ค) ค่าการทนแรงดึง ณ จุดขาด และ (ง) ค่าร้อยละของการยืด ณ จุดขาด

4. สรุปผลการวิจัย

การออกแบบการทดลองเพื่อติดตามการผิดรูปของเส้นด้ายกัญชงที่มีความยาวเริ่มต้นต่างกัน 5 ค่า ภายใต้การผิดรูปแรงดึงทางเดียว ด้วยการบันทึกภาพวิดีโอความเร็วสูงด้วยโทรศัพท์เคลื่อนที่ และโปรแกรมแทรคเกอร์ ส่งผลให้สามารถวิเคราะห์หาค่าความสัมพันธ์ของความเค้น-ความเครียดของเส้นด้ายได้อย่างชัดเจน และมีความแม่นยำ ผลการวิจัยพบว่า เมื่อเส้นด้ายมีความยาวระหว่างหัวจับเริ่มต้นเพิ่มมากขึ้นเกินขีดจำกัดค่าหนึ่ง ส่งผลให้การทนแรงดึงของเส้นด้ายมีค่าลดลง แต่ความสามารถในการยืดยาวของเส้นด้ายมากขึ้นนั้นหมายความว่าเทคนิคการถ่ายภาพวิดีโอของเส้นด้ายขณะผิดรูปภายใต้แรงดึงทางเดียว แล้ววิเคราะห์การผิดรูปดังกล่าวด้วยโปรแกรมแทรคเกอร์มีความเหมาะสม สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นเครื่องมือในการทดสอบสมบัติด้านนี้ของเส้นด้ายชนิดอื่น ตลอดจนเหมาะสมที่จะนำไปใช้เป็นสื่ออุปกรณ์การเรียนการสอนในห้องเรียน ทั้งนี้เนื่องจากกล้องบันทึกวิดีโอบนโทรศัพท์เคลื่อนที่จัดเป็นอุปกรณ์ที่มีใช้อย่างกว้างขวางในชีวิตประจำวัน

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จได้จากการสนับสนุนของมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ภายใต้โครงการยุทธศาสตร์มหาวิทยาลัยราชภัฏเพื่อการพัฒนาท้องถิ่น ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2563 เรื่อง การพัฒนาเทคนิคการเตรียมเส้นใยและการย้อมติดสีธรรมชาติของเส้นใยกัญชง และได้รับความร่วมมือในการรวบรวมข้อมูลของนางสาวสรสิน หนีคำ และ นางสาวจรินทร์ แผลงคำ

6. เอกสารอ้างอิง

1. Wattanakaswich, P. and Poonyawatpornkul, J., 2012, "High-speed Video Analysis in Mechanics," *Srinakharinwirot Science Journal*, 28 (2), pp. 211-232.
2. Cross, R., 2004, "Physics of Overarm Throwing," *American Journal of Physics*, 72 (3), pp. 305-312.
3. Chean, V., Robin, E., El Abdi, R. and Sangleboeuf, J.C., 2010, "Study of the Mechanical Behavior of the Optical Fiber by a Mark-tracking Method," *14th International Conference on Experimental Mechanics*, 6, pp. 1-8.
4. Chean, V., Robin, E., El Abdi, R., Sangleboeuf, J.C. and Houizot, P., 2011, "Use of the Mark-tracking Method for Optical Fiber Characterization," *Optics and Laser Technology*, 43 (7), pp. 1172-1178.
5. Poonyawatpornkul, J. and Luksameevanish, V., 2018, "High Speed Video Technique Analysis of an Object Moving on an Inclined Plane," *NU. International Journal of Science*, 15 (2), pp. 16-24.
6. Poonyawatpornkul, J. and Luksameevanish, V., 2019, "Development of Scientific Understanding using High Speed Video Analysis Technique: Case Study on Projectile Motion," *Journal of Education, Prince of Songkla University, Pattani Campus*, 30 (1), pp. 71-84.
7. Davis, J.R., 2004, *Tensile Testing*, 2nd ed., ASM International, Ohio, USA.
8. Czichos, H., Saito, T. and Smith, L.E., 2007, *Springer Handbook of Materials Measurement Methods*, Springer Berlin Heidelberg.
9. Britannica, 2009, *Testing Machine*, Encyclopedia Britannica [Online], Available: <https://www.britannica.com/technology/testing-machine>. [14 May 2021].
10. ASTM International, 2007, *ASTM D3822-07, Standard Test Methods for Tensile Properties of Single Textile Fiber*, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Pennsylvania, USA.

11. Ridzuan, M.J.M., Abdul Majid, M.S., Afendi, M., Azduwin, K., Aqmariah, Kanafiah, S.N. and Dan-mallam, Y., 2015, "The Effects of the Alkaline Treatment's Soaking Exposure on the Tensile Strength of Napier Fibre," *Procedia Manufacturing*, 2, pp. 353 – 358.
12. Choi, H.Y. and Lee, J.S., 2012, "Effects of Surface Treatment of Ramie Fibers in a Ramie/ Poly (lactic acid) Composite," *Fibers and Polymers*, 13 (2), pp. 217-223.
13. Saha, P., Manna, S., Chowdhury, S.R., Sen, R., Roy, D. and Adhikari, B., 2010, "Enhancement of Tensile Strength of Lignocellulosic Jute Fibers by Alkali-steam Treatment," *Bioresource Technology*, 101, pp. 3182–3187.
14. Cheng, M., Chen, W. and Weerasooriya, T., 2004, "Experimental Investigation of the Transverse Mechanical Properties of a Single Kevlar® KM2 Fiber," *International Journal of Solids and Structures*, 41 (22-23), pp. 6215-6232.