

การศึกษาพฤติกรรมการผิดรูปภายใต้แรงดึงทางเดียวของเส้นลวด ด้วยโทรศัพท์เคลื่อนที่

A STUDY OF UNIAXIAL DEFORMATION BEHAVIOR OF METAL WIRE USING SMART PHONE

วิไลพร ลักขมีวาณิชย์^{1*}, เพ็ญศรี ประมุขกุล¹, ศุภชัย เพชรตะกั่ว² และ ภาณุพันธ์ สิงห์สา²
Vilaiporn Luksameevanish^{1*}, Pensri Pramookul¹, Suphachai Phettakua², and Panupan Singas²

¹ภาควิชาฟิสิกส์และวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

²นักศึกษาคณะศึกษาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

¹Department of Physics and General Science, Faculty of Science and Technology, Chiang Mai Rajabhat University

²Student in General Science Education Program, Faculty of Education, Chiang Mai Rajabhat University

*corresponding author e-mail: vilaiporn_luk@cmru.ac.th

(Received: 16 August 2023; Revised: 7 November 2023; Accepted: 10 November 2023)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการผิดรูปภายใต้แรงดึงทางเดียวของเส้นลวดเหล็ก โดยบันทึกภาพการเคลื่อนไหวด้วยโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ทำงานบนระบบ iOS ที่บันทึกภาพเคลื่อนไหวได้ 60 เฟรมต่อวินาที ภาพที่บันทึกได้ถูกนำมาวิเคราะห์ตำแหน่งที่เปลี่ยนแปลงกับเวลาจนถึงจุดขาดด้วยโปรแกรมแทรคเกอร์ 6 แล้วนำไปวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างแรงและระยะผิดรูปด้วยโปรแกรม Microsoft Excel ผลการวิจัยพบภาพวิดีโอสามารถนำไปเป็นสื่อการจัดการเรียนรู้ เรื่องการผิดรูปของวัสดุได้ ผลการวิเคราะห์ พบว่า ที่อัตราการผิดรูปคงตัวที่ 50 เซนติเมตรต่อวินาที เส้นลวดมีค่าการทนแรงดึงและความเครียด ณ จุดขาดเพิ่มขึ้น เมื่อความยาวเริ่มต้นของเส้นลวดเพิ่มขึ้นช่วง 5–20 เซนติเมตร ค่าการทนแรงดึงจนขาดเพิ่มจาก 2.5 GPa เป็น 5.1 GPa ส่วนความเครียด ณ จุดขาดเพิ่มจาก 1.15 เป็น 2.56 ส่วนช่วงยืดหยุ่นสมบูรณ์ของเส้นลวดที่มีความยาวคงตัวที่ 5 เซนติเมตร ไม่ขึ้นกับอัตราการผิดรูปโดยมีค่าประมาณร้อยละ 20 และช่วงยืดหยุ่นสมบูรณ์มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเป็นประมาณร้อยละ 35 เมื่อความยาวเริ่มต้นของเส้นลวดเพิ่มจาก 10 เป็น 20 เซนติเมตร ในขณะที่ค่ายังมอดุลัสลดลงจาก 1.4 GPa เป็น 0.8 GPa เมื่ออัตราการผิดรูปเพิ่มจาก 10 เป็น 50 เซนติเมตรต่อวินาที ภาพวิดีโอและข้อมูลที่ได้เหมาะสำหรับการนำไปใช้เป็นสื่อการจัดการเรียนรู้ เรื่องสมบัติยืดหยุ่นของวัสดุ สำหรับผู้เรียนทั้งในระดับมัธยมศึกษาตอนต้นและมัธยมศึกษาตอนปลาย

คำสำคัญ: โทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบ iOS โปรแกรมแทรคเกอร์ เส้นลวดเหล็ก การผิดรูปทางเดียว

Abstract

This research is aimed to study the deformation under the uniaxial tensile test of a metal wire with a mobile phone running on the iOS system and recording rate of 60 frames per second. The recorded images were analyzed for positions, changing with time up to their breaking points, using the Tracker program 6. The relationship of force and deformed length were then evaluated on the Microsoft Excel Sheets. The results showed that the kits could be employed as an instruction medium for learning about material deformation. The analyzed results, at constant the deformation rate of 50 cm/min, showed an increasing of tensile strength and strain at break depending on the initial wire length of 5–20 cm. The tensile strength increased from 2.5 GPa to 5.1 GPa while the strain a break increased from 1.15 to 2.56. At a constant wire length of 5 cm, it was found at the elastic range of the wire didn't depend on deformation rate and it was about 20 percent. These elastic ranges rapidly increased to 35 percent when their initial length increased from 10 to 50 cm, whereas the Young's modulus of material decreased from 1.4 GPa to 0.8 GPa. The resulting images and their analyzed data are suitable for using as learning media on the elastic properties of the materials for middle and high school levels.

Keywords: iOS Smart Phone, Tracker Program, Metal Wire, Uniaxial Deformation

บทนำ

วิทยาศาสตร์ เป็นศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับสรรพสิ่งในธรรมชาติและสิ่งที่มีมนุษย์ประดิษฐ์ขึ้นทั้งที่มีชีวิตและไม่มีชีวิต รวมทั้งกระบวนการประมวลความรู้เชิงประจักษ์ที่เรียกว่ากระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และความรู้ที่ได้จากกระบวนการดังกล่าว การจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์แก่เยาวชนในศตวรรษที่ 21 ต้องผนวกเทคโนโลยีที่มีอยู่ในชีวิตประจำวันเพื่อเป็นรากฐานแก่การดำรงชีวิต และการศึกษาเรียนรู้ตลอดชีวิตของผู้เรียน การจัดการเรียนรู้แบบดั้งเดิมที่เน้นมโนทัศน์ หลักการ กฎ และทฤษฎีไม่เพียงพอต่อการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะเพื่อแสวงหารากฐานเชิงประจักษ์ด้วยกระบวนการทดลองช่วยเสริมสร้างความฉลาดรู้วิทยาศาสตร์หลากหลายรูปแบบ เช่น การวัด การสังเกต การแปลความหมาย การคำนวณ และการใช้เครื่องมือ (สิรินภา, 2565) การถ่ายภาพเคลื่อนไหวของชิ้นงานตัวอย่างด้วยกล้องวิดีโอความเร็วสูง แล้วติดตามการเคลื่อนที่ของส่วนสำคัญบนตัวอย่างด้วยโปรแกรมติดตามตำแหน่งถูกนำมาใช้เป็นอุปกรณ์การทดลองทางฟิสิกส์อย่างกว้างขวาง (พรรัตน์ และจิราภรณ์, 2555; Chean et al., 2010; Chean et al., 2011; Cross, 2004) ปัจจุบัน พบว่า มีการนำโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีใช้ในชีวิตประจำวันและเป็น

โทรศัพท์ที่สามารถทำงานได้หลากหลายฟังก์ชันมาใช้แทนกล่องวิดีโอความเร็วสูงที่มีราคาสูง (วิไลพร และนภรัตน์, 2565; Stoop, 2017) เพื่อใช้ทั้งทางด้านการศึกษาและการหาสมบัติเฉพาะของวัสดุภายใต้แรงดึง

การศึกษาพฤติกรรมการผิดรูปทางเดียวของวัสดุเป็นหัวข้อหนึ่งของวิชาฟิสิกส์ที่สามารถทดสอบหาการทนแรงดึงหรือระยะยืดจนขาดได้ด้วยเครื่องทดสอบการทนแรงดึง (Tensile Testing Machine) ที่นิยมใช้ในการทดสอบสมบัติตามมาตรฐานของวัสดุ เช่น การศึกษาของพฤติกรรมการผิดรูปของวัสดุคล้ายยาง (Vahapoglu, Karadeniz & Yazici, 2011) และการศึกษาพฤติกรรมการผิดรูปของวัสดุพอลิเมอร์คอมโพสิต (Hu et al., 2017) เป็นต้น การทดสอบสมบัติของวัสดุภายใต้แรงดึงทางเดียวนี้นิยมใช้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาด้านวัสดุศาสตร์หรือการทดสอบสมบัติของวัสดุเชิงวิศวกรรมที่มีการศึกษาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน เช่น การศึกษาของ Boonrasri et al. (2023); Ridwan et al. (2020); Shan et al. (2022); Sombatsompop et al. (2004); Zamil, Yi & Puri (2014) เป็นต้น ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบถูกนำไปใช้เป็นสมบัติเฉพาะพื้นฐานของวัสดุเพื่อใช้ประกอบการพิจารณาเลือกใช้วัสดุในการขึ้นรูปอุปกรณ์หรือเป็นองค์ประกอบของงานวิศวกรรม (Jove Science Education Database, 2023) ผู้ประกอบการสามารถเลือกนำข้อมูลดังกล่าวไปใช้ประกอบการผลิตผลิตภัณฑ์ทางการค้าได้ตามความเหมาะสม

การทดสอบสมบัติภายใต้แรงดึงทางเดียวทำให้ได้ความสัมพันธ์ของความเค้น-ความเครียดและค่ามอดูลัสภายใต้แรงดึง โดยจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ที่สามารถวัดแรงดึงขณะผิดรูป และอุปกรณ์ติดตามการผิดรูปของวัสดุตามยาวบริเวณกึ่งกลางระหว่างหัวจับที่เรียกว่า เอกซ์เทนโซมิเตอร์ (Extensometer) ที่เป็นอุปกรณ์เสริมของเครื่องทดสอบการทนแรงดึง (Instron, 2023; Zwickroell, 2023) ต้องจัดหาเพิ่ม ราคาของเอกซ์เทนโซมิเตอร์ขึ้นกับขีดความสามารถในการวัดระยะยืดและโดยทั่วไปมักมีราคาสูง งานวิจัยนี้จึงนำโทรศัพท์เคลื่อนที่มาใช้บันทึกภาพเคลื่อนไหวของวัสดุขณะถูกดึงด้วยเครื่องทดสอบการทนแรงดึงมาตรฐานที่สามารถบันทึกแรงดึงที่เปลี่ยนไปกับเวลาได้อย่างแม่นยำ จากนั้นจึงนำภาพที่บันทึกได้ไปวิเคราะห์หาระยะผิดรูปที่แท้จริง ส่วนวัสดุที่เลือกศึกษาในงานวิจัยนี้ คือ เส้นลวดเหล็กขาวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.8 มิลลิเมตร เส้นลวดโลหะดังกล่าวมีจำหน่ายทั่วไปในท้องตลาด มีการทนแรงดึงต่ำ และคาดว่าเนื้อวัสดุมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอตลอดความยาวของวัสดุที่ใช้ในการทดสอบ เนื่องจากการควบคุมการผลิตจากผู้ผลิต

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาการผิดรูปภายใต้แรงดึงทางเดียวของเส้นลวดด้วยการบันทึกภาพวิดีโอการผิดรูปด้วยกล่องบนโทรศัพท์เคลื่อนที่ทำงานด้วยระบบ iOS ร่วมกับการใช้โปรแกรมแทรคเกอร์ (Tracker Program) และ 2) ศึกษาอิทธิพลอัตราการผิดรูป และความยาวเริ่มต้นต่อสมบัติการต้านแรงดึงทางเดียว ได้แก่ ความสัมพันธ์ของความเค้น-ความเครียด ค่าการทน

แรงดึงจนขาด ความเครียด ณ จุดขาดของเส้นลวด และค่ายังมอดุลัสในช่วงการผิดรูปแบบยืดหยุ่นสมบูรณ์

วิธีดำเนินการวิจัย

การออกแบบและดำเนินการทดสอบการทนแรงดึงทางเดียวของเส้นลวด มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. นำเส้นลวดเหล็กขาวที่ผลิตทางการค้า เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.8 มิลลิเมตร ผูกกับหัวจับวัสดุแบบเส้นของเครื่องทดสอบการทนแรงดึง (Tensile Testing Machine, BemaCs รุ่น ITK-1065B) โดยกำหนดให้ความยาวของเส้นลวดระหว่างหัวจับก่อนผิดรูป มีสัญลักษณ์เป็น LL_0 ยาว 5.0 เซนติเมตร ดังภาพที่ 1

2. ติดแถบกระดาษอ้างอิงที่มีความกว้าง 1.0 เซนติเมตร ไว้บนหัวจับบน

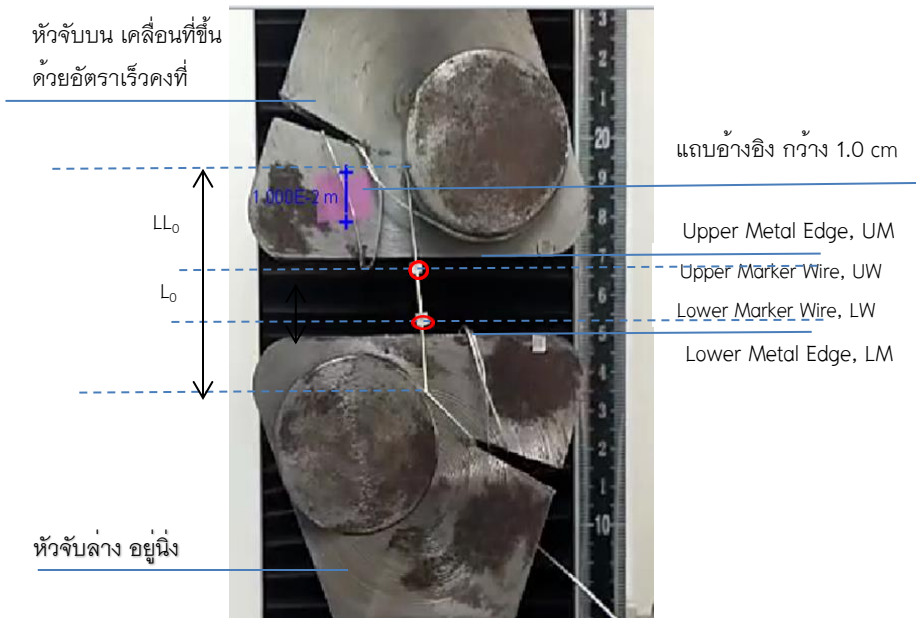
3. ติดเครื่องหมาย (marker) บนเส้นลวดในบริเวณประมาณกึ่งกลางเส้นลวด จำนวน 2 ตำแหน่ง เรียกว่า ตำแหน่งเครื่องหมายบน (Upper Marker Wire; UW) และ ตำแหน่งเครื่องหมายล่าง (Lower marker Wire; LW) ตำแหน่งทั้งสองห่างกัน 1.0 เซนติเมตร ความยาวนี้เป็นความยาวจริง ช่วงกึ่งกลางของชิ้นตัวอย่างที่ต้องการนำไปวิเคราะห์หาค่าความเครียด (แทนด้วยสัญลักษณ์ L_0)

4. ติดตั้งกล้องถ่ายวิดีโอบนโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบ iOS ที่สามารถบันทึกภาพในอัตรา 60 เฟรมต่อวินาที บนขาตั้งกล้อง และวางขาตั้งกล้องห่างจากเครื่องทดสอบแรงดึงในระยะที่สามารถติดตามภาพเคลื่อนที่ของหัวจับและเส้นลวด ตั้งแต่เริ่มดึงไปจนกระทั่งเส้นลวดขาด กำหนดให้ตำแหน่งขอบเหล็กหัวจับบน (Upper Metal Edge) และตำแหน่งขอบเหล็กหัวจับล่าง (Lower Metal Edge) แทนด้วยสัญลักษณ์ UM และ LM ตามลำดับ

5. ดึงเส้นลวดจนขาดด้วยอัตราการผิดรูปต่างกัน 4 ค่า ได้แก่ 10 20 30 และ 50 เซนติเมตรต่ออนาที่ บันทึกภาพวิดีโอและแรงที่กระทำจากเครื่องทดสอบแรงดึงที่แต่ละอัตราการผิดรูปให้ดึงเส้นลวดตัวอย่าง จำนวน 3 ชุด เพื่อนำไปหาค่าเฉลี่ยของข้อมูลแต่ละชุดทดลอง

6. นำภาพวิดีโอแต่ละภาพที่บันทึกได้ไปวิเคราะห์หาตำแหน่งที่เปลี่ยนไปกับเวลาด้วยโปรแกรมแทรคเกอร์ 6 แล้วนำมาแสดงผลบนโปรแกรม Microsoft Excel ชุดข้อมูลที่วิเคราะห์ได้จะถูกต้อง ก็ต่อเมื่อ 1) ตำแหน่ง LM อยู่ที่เคยเดิมเช่นเดียวกับหัวจับล่างที่ไม่มีการเคลื่อนที่ และ 2) ตำแหน่ง UM เคลื่อนที่ขึ้นด้านบนด้วยอัตราเท่ากับอัตราการผิดรูปที่กำหนดไว้

7. ทดลองซ้ำ ข้อ 1–6 โดยเปลี่ยนความยาวลวดเริ่มต้น (LL_0) เป็น 10 และ 20 เซนติเมตร ที่อัตราการผิดรูปคงตัวที่ 50 เซนติเมตรต่ออนาที่ เพื่อศึกษาอิทธิพลของความยาวเริ่มต้นของเส้นลวด



ภาพที่ 1 แผนภาพเส้นลวดขณะอยู่ระหว่างหัวจับบน-ล่างของเครื่องทดสอบแรงดึง

8. หาสมการการเปลี่ยนตำแหน่งของจุดติดตาม LW และ UW ที่เปลี่ยนแปลงกับเวลา เพื่อนำไปสัมพันธ์กับแรงที่เปลี่ยนไปกับเวลาที่ได้จากเครื่องทดสอบแรงดึง ข้อมูลชุดนี้นำไปสู่การวิเคราะห์หาค่าความเค้นดึง ความเครียดดึง และค่านึงมอดุลัส ที่มีความสัมพันธ์ ดังสมการที่ 1-3 ตามลำดับ ดังนี้

$$\text{ความเค้นดึง (tensile stress; Pa)} = \text{แรง (N)} / \text{พื้นที่หน้าตัดของเส้นลวด (m}^2\text{)} \quad (1)$$

$$\text{ความเครียดดึง (tensile strain; -)} = \text{ความยาวที่เปลี่ยนไป (cm)} / \text{ความยาวเดิม (cm)} \quad (2)$$

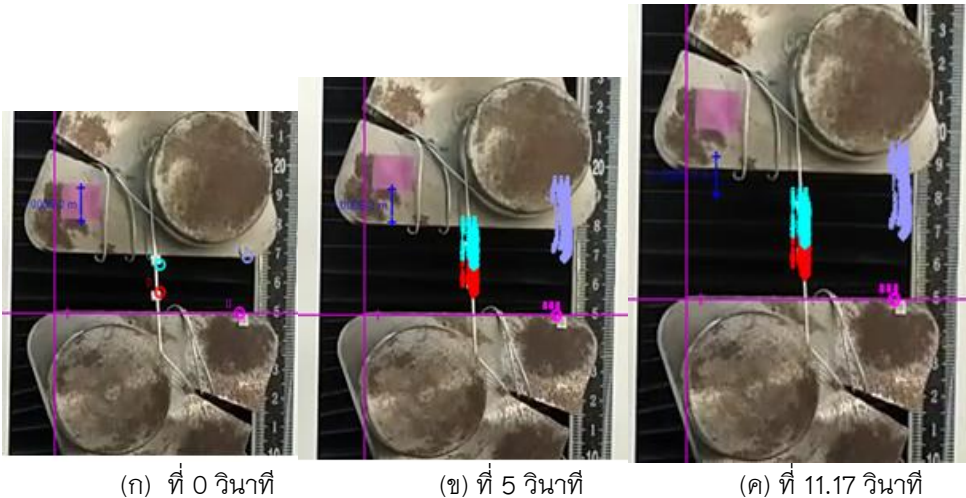
$$\text{ยังมอดุลัส (Young's Modulus; Pa)} = \text{ความเค้นดึง} / \text{ความเครียดดึง} \quad (3)$$

ผลการวิจัย

1. ผลศึกษาการผิดรูปภายใต้แรงดึงทางเดียวของเส้นลวด ด้วยการบันทึกภาพวิดีโอการผิดรูปด้วยกล้องบนโทรศัพท์เคลื่อนที่ทำงานด้วยระบบ iOS ร่วมกับการใช้โปรแกรมแทรคเกอร์ 6

การติดตามตำแหน่ง UM LM UW และ LW ดังภาพที่ 2 เป็นกรณีตัวอย่างของเส้นลวดที่มีความยาวเริ่มต้น, LL_0 เป็น 5 เซนติเมตร ถูกดึงด้วยอัตราการผิดรูป 10 เซนติเมตรต่อวินาที เส้นลวดขาดที่เวลา 11.17 วินาที ภาพที่ 2(ก) เป็นภาพที่เวลา 0 วินาที เป็นตำแหน่งเริ่มติดตาม 4 ตำแหน่งดังกล่าว จุดสีชมพู สีม่วง สีแดง และสีฟ้า แทนตำแหน่ง UM LM UW และ LW ตามลำดับ ต่อมา

ที่เวลา 5 และ 11.17 วินาที จุดดังกล่าวถูกติดตามต่อเนื่องจนกลายเป็นแถบสี ดังภาพที่ 2(ข)–(ค) ตามลำดับ การติดตามจุดเหล่านี้สิ้นสุดที่เวลา 11.17 วินาที ซึ่งเป็นเวลาที่เส้นลวดขาด ข้อมูลเชิงตัวเลขของตำแหน่งที่เปลี่ยนไปตามแนวแกน Y ถูกนำไปวิเคราะห์หาความสัมพันธ์กับเวลาดังตัวอย่าง ดังภาพที่ 3

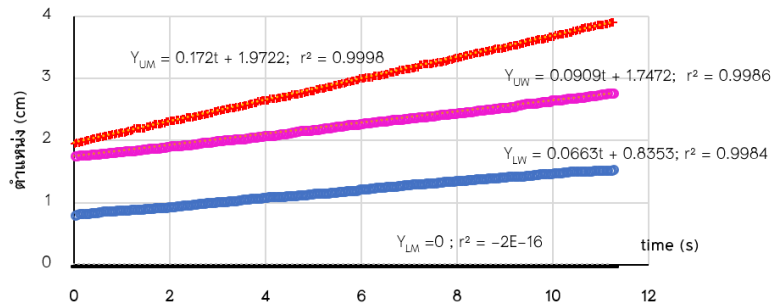


ภาพที่ 2 ภาพนิ่งจากวีดิโอการผิดรูปของเส้นลวดที่มีระยะ $LL_0=5$ cm มีอัตราการผิดรูป 10 cm/min ที่เวลาเริ่มดึงจนขาดที่เวลา 11.17 วินาที โดยแถบสีชมพู สีม่วง สีแดง และสีฟ้า แทนคือ ตำแหน่ง LM UM LW และ UW ที่ได้จากโปรแกรมแทรคเกอร์ ที่ (ก) 0 วินาที (ข) 5 วินาที และ (ค) 11.17 วินาที

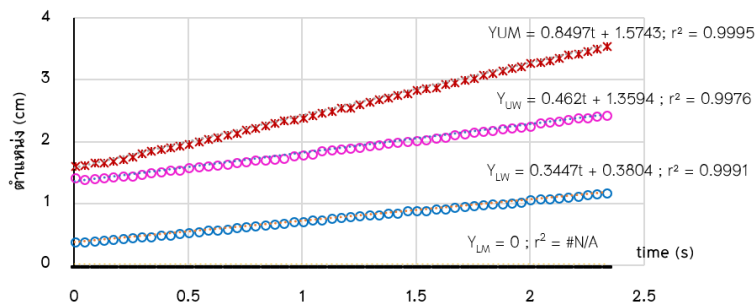
ภาพที่ 3 เป็นตัวอย่างชุดข้อมูลเชิงตัวเลขของตำแหน่งติดตาม UM LM UW และ LW ที่ได้จากโปรแกรมแทรคเกอร์และนำมาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของตำแหน่งเหล่านี้กับเวลาผิดรูปบนโปรแกรม Microsoft Excel กรณีสตัวอย่างลวดที่มีความยาวเริ่มต้นที่ 5.0 เซนติเมตร มีอัตราการผิดรูป 10 และ 50 เซนติเมตรต่อวินาที ดังภาพที่ 3(ก)–(ข) ตามลำดับ) และกรณีสตัวอย่างลวดยาวเริ่มต้นที่ 20 เซนติเมตร ที่อัตราการผิดรูป 50 เซนติเมตรต่อวินาที ดังภาพที่ 3(ค) ชุดข้อมูลเชิงตัวเลขเหล่านี้จะเชื่อถือได้ และสามารถนำไปวิเคราะห์การผิดรูปของวัสดุได้ ก็ต่อเมื่อ 1) ตำแหน่งขอบเหล็กหัวจับล่าง (LM) อยู่หนึ่งไม่มีการเปลี่ยนแปลงกับเวลาตลอดการทดสอบจนเส้นลวดขาด และ 2) ตำแหน่งขอบเหล็กหัวจับบน (UM) เคลื่อนที่ขึ้นด้วยอัตราการเปลี่ยนแปลงของตำแหน่งกับเวลาเท่ากับอัตราการผิดรูปของวัสดุที่กำหนดด้วยเครื่องทดสอบผลการวิจัย พบว่า ตำแหน่งขอบเหล็กล่าง (LM) ของทั้ง 3 กรณี มีสมการตำแหน่ง Y_{LM} เท่ากับศูนย์ ตลอดระยะเวลาการดึงเส้นลวดจนขาด ด้วยค่าสหสัมพันธ์กำลังสอง (Second order correlation coefficient; r^2) เท่ากับศูนย์ แสดงให้เห็นว่า Y_{LM} ไม่มีการเปลี่ยนแปลงกับเวลา

ตำแหน่งของขอบเหล็กบน, Y_{UM} , ดังภาพที่ 3(ก)–(ค) เป็นตำแหน่งหัวจับบนของเครื่องทดสอบที่เคลื่อนที่ขึ้นด้วยอัตรา 10 50 และ 50 เซนติเมตรต่อวินาที ตามลำดับ ข้อมูลบนแผนภาพทั้งสามแสดงการเปลี่ยนแปลงแบบเชิงเส้นกับเวลาที่มีความชันของกราฟเท่ากับ 0.1720 0.8497 และ 0.8244 เซนติเมตรต่อวินาที หรือเท่ากับ 10.32 50.98 และ 49.46 เซนติเมตรต่อวินาที ตามลำดับ ความชันนี้ต่างจากอัตราการผิดรูปที่กำหนดด้วยเครื่องทดสอบของแต่ละกรณีเท่ากับ ร้อยละ 3.20 1.96 และ 1.07 ตามลำดับ จัดเป็นความแตกต่างที่น้อยมาก ตำแหน่งติดตามเส้นลวดบนและลวดล่างมีการเปลี่ยนแปลงแบบเชิงเส้นกับเวลาด้วยค่าสหสัมพันธ์กำลังสองของสมการประมาณเท่ากับ 1.0 ซึ่งหมายถึงความสอดคล้องของชุดข้อมูลเชิงตัวเลขกับสมการถดถอยดังกล่าว ผลการวิจัย พบว่า ตำแหน่งลวดบน (Y_{UB}) มีอัตราการผิดรูปมากกว่าตำแหน่งลวดล่าง (Y_{LB}) อัตราการผิดรูปของตำแหน่งติดตามบนเส้นลวดทั้งสองตำแหน่งน้อยกว่าอัตราการผิดรูปที่กำหนดด้วยเครื่องทดสอบการทนแรงดึง เช่น กรณีภาพที่ 3(ก) ตำแหน่งลวดบนมีอัตราการเปลี่ยนตำแหน่งเท่ากับ 0.0909 และ 0.0663 เซนติเมตรต่อวินาที หรือ 5.454 และ 3.978 เซนติเมตรต่อวินาที ในขณะที่หัวจับบนเคลื่อนที่ขึ้นด้วยอัตรา 10 เซนติเมตรต่อวินาที ส่วนอัตราการเคลื่อนที่ของตำแหน่งลวดบน กรณีเส้นลวดตัวอย่าง ดังภาพที่ 3(ข)–(ค) มีค่าประมาณ 27 เซนติเมตรต่อวินาที หรือประมาณครึ่งหนึ่งของอัตราการผิดรูปที่กำหนดด้วยเครื่องทดสอบการทนแรงดึงที่ 50 เซนติเมตรต่อวินาที ส่วนจุดติดตามบนเส้นลวดที่อยู่ต่ำกว่าจุดบนประมาณ 1 เซนติเมตร มีอัตราการผิดรูปน้อยกว่า โดยมีค่าประมาณ 21 และ 25 เซนติเมตรต่อวินาที กรณีดังภาพที่ 3(ข)–(ค) ตามลำดับ

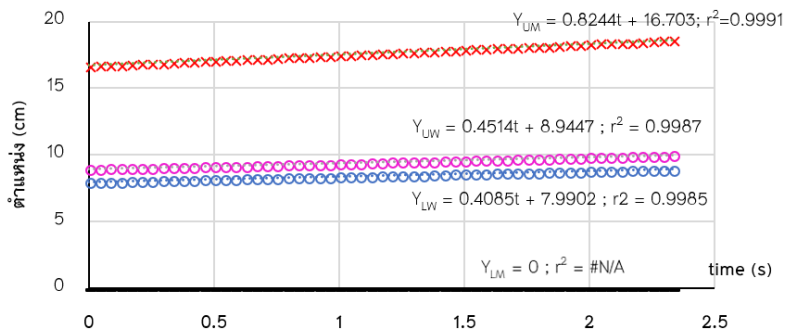
ตัวอย่างความสัมพันธ์ของความเค้นที่เปลี่ยนแปลงกับความเครียด ดังภาพที่ 4 ลักษณะการผิดรูปดังกล่าว สามารถแยกออกเป็น 3 บริเวณ ได้แก่ 1) ช่วงยืดหยุ่นสมบูรณ์ (Perfect Elastic Region) ที่ความเค้นแปรผันตรงกับความเครียด ความชันของกราฟบริเวณนี้ คือ ค่ายังมอดุลัส (Young's Modulus) 2) ช่วงพลาสติก (Plastics Region) เป็นช่วงที่วัสดุยืดออกอย่างรวดเร็ว ในขณะที่แรงที่กระทำหรือความเค้นมีค่าค่อนข้างคงตัว ความกว้างของบริเวณนี้ขึ้นกับความยาวเดิมของเส้นลวด และ 3) ช่วงขาด (Breaking Region) ความเครียดบริเวณนี้แคบมากโดยแรงที่กระทำหรือความเค้นมีค่าลดลงทันทีทันใด ความเค้นและความเครียดช่วงนี้ จึงเรียกว่าเป็น ความเค้นและความเครียด ณ จุดขาด (Breaking Point) ความเค้น ณ จุดขาดแสดงถึงความแข็งแรงของวัสดุ เรียกว่า ค่าการทนแรงดึง (Tensile Strength) ส่วนความเครียด ณ จุดขาด (Strain at Breaking หรือ Elongation at Break) บ่งบอกถึงความสามารถในการยืดจนขาดของวัสดุ ค่าทั้งสองเป็นสมบัติเฉพาะของวัสดุแต่ละชนิด ที่ยังคงมีอิทธิพลของความยาวเริ่มต้นและอัตราการผิดรูป เช่นเดียวกับค่ายังมอดุลัสของวัสดุ ดังตารางที่ 1 และภาพที่ 5



(ก) ความยาวเริ่มต้น, LL₀ 5 เซนติเมตร อัตราการผิดรูป 10 เซนติเมตร/นาที่

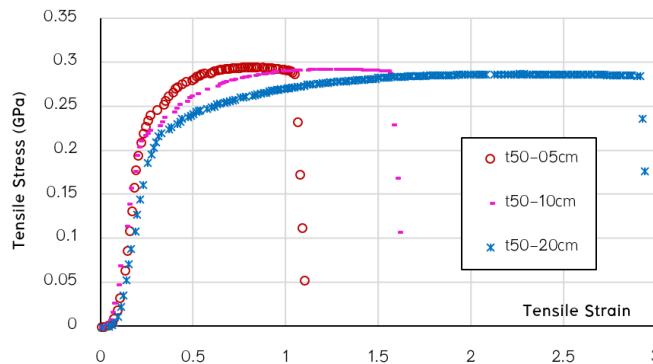


(ข) ความยาวเริ่มต้น, LL₀ 5 เซนติเมตร อัตราการผิดรูป 50 เซนติเมตร/นาที่



(ค) ความยาวเริ่มต้น, LL₀ 20 เซนติเมตร อัตราการผิดรูป 50 เซนติเมตร/นาที่

ภาพที่ 3 ตัวอย่างตำแหน่งที่เปลี่ยนไปกับเวลาดึงของเส้นลวด 3 กรณี ที่ (ก) ความยาวเริ่มต้น, LL₀ 5 เซนติเมตร อัตราการผิดรูป 10 เซนติเมตร/นาที่ (ข) ความยาวเริ่มต้น, LL₀ 5 เซนติเมตร อัตราการผิดรูป 50 เซนติเมตร/นาที่ และ (ค) ความยาวเริ่มต้น, LL₀ 20 เซนติเมตร อัตราการผิดรูป 50 เซนติเมตร/นาที่



ภาพที่ 4 ตัวอย่างความสัมพันธ์ของความเค้น-ความเครียดตลอดการดึงจนขาด กรณีอัตราการผิดรูปคงตัวที่ 50 เซนติเมตรต่อวินาที และความยาวเริ่มต้น, LL_0 เท่ากับ 5 10 และ 20 เซนติเมตร **หมายเหตุ** สัญลักษณ์ เช่น t50-05cm หมายถึงการทดสอบที่อัตราการผิดรูป 50 เซนติเมตรต่อวินาที กรณีความยาวเริ่มต้นของเส้นลวดเท่ากับ 5 เซนติเมตร

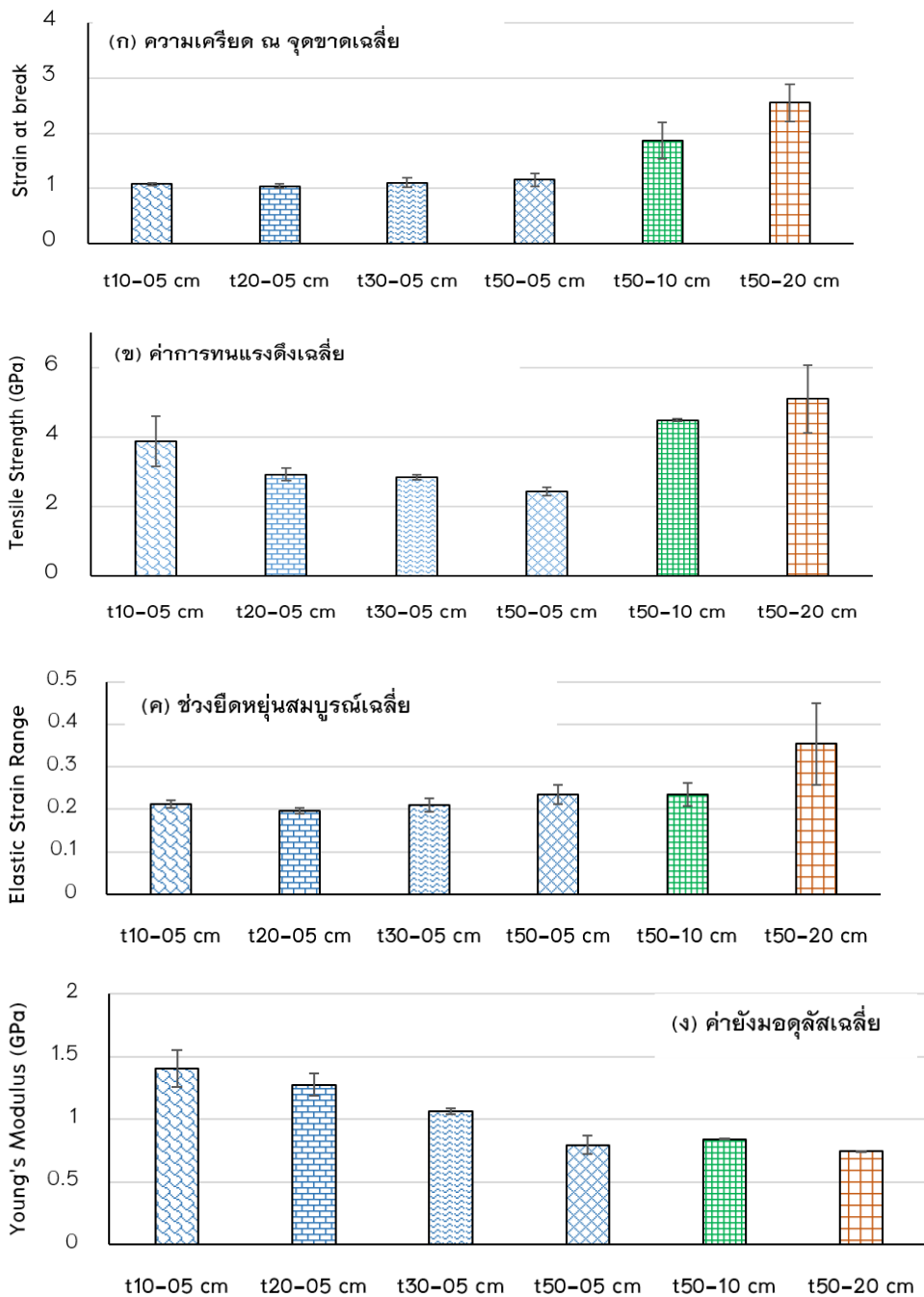
2. ผลการศึกษาอิทธิพลอัตราการผิดรูป และความยาวเริ่มต้นต่อสมบัติการต้านแรงดึงทางเดียว

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ 1) ค่าความเครียด ณ จุดขาด 2) ค่าการทนแรงดึง หรือค่าความเค้น ณ จุดขาด (ไม่คำนึงถึงพื้นที่หน้าตัดของเส้นลวดที่อาจลดลงเมื่อถูกดึงจนใกล้ขาด) (3) ช่วงยืดหยุ่นสมบูรณ์ และ (4) ค่ายังมอดุลัส ดังตารางที่ 1 และภาพที่ 5 โดยภาพที่ 5(ก)-(ข) แสดงให้เห็นว่าเส้นลวดที่มีความยาวเริ่มต้นคงตัวที่ 5 เซนติเมตร ยึดจนขาดที่ความเครียดประมาณร้อยละ 100 โดยไม่ขึ้นกับอัตราการผิดรูปช่วง 10–50 เซนติเมตรต่อวินาที แต่มีค่าเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 115 เป็น 256 เมื่อความยาวเพิ่มจาก 5 เป็น 20 เซนติเมตร กรณีที่อัตราการผิดรูป 50 เซนติเมตรต่อวินาที ส่วนค่าการทนแรงดึงของเส้นลวด (ขณะที่เส้นลวดยาวคงตัวที่ 5 เซนติเมตร) มีค่าลดลงจากประมาณ 4.0 GPa เป็น 2.5 GPa เมื่ออัตราการผิดรูปเพิ่มจาก 10 เป็น 50 เซนติเมตรต่อวินาที และเมื่อความยาวเพิ่มมากขึ้นค่าการทนแรงดึงก็เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนจนมีค่าสูงสุดที่ประมาณ 5.1 GPa ที่ความยาวเส้นลวดเพิ่มเป็น 20 เซนติเมตร (ที่อัตราการผิดรูปคงตัวที่ 50 เซนติเมตรต่อวินาที) พฤติกรรมการผิดรูปช่วงยืดหยุ่นสมบูรณ์ที่วิเคราะห์ได้จากกราฟช่วงความเค้นแปรผันตรงกับความเครียดตามความสัมพันธ์ $\sigma = Y\varepsilon + C$ (เมื่อ σ และ ε คือ ความเค้น และความเครียด ตามลำดับ Y คือ สัดส่วนของความเค้นต่อความเครียดในช่วงยืดหยุ่น ซึ่งมีค่าเท่ากับค่ามอดุลัสยืดหยุ่นที่เรียกว่า ค่ายังมอดุลัส ส่วนค่า C คือ ค่าความเค้นขณะที่ความเครียดเท่ากับศูนย์) ความสัมพันธ์ที่ถูกต้องต้องมีค่าสหสัมพันธ์กำลังสองไม่ต่ำกว่า 0.9 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของช่วงยืดหยุ่นและค่ามอดุลัส ดังตารางที่ 1

และภาพที่ 5(ค)–(ง) โดยภาพที่ 5(ค) แสดงช่วงยืดหยุ่นสมบูรณ์ของเส้นลวดมีพฤติกรรมคล้ายกับความเครียด ณ จุดขาด ดังภาพที่ 5(ก) โดยไม่ขึ้นกับอัตราการผิดรูป แต่เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อความยาวของเส้นลวดเพิ่มขึ้น ช่วงยืดหยุ่นสมบูรณ์ดังกล่าวมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 20 ถึงร้อยละ 35 เมื่อเส้นลวดมีความยาวเริ่มต้นที่ 5 ถึง 20 เซนติเมตร ตามลำดับ ในทางกลับกันภาพที่ 5(ง) แสดงให้เห็นว่าค่ายังมอดุลัสของเส้นลวดมีค่าสูงสุดที่ประมาณ 1.4 GPa เมื่อเส้นลวดมีความยาวเริ่มต้นน้อยที่สุดที่ 5 เซนติเมตร และมีอัตราการผิดรูปต่ำสุดที่ 10 เซนติเมตรต่ออนาที่ และเมื่อเส้นลวดถูกดึงด้วยอัตราการผิดรูป 50 เซนติเมตรต่ออนาที่ ค่ายังมอดุลัสกลับลดลงเป็น 0.8 GPa และไม่ขึ้นกับความยาวของเส้นลวด

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากความสัมพันธ์ของความเค้นและความเครียดดึง

Test Condition	Strain at break (–)		Tensile Strength (GPa)		Elastic Strain Range (–)		Young's Modulus (GPa)	
	average	s.d.	average	s.d.	average	s.d.	average	s.d.
t10–05 cm	1.0787	0.0242	3.8786	0.7239	0.2121	0.0100	1.4017	0.1465
t20–05 cm	1.0369	0.0408	2.9257	0.1792	0.1968	0.0072	1.2760	0.0911
t30–05 cm	1.0999	0.0873	2.8501	0.0665	0.2097	0.0160	1.0616	0.0251
t50–05 cm	1.1547	0.1166	2.4379	0.1236	0.2354	0.0227	0.7941	0.0715
t50–10 cm	1.8609	0.3277	4.4899	0.0330	0.2354	0.0267	0.8413	0.0022
t50–20 cm	2.5570	0.3376	5.0928	0.9629	0.3536	0.0953	0.7443	0.0021



ภาพที่ 5 สมบัติเฉพาะของเส้นลวดที่ขึ้นกับความยาวเริ่มต้นและอัตราการผิดรูป (ก) ความเครียด ณ จุดขาด (ข) ค่าการทนแรงดึง (ค) ช่วงยืดหยุ่นสมบูรณ์ และ (ง) ค่ายังมอดุลัส

อภิปรายผลการวิจัย

ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าเทคนิคการติดตามการผิดรูปของวัสดุด้วยการถ่ายภาพวิดีโอแล้วนำมาวิเคราะห์เป็นข้อมูลเชิงตัวเลขด้วยโปรแกรมแทรคเกอร์ สามารถหาพฤติกรรมการผิดรูปของวัสดุเชิงเส้นได้อย่างแม่นยำ นอกจากนั้นควรมีการศึกษาพฤติกรรมของวัสดุให้หลากหลายชนิดทั้งที่เป็นวัสดุอิลาสติกหรือวัสดุพอลิเมอร์ที่มีการใช้งานทั่วไปเพื่อให้รวบรวมให้ได้ข้อมูลสำหรับการจัดการเรียนการสอนในอนาคต รวมถึงควรศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต้นซึ่งหมายถึงอัตราการผิดรูปและความยาวของวัตถุมากกว่า 3 หรือ 4 กรณี เช่น ที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ ทั้งนี้เพื่อให้สามารถหาแนวโน้มของความสัมพันธ์ดังกล่าวได้ดียิ่งขึ้น นอกจากนั้นยังควรบันทึกภาพการผิดรูปของวัสดุในบริเวณกึ่งกลางชิ้นตัวอย่างที่เล็กลงกว่า 1 เซนติเมตร เพื่อให้ได้ค่าความเครียดที่แท้จริงของวัสดุ ตลอดจนควรมีการพัฒนาต่อเนื้อให้สามารถทดสอบวัสดุที่อยู่ในรูปสองมิติอื่นๆ เช่น กรณีสันตัวอย่างรูปร่างดัมเบล (Dumbbell shape) ซึ่งเป็นรูปแบบของชิ้นงานภายใต้การดึงทั่วไป

ชุดทดลองที่ออกแบบขึ้นในงานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับวัสดุอื่นที่ต้องการศึกษาพฤติกรรมการผิดรูปภายใต้แรงดึงทางเดียว เหมาะกับเครื่องทดสอบการทนแรงดึงที่ไม่มีอุปกรณ์ติดตามการผิดรูป ชุดอุปกรณ์นี้เป็นอุปกรณ์ที่หาได้ง่าย นั่นคือ กล้องจากโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีใช้ในชีวิตประจำวันอย่างกว้างขวาง กล้องดังกล่าวมีเทคโนโลยีการจับภาพด้วยความเร็วสูง ภาพคมชัด เหมาะกับการประยุกต์ใช้ในการทดลองทางวิทยาศาสตร์อื่นๆ เช่น ในงานวิจัยของ Chean et al. (2010); Chean et al. (2011); Stoop J. (2017); Yue & Katabi (2021) ภาพเคลื่อนที่ที่ได้สามารถนำไปใช้เป็นสื่อในการจัดการเรียนรู้ของผู้เรียนได้อย่างเหมาะสม อย่างไรก็ตาม การทดสอบแบบนี้ยังคงต้องอาศัยเครื่องทดสอบการทนแรงดึงที่สามารถกำหนดอัตราการเคลื่อนที่ของหัวจับที่แม่นยำร่วมกับการบันทึกค่าแรงและเวลาขณะผิดรูปที่ถูกต้องด้วยเทคโนโลยีที่มีการพัฒนาขึ้นใช้อย่างกว้างขวาง

นอกจากนั้นหากต้องการนำข้อมูลไปประยุกต์ใช้ทางวิศวกรรม ควรคำนึงถึงการทดสอบด้วยอัตราการผิดรูปต่ำจนถึงปานกลาง เพื่อไม่ให้เนื้อวัสดุถูกทำลายขณะทำการทดสอบและสอดคล้องกับสมมุติฐานการผิดรูปแบบสถิต (Static Test) และควรวิเคราะห์หาค่า Yield Strength และ Ultimate Strength ณ ตำแหน่งการผิดรูปก่อนเข้าสู่ช่วงการผิดรูปแบบพลาสติก ตลอดจนมีการกำหนดตำแหน่ง 0.2% off set ของการผิดรูปให้ชัดเจน

สรุปผลการวิจัย

การถ่ายภาพวิดีโอด้วยกล้องบนโทรศัพท์เคลื่อนที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์สำหรับการจัดการเรียนรู้ เรื่อง การผิดรูปของวัสดุได้ ทำให้ผู้เรียนสามารถเกิดการเรียนรู้ได้อย่างเป็นรูปธรรมที่ชัดเจนเหมาะสม ผลการศึกษาอิทธิพลของอัตราการผิดรูปที่เปลี่ยนแปลงช่วง 10–50 เซนติเมตรต่อหน้าที่ เมื่อความยาวเริ่มต้นของเส้นลวดคงตัวที่ 5 เซนติเมตร พบว่า (1) ระยะผิดรูป ณ จุดขาด และช่วงยืดหยุ่นสมบูรณ์ของเส้นลวด มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก (2) ค่าการทนแรงดึงมีแนวโน้มลดลงตามอัตราการผิดรูปที่เพิ่มขึ้น และ (3) ค่ายังมอดุลัสของเส้นลวดมีค่าลดลงอย่างชัดเจนเมื่ออัตราการผิดรูปเพิ่มขึ้น ส่วนกรณีศึกษาอิทธิพลของความยาวที่เปลี่ยนไปในช่วง 5–20 เซนติเมตร ที่อัตราการผิดรูปคงตัวที่ 50 เซนติเมตรต่อหน้าที่ พบว่า ระยะผิดรูป ณ จุดขาด ค่าการทนแรงดึง และช่วงยืดหยุ่นสมบูรณ์ของเส้นลวดมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นตามความยาวของเส้นลวด ในขณะที่ค่ายังมอดุลัสในช่วงยืดหยุ่นสมบูรณ์มีแนวโน้มคงตัว ความสัมพันธ์ที่แท้จริงของทั้งอัตราการผิดรูปและความยาวเริ่มต้นของเส้นลวดควรมีการศึกษาให้ละเอียดมากกว่านี้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่อุดหนุนงานวิจัยนี้ ตลอดจนความอนุเคราะห์การใช้เครื่องทดสอบภายใต้แรงดึงทางเดียว เพื่อเป็นเครื่องมือหลักในการศึกษาพฤติกรรมของเส้นลวด

เอกสารอ้างอิง

- นภารัตน์ จิวาลักษณ์, และวิไลพร ลักษมีวาณิชย์. (2565). การทดสอบภายใต้แรงดึงทางเดียวด้วยการติดตามภาพวิดีโอบนโทรศัพท์เคลื่อนที่: กรณีศึกษาการผิดรูปของเส้นด้ายกัญชง. *วารสารวิจัยและพัฒนา มจร.*, 45(2), 235–245.
- พรรัตน์ วัฒนสิริวิชญ์, และจิราภรณ์ ปุณยวัจน์พรกุล. (2555). การวิเคราะห์วิดีโอความเร็วสูงในกลศาสตร์. *วารสารวิทยาศาสตร์ มศว.*, 28(2), 211–232.
- สิรินภา กิจเกื้อกูล. (2565). *การจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ในศตวรรษที่ 21*. พิษณุโลก: มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- Boonrasri, S., Thipchai, P., Sae-Oui, P., Thanakkasaranee, S., Jantasakulwong, K., & Rachtanapun, P. (2023). Property Improvements of Silica-Filled Styrene Butadiene Rubber/Butadiene Rubber Blend Incorporated with Fatty-Acid-Containing Palm Oil. *Polymers*, 3429. <http://doi.org/10.3399/polym15163429>
- Chean, V., Robin, E., El Abdi, R., & Sangleboeuf, J.C. (2010) Study of the Mechanical Behavior of the Optical Fiber by a Mark-Tracking Method. *14th International Conference on Experimental Mechanics, EPJ Web of Conferences*, 6, 34002.

- Chean, V., Robin, E., El Abdi, R., Sangleboeuf, J.C., & Houizot, P. (2011). Use of the Mark-tracking Method for Optical Fiber Characterization. **Optics and Laser Technology**, 43(7), 1172–1178.
- Cross, R. (2004). Physics of Overarm Throwing. **American Journal of Physics**, 72(3), 305–312.
- Hu, J., Chen, W., Fan, P., Gao, J., Fang, G. Cao, Z., & Peng, F. (2017). Uniaxial Tensile Tests and Dynamics Mechanical Analysis of Satin Weave Reinforced Epoxy Shape Memory Polymer Composite. **Polymer Testing**, 64, 235–241.
- Instron. (2023). **Extensometers**. Retrieved 3 November 2023, from <https://www.instron.com/en/products/testing-accessories/extensometers>
- JoVE Science Education Database. (2023). **Structural Engineering**. Stress–Strain Characteristics of Steels. JoVE, Cambridge, MA. <https://www.jove.com/t/10361>
- Ridwan, R., Prabowo, A.E., Muhayat, N., Putranto, T., & Sohn, J.M. (2020). Tensile Analysis and Assessment of Carbon and Alloy Steels using FE Approach as an Idealization of Material Fractures under Collision and Grounding. **Curved and Layered Structures**, 7(1), 188–198.
- Shan, Y., Cui, H., Zhang, H., & Liu, H. (2022). Deformation Behavior of Rubber Composite Based on FEA and Experimental Verification. **Science and Engineering of Composite Materials**, 29(1), 194–205.
- Sombatsompop, N., Thongsang, S., Markpin, T., & Wimolmala, E. (2004). Fly Ash Particles and Precipitated Silica as Filler in Rubber. I. Untreated Fillers in Natural Rubber and Styrene–Butadiene Rubber Compounds. **Journal of Applied Polymer Science**, 93(5), 2119–2130.
- Stoop, J. (2017). **New Ways to Use Smartphones for Science**. Retrieved March, 3, 2023, from <https://www.elsevier.com/connect/new-ways-to-use-smartphones-for-science>
- Vahapoglu, V., Karadeniz, S., & Yazici, I. (2011). Uniaxial Tensile Testing of Rubber–Like Materials, **Experimental Techniques**, 35(1), 17–23.
- Yue, S., & Katabi, D. (2021). Liquid Testing with Your Smartphone. **Communications of the ACM.**, 64(10), 75–83.
- Zamil, M.S., Yi, H., & Puri, V.M. (2014), Mechanical Characterization of Outer Epidermal Middle Lamella of Onion under Tensile Loading. **American Journal of Botany**, 101, 778–787.
- Zwickroell. (2023). **Extensometers**. Retrieved 3 November 2023, from <https://www.zwickroell.com/company/Extensometers>