

ชุดทดลองสำหรับศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผ่านการเลี้ยวเบนของแสง

Experimental Set for Studying Mechanical Property of Polymer Through Light Diffraction

จิราพร อ่อนภักดี¹ และ เขมรุตัย งามะพัฒน์²

Jiraporn Oonphukdee¹ and Kheamrutai Thamaphat²

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

Department of Physics, Faculty of Science, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Thailand

E-mail: ¹0807ninjiraporn@gmail.com; ²kheamruthai.tha@kmutt.ac.th

Received May 19, 2023; Revised August 26, 2023; Accepted August 30, 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างชุดทดลองสำหรับตรวจสอบสมบัติเชิงกลของถุงพลาสติกผ่านการทดลองการเลี้ยวเบนของแสง โดยนำตัวอย่างถุงพลาสติกมาตัดให้มีขนาด 15 ซม. × 2.5 ซม. ตามวิธีการทดสอบมาตรฐาน ASTM D882 หลังจากนั้นจึงทำการยืดถุงพลาสติกด้วยน้ำหนักที่มีขนาดต่าง ๆ ซึ่งถูกกำหนดให้เป็นแรงดึง ระหว่างที่ถุงพลาสติกถูกยืดออกที่น้ำหนักค่าต่าง ๆ จะทำการบันทึกความยาวที่เปลี่ยนแปลงไปของถุงด้วยกล้องวิดีโอ ขณะเดียวกันก็ทำการถ่ายภาพรูปแบบการเลี้ยวเบนของแสงเลเซอร์ที่มีความยาวคลื่น 532 นาโนเมตร ผ่านถุงพลาสติกที่ถูกยืดออก หลังจากนั้นจะใช้โปรแกรมแทรคเกอร์ เพื่อนำข้อมูลไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดที่ได้จากการทดสอบแรงดึง ซึ่งสามารถนำไปใช้คำนวณหาค่ายังโมดูลัสของวัสดุตัวอย่างได้ โดยรูปแบบการเลี้ยวเบนของแสงจะสังเกตเห็นได้หลังจากเกิดพิสัยการเปลี่ยนรูปแบบยืดหยุ่นหรือแบบคิ่นรูป เนื่องจากแรงดึงจะทำให้เกิดช่องว่างเล็ก ๆ หรือสลิตในแผ่นถุงพลาสติก ชุดการทดลองที่นำเสนอในงานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอนในวิชาฟิสิกส์ เรื่อง การเลี้ยวเบนของแสงและสมบัติเชิงกลของวัสดุได้

คำสำคัญ: สมบัติเชิงกล; การเลี้ยวเบนของแสง; พอลิเมอร์; ชุดการทดลอง

Abstract

This research aims to design and construct an experimental set for investigating the mechanical property of a plastic bag via diffraction experiment. The plastic bag sample was cut into 15 cm × 2.5 cm following the standard test method ASTM D882, and then stretched with various weights providing

a tensile force. During stretching, the changing length of a plastic sample at any weight was real-time recorded using a VDO camera and the diffraction patterns of light with a wavelength of 532 nm through stretched plastic bag was taken simultaneously. The tensile stress-strain curve obtained using the Tracker software could be used to calculate the Young's modulus of sample, whereas the diffraction patterns could be observed after ending elastic region due to forming empty space or slits in plastic resulting from tensile forces. The experimental set proposed herein could be used for demonstration of the diffraction of light and mechanical property of material in physics teaching.

Keywords: Mechanical Property; Diffraction of Light; Polymer; Experimental Set

บทนำ

ในทางอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีการผลิตต่าง ๆ สมบัติเชิงกลมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง เพราะเมื่อเราจะเลือกวัสดุใด ๆ ก็ตามมาใช้ สิ่งแรกที่จะนำมาพิจารณาก็คือสมบัติเชิงกลของวัสดุนั้น ๆ สมบัติเชิงกลของวัสดุอาจหมายถึง สมบัติที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนรูปร่างของวัสดุ เมื่อถูกแรงภายนอกมากระทำ (ปริม ประภา, 2562) สมบัติทางกลมีความสำคัญต่อการนำผลิตภัณฑ์ไปใช้งานภายใต้สภาวะการรับแรงในรูปแบบต่าง ๆ เช่น แรงดึง แรงกระแทก หรือแรงที่มากระทำซ้ำ ๆ เป็นต้น ผลการทดสอบสมบัติทางกลจึงใช้ในการควบคุมคุณภาพ การเปรียบเทียบ การเลือกใช้วัสดุ การคำนวณออกแบบ การทำนายประสิทธิภาพในการใช้งานจริง และเป็นข้อมูลสำหรับการวิจัยและพัฒนา อุตสาหกรรมที่ใช้เทคนิคนี้ ได้แก่ สิ่งทอและเครื่องนุ่งห่ม เซรามิค วัสดุก่อสร้าง ยานยนต์ อิเล็กทรอนิกส์ พลาสติก โลหะ ผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ เกษตร และอาหาร (ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2561)

การหาสมบัติเชิงกลนิยมใช้วิธีทดสอบแรงดึง โดยการนำตัวอย่างที่จะทดสอบมาดึงอย่างช้า ๆ ขนาดและชิ้นทดสอบมีต่าง ๆ กัน ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุนั้น ๆ ตามมาตรฐานต่าง ๆ ของการทดสอบ เช่น มาตรฐาน ASTM (American Society of Testing and Materials), BS (British Standards), JIS (Japanese Industrial Standards) หรือ มอก. (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม) ได้กำหนดขนาดและรูปร่างของชิ้นทดสอบไว้ ซึ่งอาจแตกต่างกันบ้างระหว่างมาตรฐานแต่ละฉบับ (ชัชพงษ์, 2020)

พอลิเมอร์ เป็นสารประกอบโมเลกุลใหญ่ที่ประกอบขึ้นจาก “มอนอเมอร์” (Monomer) หรือหน่วยเล็ก ๆ ของสารจำนวนหลายพันหลายหมื่นหน่วยที่มีลักษณะซ้ำ ๆ กันเชื่อมต่อกันอยู่ในโมเลกุลด้วยพันธะโคเวเลนต์ (Covalent Bond) โดยมอนอเมอร์แต่ละชนิดจะเชื่อมต่อกันเป็นสารขนาดใหญ่ได้ ต้องผ่านกระบวนการสร้างสารหรือปฏิกิริยาที่เรียกว่า Polymerization ภายใต้สภาวะแวดล้อมและปัจจัยต่าง ๆ เช่น ตัวเร่งการเกิดปฏิกิริยา อุณหภูมิ และความดัน เป็นต้น (NGThai, 2020) เมื่อมีแรงมากระทำโครงสร้างภายในของพอลิเมอร์จะเกิดการกระจายตัวไปตามทิศทางการกระทำของแรงนั้นจนกระทั่งเกิดการขาดหรือแตกหัก (Kerstin et al., 2016) เมื่อนำพลาสติกซึ่งเป็นพอลิเมอร์ชนิดหนึ่งมายืดออกในแนวเดียวจะเกิด

ช่องว่างภายในพลาสติกนั้นและสามารถทำหน้าที่เป็นเกรตติงเพื่อศึกษาการเลี้ยวเบนของแสงได้ (Mahardika et al., 2019)

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าวิธีการศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์หรือชุดทดลองที่ถูกพัฒนาขึ้นในบางงานวิจัยมีขั้นตอนการใช้งานที่ซับซ้อนและการเครื่องทดสอบสมบัติเชิงกลมีราคาสูงและหายาก ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะออกแบบและสร้างชุดทดลองสำหรับศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ โดยบูรณาการกับการเลี้ยวเบนของแสง โดยเลือกใช้วัสดุที่หาง่าย น้ำหนักเบาและราคาถูกรวมถึงการใช้งานร่วมกับโปรแกรมวิเคราะห์วิดีโอเทรคเกอร์และ imagej เพื่อให้ชุดทดลองที่สร้างขึ้นใช้งานได้ง่ายและแม่นยำมากยิ่งขึ้นโดยเทียบกับค่ามาตรฐานเพื่อแสดงให้เห็นว่าชุดทดลองสามารถศึกษาสมบัติเชิงกลผ่านการเลี้ยวเบนของแสงได้ถูกต้องและใช้งานได้จริง

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาการเลี้ยวเบนของแสงผ่านเกรตติงพอลิเมอร์ชนิดต่าง ๆ ที่ถูกเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงกล
2. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์และรูปแบบการเลี้ยวเบนของแสง

การทบทวนวรรณกรรม

สมบัติเชิงกล (mechanical properties) คือสมบัติที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับพฤติกรรมของวัสดุภายใต้แรงกระทำ สมบัติเหล่านี้ปกติจะอธิบายด้วยเทอมที่เกี่ยวข้องกับแรงเค้นหรือความเครียดหรือทั้งสองเทอม การทดสอบแรงดึงเป็นการทดสอบพื้นฐานที่สุดอย่างหนึ่งที่ใช้ในการทดสอบสมบัติของวัสดุต่าง ๆ ปกติการทดสอบ วิธีการทดสอบจะใช้เครื่องมือทดสอบที่ เรียกว่า Tensile tester, Tensile testing machine หรือ Universal testing machine สำหรับภาษาไทยเรียกว่า เครื่องทดสอบแรงดึง หรือ เครื่องทดสอบแรงดึงวัสดุแบบอเนกประสงค์ ที่สามารถทดสอบแรงดึงได้อย่างแม่นยำ

ในงานวิจัยนี้จะดำเนินการออกแบบและสร้างชุดทดลองสำหรับศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์โดยใช้หลักการการเลี้ยวเบนของแสง จากการศึกษพบว่าผู้วิจัยได้นำเสนอวิธีการศึกษาสมบัติเชิงกลและการสร้างเครื่องทดสอบสมบัติเชิงกล ดังนี้

Erlend ได้นำเสนอเครื่องมืออย่างง่ายสำหรับการวัดคุณสมบัติเชิงกลของของแข็ง เสาค้ำสองข้างทำจากอะลูมิเนียม โดยออกแบบยึดปลายตัวจับชิ้นงานด้านล่างให้ติดกับที่สำหรับแขวนมวลกับสเกลวัดและการวัดการยืดของวัสดุโดยใช้ Dial gauge วัสดุที่ใช้ในการทดสอบจะเป็นพลาสติกและยาง และเมื่อสร้างกราฟระหว่างความเค้นและความเครียดได้ค่า $R^2 = 0.998$ สามารถหาโมดูลัสของยังได้จากความชันกราฟ (Erlend, 2011)

เดชา และคณะ ได้พัฒนาเครื่องทดสอบแรงดึงขนาด 50,000 นิวตัน สำหรับพลาสติกที่มีความต้านทานแรงดึงไม่เกิน 100 MPa โครงสร้างโดยทั่วไปทำจากเหล็กเหนียว (Mild steel) และระบบชุดส่งกำลัง

ซึ่งประกอบด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าที่สามารถปรับความเร็วรอบได้ด้วยอินเวอร์เตอร์ (Inverter) ในการขับเคลื่อนบอลสกรูแบบเสาคู่ (Twin Bar Ball Screw) ในการวัดแรงดึงใช้โหลดเซลล์ (Load Cell) ขนาด 50 kN ที่เชื่อมสัญญาณไปยังคอมพิวเตอร์ เพื่อประมวลผลหาค่าสมบัติเชิงกล พลาสติกที่นำมาทดสอบคือ โพลีเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (Low Density Polyethylene) โพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene) โพลีโพรพิลีน (Polypropylene ;PP) โพลีเอไมด์ (Polyamide ; PA) โดยผลการทดลองซึ่งเทียบกับเครื่องทดสอบมาตรฐานเป็นเครื่องทดสอบแรงดึงของ Lloyd Universal Testing รุ่น LR 50 kN มีค่าใกล้เคียงกันและมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยน้อยกว่า 10 % (Dacha et al., 2012)

นอกจากนี้ Mahardika และคณะ ได้สร้างเกรตติงศึกษาการเลี้ยวเบนของแสงจากถุงพลาสติกโดยยึดถุงพลาสติกจากการแขวนมวลต่าง ๆ แรงดึงทำให้เกิดช่องว่างหรือรอยกรีดคล้าย ๆ กับเกรตติงที่สร้างขึ้นเอง จากการทดลองจะเกิดการเลี้ยวเบนของแสงเมื่อช่องของเกรตติงมีความสอดคล้องกับความยาวคลื่นแสงนั้น ขนาดของแรงส่งผลต่อระยะห่างของเกรตติงที่สร้างขึ้น เมื่อแรงมากขึ้นก็จะส่งผลให้ระยะห่างของเกรตติงเพิ่มมากขึ้นด้วย จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าสามารถสร้างเกรตติงจากถุงพลาสติกได้ (Mahardika et al., 2019)

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าวิธีการศึกษาสมบัติเชิงกลหรือชุดทดลองที่ถูกพัฒนาขึ้นในบางงานวิจัยมีการใช้วัสดุอุปกรณ์ราคาสูงและหาได้ยากโดยทั่วไป ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะออกแบบและสร้างชุดทดลองสำหรับศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์โดยใช้หลักการการเลี้ยวเบนของแสง

กรอบแนวคิดการวิจัย

จากการศึกษาพลาสติกซึ่งเป็นพอลิเมอร์ชนิดหนึ่ง โดยสมบัติหลักของพลาสติกคือ อยู่สถานะของแข็งและสามารถหลอมละลายได้ และสามารถควบคุมรูปทรงด้วยความร้อน และแรงดัน โดยโครงสร้างของพอลิเมอร์ที่เกิดขึ้นในธรรมชาติและที่สังเคราะห์ขึ้นแบ่งเป็น 3 แบบ ดังนี้ โครงสร้างแบบเส้น (Linear Polymer) โครงสร้างแบบกิ่ง (Branched Polymer) และพอลิเมอร์แบบร่างแห (Network Polymer) และเมื่อนำพอลิเมอร์มาทดสอบสมบัติเชิงกล โดยการวัดและรายงานผลของสมบัติเชิงกลเหล่านี้ได้ ดังนี้

1. ความเค้น (stress) หมายถึง แรงต้านทานภายในเนื้อวัสดุที่มีต่อแรงภายนอกที่มากระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ แต่เนื่องจากความไม่เหมาะสมทางปฏิบัติ และความยากในการวัดหาค่านี้ จึงหมายถึงความเค้นในรูปของแรงภายนอกที่มากระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ด้วยเหตุผลที่ว่า แรงกระทำภายนอกมีความสอดคล้องกับแรงต้านทานภายใน หาได้จากสมการ

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1)$$

เมื่อ σ = ความเค้น (N/m²)
 F = แรงกระทำ (N)
 A = พื้นที่ที่ได้รับแรงกระทำ (m²)

2. ความเครียด (Strain) หมายถึง การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุ (Deformation) เมื่อมีแรงภายนอกมากระทำ การเปลี่ยนรูปของวัสดุนี้เป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ภายในเนื้อวัสดุ หาได้จากสมการ

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (2)$$

เมื่อ ϵ = ความเค้น

ΔL = ผลต่างความยาวของชิ้นทดสอบ

L_0 = (ความยาวเริ่มต้นของชิ้นทดสอบ)

เมื่อสร้างกราฟระหว่างความเค้นและความเครียด จะสามารถคำนวณหาค่า โมดูลัสของยัง (Young's modulus) ได้จากความชันกราฟในช่วงแรกๆ ที่ความเค้นมีความสัมพันธ์เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเครียดตาม กฎของฮุค (Hooke's law) และรูปแบบของกราฟในแต่ละช่วงจะแสดงโครงสร้างพื้นฐานที่เปลี่ยนแปลงขณะดึง เมื่อใช้แสงส่องผ่านพลาสติกที่ถูกเปลี่ยนสมบัติเชิงกลแล้วจะเกิดการเลี้ยวเบนของแสง เมื่อช่องของพลาสติกมีความสอดคล้องกับความยาวคลื่นแสงนั้น พอลิเมอร์ที่ใช้ในการทดลองคือพลาสติกชนิดโพลิโพรพิลีน (Polypropylene, PP) และสามารถใช้สมบัติทางแสงเพื่อคำนวณหาขนาดของช่องว่างในพลาสติกได้จากสมการ

$$d \sin \theta_n = n \lambda \quad (3)$$

เมื่อ d = ระยะห่างระหว่างช่องของเกรตติง (m)

θ_n = มุมที่เบี่ยงเบนไปจากแนวปกติ

n = แถบสว่างที่ n ($n = 1, 2, 3, 4, \dots$)

λ = ความยาวคลื่น (m)

นอกจากนี้สามารถศึกษาการเลี้ยวเบนของแสงเพื่อย้อนกลับไปบอกสมบัติเชิงกลของพลาสติกในแต่ละช่วงของกราฟความเค้นและความเครียดได้

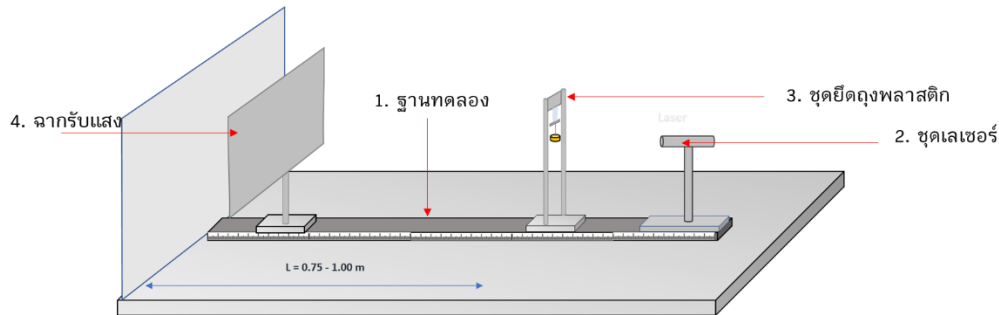
ระเบียบวิธีวิจัย

ในการดำเนินการวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ออกแบบและสร้างชุดทดลองสำหรับศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์โดยใช้หลักการการเลี้ยวเบนของแสง ผู้วิจัยได้แบ่งการดำเนินงานวิจัยออกเป็นห้าส่วนสำคัญได้แก่

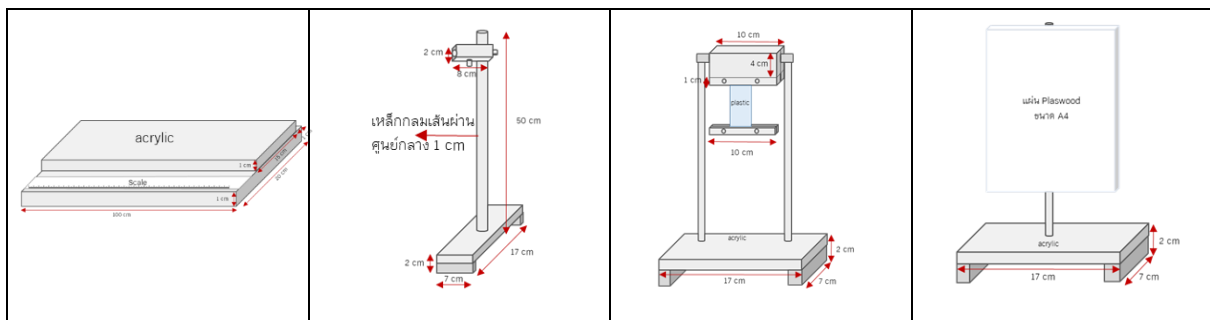
1) ออกแบบและสร้างชุดทดลองศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผ่านการเลี้ยวเบนของแสง

ผู้วิจัยดำเนินการออกแบบชุดทดลองสำหรับศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ ดังภาพที่ 1(ก) โดยชุดทดลองประกอบด้วย 4 ส่วน ดังนี้ 1) ฐานทดลองทำจากอะคริลิกใสใช้ในการวางองค์ประกอบในชุดทดลองอื่น ๆ โดยจะมีสเกลขนาด 1 เมตร ติดไว้ที่ฐาน 2) ชุดยึดถุงพลาสติก ฐานเป็นอะคริลิกใส ประกอบกับเสา 2 ข้าง เป็นเสาเหล็กทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร สูง 50 เซนติเมตร ยึดติดกันด้วยแผ่นอะคริลิกซึ่งทำหน้าที่เป็นที่ยึดจับพลาสติกด้านบน สำหรับตัวจับยึดวัสดุด้านล่างจะมีที่สำหรับตะขอ

แขวนมวลและมีแถบสีขนาดกว้าง 0.055 เซนติเมตรติดไว้ที่ตัวยึดจับพลาสติกด้านล่าง เพื่อเป็นตำแหน่งให้โปรแกรม Tracker จับขณะทำการหาระยะยึด 3) ชุดวางเลเซอร์ ฐานเป็นอะคริลิกใส ประกอบกับเสา 1 เสา ตรงกลางฐาน และใช้เลเซอร์ความยาวคลื่น 532 นาโนเมตร และ 4) ฉากรับแสง ฐานเป็นอะคริลิกใส ประกอบกับเสา 1 เสา ตรงกลางฐาน และใช้แผ่นพลาสติกขนาดกระดาษ A4 เป็นฉากรับแสง ส่วนพลาสติกที่ใช้ในการทดสอบ ขนาด 15 × 2.5 เซนติเมตร ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D882



(ก)



(ข)

(ค)

(ง)

(จ)

ภาพที่ 1 การออกแบบ (ก) ชุดทดลองสำหรับศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ (ข) ฐานทดลอง

(ค) ชุดเลเซอร์ (ง) ชุดยึดถุงพลาสติก (จ) ฉากรับแสง

ติดตั้งชุดทดลองโดยใช้โทรศัพท์หรือกล้องถ่ายวิดีโอเพื่อนำไปใช้ในโปรแกรมวิเคราะห์วิดีโอแทรคเกอร์ในการหาระยะยึดเพื่อนำไปวิเคราะห์สร้างกราฟความเค้นและความเครียด

2) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์และรูปแบบการเลี้ยวเบนของแสง

นำชุดทดลองที่สร้างขึ้นมาทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์และรูปแบบการเลี้ยวเบนของแสง โดยขณะทำการทดลองเมื่อเพิ่มมวลในแต่ละครั้งจะทำการศึกษารูปแบบการเลี้ยวเบนของแสงและบันทึก y_n หรือระยะห่างระหว่างแถบสว่างกลางถึงแถบสว่างที่ n เป็นเวลา 1 นาที ก่อนที่จะเพิ่มมวลถัดไป ทำการเพิ่มมวลจนกระทั่งพลาสติกขาด

2.1 ศึกษาสมบัติเชิงกลของพลาสติก

เมื่อทดลองยึดวัสดุแล้วและบันทึกวิดีโอในรูปแบบไฟล์ mp4. แล้ว นำไปหาระยะยึดเพื่อศึกษาสมบัติเชิงกลโดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์วิดีโอแทรคเกอร์ เวอร์ชัน 6.1.2 เพื่อนำไปสร้างกราฟระหว่างความเค้นและความเครียด และศึกษาสมบัติต่าง ๆ ของพลาสติกจากกราฟ โดยใช้ค่าความเค้นเป็นแกนตั้ง (Ordinate)

และค่าความเครียดเป็นแกนนอน (Abscissa) ก็จะได้ Curve ที่เรียกว่ากราฟการทดสอบแรงดึง (Tensile Test Diagram)

นอกจากนี้แล้วเราสามารถหาค่าโมดูลัสของยังจากกราฟในช่วงแรกเมื่อความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดจะเป็นไปตามกฎของ ฮุก(Hooke's law) เป็นค่าที่แสดงความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุ หรือความสามารถในการโค้งงอ ถ้ามีค่าต่ำแสดงว่า โค้งงอได้ดี แต่หากมีค่าสูงจะโค้งงอได้ยาก และนอกจากนี้สามารถหาค่าโมดูลัสของยังที่ได้จากการทดสอบพลาสติก เพื่อจากชุดทดลองที่สร้างขึ้นเทียบเป็นค่าที่ได้จากการทดสอบโดยใช้เครื่องมือมาตรฐาน Universal Testing Machine (UTM)

2.2 ศึกษาการเลี้ยวเบนของแสงผ่านเกรตติงที่สร้างจากพลาสติก

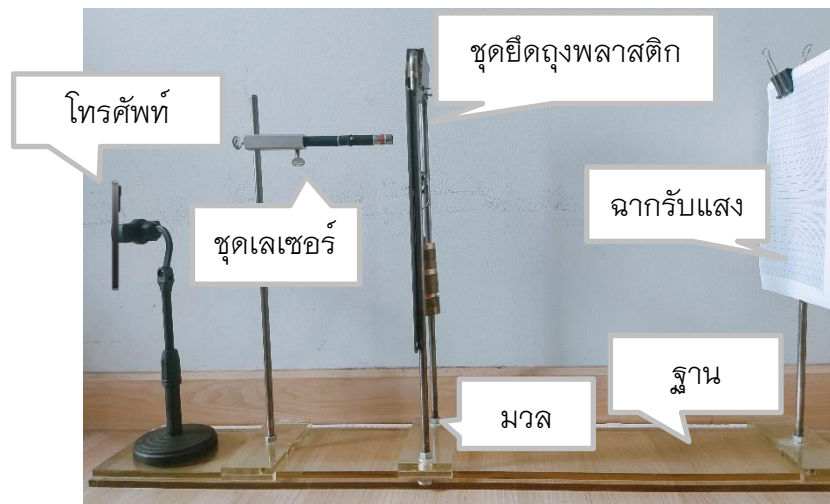
เมื่อมีแรงมากระทำกับพลาสติก ทำให้เกิดช่องว่างในพลาสติกขึ้น พลาสติกจึงทำหน้าที่เป็นเกรตติง เพื่อศึกษาการเลี้ยวเบนของแสง โดยจากการทดลองได้บันทึกค่า y_n หรือระยะห่างระหว่างแถบสว่างกลางถึงแถบสว่างที่ n ต่าง ๆ แล้วนำมาสร้างกราฟระหว่าง ระยะห่างระหว่างแถบสว่างที่ n ต่าง ๆ เป็นแกนตั้ง (Ordinate) กับ ลำดับแถบสว่าง เป็นแกนนอน(Abscissa) เพื่อใช้ความชันกราฟในการคำนวณหาขนาดช่องว่างในเกรตติงที่สร้างจากพลาสติก โดยสามารถตรวจสอบความถูกต้องด้วยการนำพลาสติกนั้นไปหาขนาดของช่องว่างที่เกิดขึ้นโดยใช้กล้องจุลทรรศน์

2.3 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์และการเลี้ยวเบนของแสงผ่านเกรตติงที่สร้างจากพลาสติก

เปรียบเทียบรูปแบบการเลี้ยวเบนของแสงกับช่วงต่างๆ ในกราฟระหว่างความเค้นและความเครียด สามารถศึกษารูปแบบการเลี้ยวเบนของแสงเพื่อบอกสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ในช่วงต่างๆ แทนการทดสอบสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์

ผลการวิจัย

วัตถุประสงค์ที่ 1. เพื่อศึกษาการเลี้ยวเบนของแสงผ่านเกรตติงพอลิเมอร์ชนิดต่าง ๆ ที่ถูกเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงกล พบว่า ชุดทดลองที่สร้างขึ้นประกอบด้วย ฐานอะคริลิก เลเซอร์พร้อมชุดจับยึดชุดยึดถุงพลาสติก ฉากรับแสง และอุปกรณ์ในการบันทึกวิดีโอ ดังภาพที่ 2

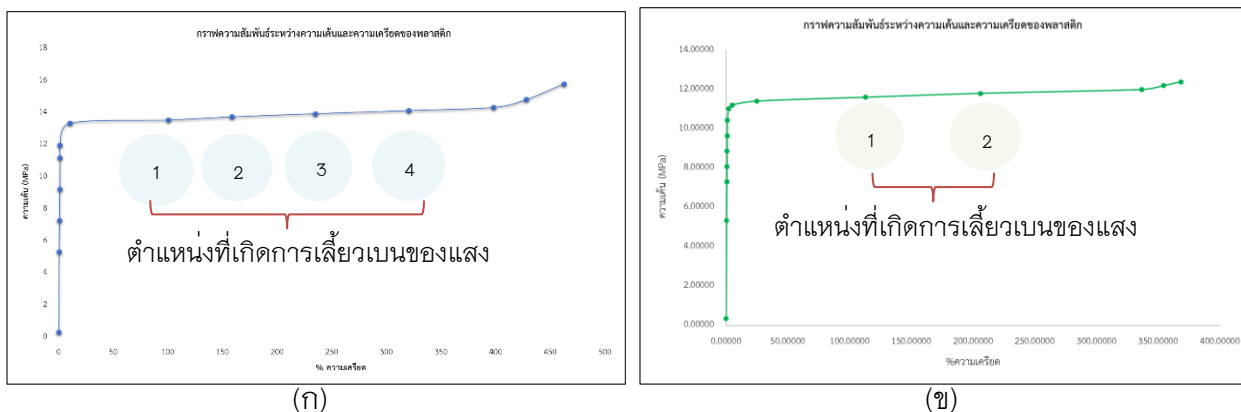


ภาพที่ 2 การติดตั้งชุดทดลองศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผ่านการเลี้ยวเบนของแสง

การหาระยะยี่ดจากการทดสอบแรงดึงและหาระยะยี่ดสามารถทำได้โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์วิดีโอ แทรคเกอร์ เพื่อนำไปศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์

วัตถุประสงค์ที่ 2. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์และรูปแบบการเลี้ยวเบนของแสง

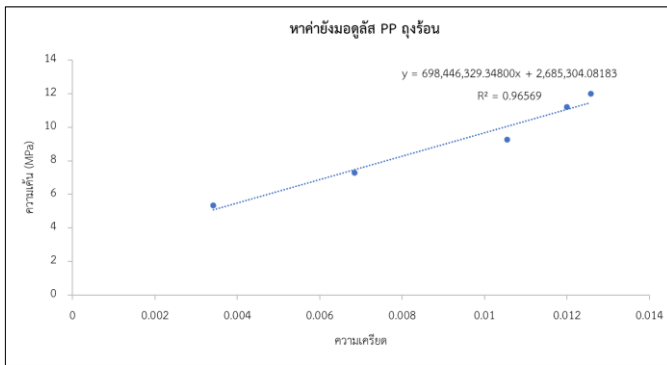
ศึกษาสมบัติเชิงกลของพลาสติกชนิดโพลิโพรพิลีน (Polypropylene, PP) ชนิดถุงร้อน และถุงหิ้วใส่ และสามารถเขียนกราฟระหว่างความเค้นและความเครียดได้ดังแสดงในภาพที่ 3



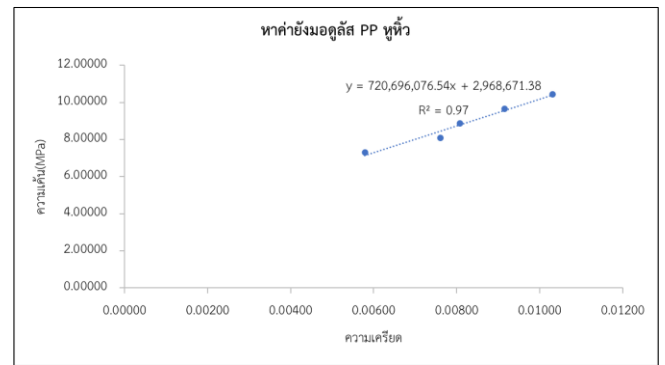
ภาพที่ 3 เส้นกราฟการทดสอบแรงดึงของพลาสติกชนิดโพลิโพรพิลีน (Polypropylene, PP)

(ก) ชนิดถุงร้อน (ข) ชนิดถุงหิ้วใส่

นอกจากกราฟการทดสอบแรงดึง แล้วสามารถหาค่าโมดูลัสของยังจากความชันกราฟในช่วงแรก เมื่อความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดจะเป็นไปตามกฎของ ฮุก(Hooke's law) ได้ดังภาพที่ 4



(ก)



(ข)

ภาพที่ 4 เส้นกราฟเพื่อหาค่าโมดูลัสของยังของพลาสติกชนิดโพลิโพรพิลีน (Polypropylene, PP)

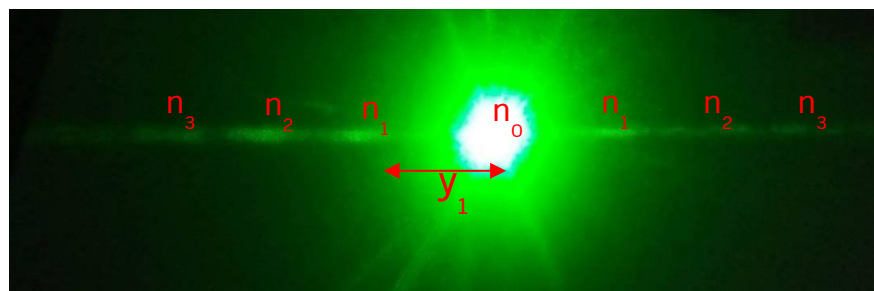
(ก) ชนิดถึงร้อน (ข) ชนิดถึงหั่ว

นอกจากนี้สามารถนำค่าโมดูลัสของยังที่ได้จากการทดสอบพลาสติกเพื่อจากชุดทดลองที่สร้างขึ้น เทียบเป็นค่าที่ได้จากการทดสอบโดยใช้เครื่องมือมาตรฐาน Universal Testing Machine (UTM) ซึ่งเป็นค่าอ้างอิงในการเปรียบเทียบดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการทดลองหาค่าโมดูลัสของยังจากพลาสติกโพลิโพรพิลีน (Polypropylene, PP)

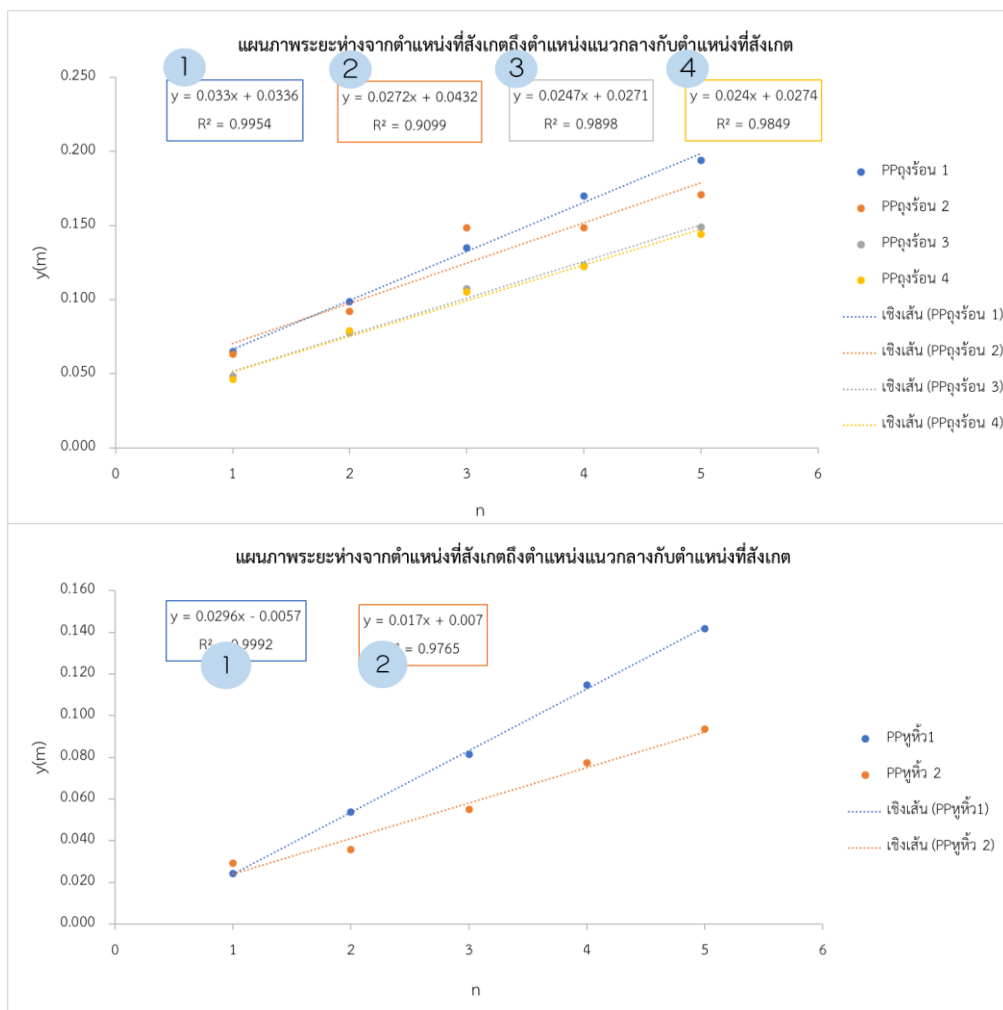
พลาสติกโพลิโพรพิลีน (Polypropylene, PP)	ค่าอ้างอิง (MPa)	ค่าที่ได้จากการทดลอง (MPa)	ความผิดพลาดสัมพัทธ์ (%error)
ถึงร้อน	742.17220	698.44633 ± 18.75972	5.89161
ถึงหั่ว	740.74590	720.69608 ± 6.29254	2.70671

ศึกษาการเลี้ยวเบนของแสงผ่านเกรตติงที่สร้างจากพลาสติก จากภาพที่ 3(ก) เกิดการเลี้ยวเบนของแสง 4 ตำแหน่ง และในภาพที่ 3(ข) เกิดการเลี้ยวเบนของแสง 2 ตำแหน่ง ดังแสดงตัวอย่างในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ตัวอย่างรูปแบบการเลี้ยวเบนของแสงผ่าน PP ถึงร้อน

สร้างกราฟระหว่าง ระยะห่างระหว่างแถบสว่างที่ที่ n ต่าง ๆ เป็นแกนตั้ง (Ordinate) กับ ลำดับแถบสว่าง เป็นแกนนอน (Abcissa) ดังแสดงในภาพที่ 6



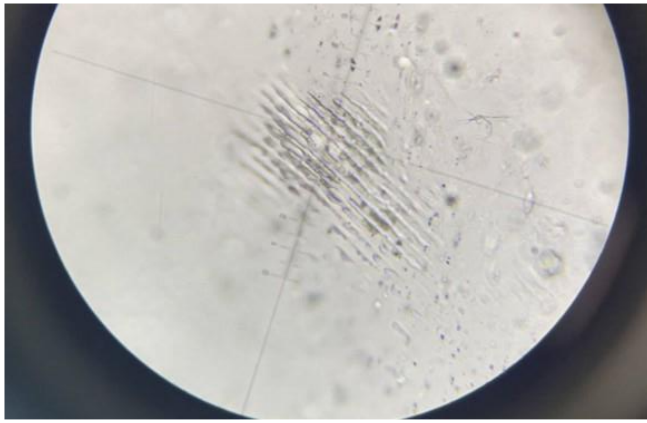
ภาพที่ 6 กราฟระหว่างระยะห่างระหว่างแถบสว่างที่ที่ n ต่าง ๆ กับลำดับแถบสว่างของพลาสติก

ชนิดโพลิโพรพิลีน (Polypropylene, PP) (ก) ชนิดถูร้อน (ข) ชนิดถูหัวใส

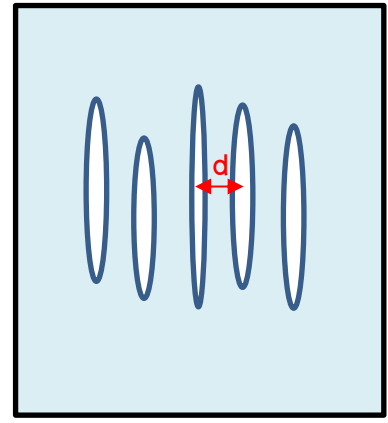
ใช้ความชันกราฟในการคำนวณหาขนาดช่องว่างในเกรตติงที่สร้างจากพลาสติก จากสมการ

$$d = \frac{L\lambda}{\text{slope}} \quad (4)$$

เมื่อแทนค่าความชันกราฟเส้นตรงที่ได้จากการทดลอง ค่าระยะห่างระหว่างเกรตติงกับฉากรับแสง และความยาวคลื่นลงในสมการที่ (4) จะได้ค่าระยะห่างช่องว่างของเกรตติงที่สร้างขึ้น สามารถตรวจสอบความถูกต้องได้จากการนำตรวจสอบโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ในการวัดระยะห่างช่องว่างของเกรตติง ดังตัวอย่างในภาพที่ 7



(ก)



(ข)

ภาพที่ 7 (ก) ภาพจากกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 400 เท่า

(ข) ภาพแสดงตัวอย่างการวัดระยะห่างของว่างของเกรตติงจากพลาสติกที่สร้างขึ้น

เมื่อตรวจสอบความถูกต้องด้วยการนำพลาสติกนั้นไปหาขนาดของช่องว่างที่เกิดขึ้นโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการทดลองหาระยะห่างช่องว่างของเกรตติงจากพลาสติกโพลีโพรพิลีน (Polypropylene, PP)

พลาสติก	ตำแหน่งที่เกิดการเลี้ยวเบนของแสง	ค่าอ้างอิง (μm)	ค่าที่ได้จากการทดลอง (μm)	ความผิดพลาดสัมพัทธ์ (%error)
ถุงร้อน	1	13.103	12.1 ± 0.058	7.655
	2	14.840	14.7 ± 0.062	0.943
	3	16.000	16.2 ± 0.173	1.250
	4	18.237	16.6 ± 0.192	8.976
ถุงใส่หูหิ้ว	1	12.870	13.5 ± 0.155	4.740
	2	23.048	23.5 ± 0.731	1.831

อภิปรายผลการวิจัย

ผลจากการวิจัยวัตถุประสงค์ที่ 1 จากการออกแบบและสร้างชุดทดลองศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผ่านการเลี้ยวเบนของแสง หาระยะยี่ดโดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์วิถีโอแทรกเตอร์ เมื่อนำชุดทดลองที่สร้างขึ้นไปศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติเชิงกลและการเลี้ยวเบนของแสง พบว่าสร้างกราฟระหว่างความเค้นและความเครียดจะได้และกราฟแสดงสมบัติเชิงกลของวัสดุและสามารถหาค่าโมดูลัสของยังได้ โดยพลาสติกโพลีโพรพิลีน (Polypropylene, PP) ชนิดถุงร้อนและชนิดถุงหูหิ้ว มีความผิดพลาดสัมพัทธ์ 5.89161 และ 2.70671 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเทียบกับค่าที่ได้จากการทดสอบเครื่องมาตรฐาน

ผลจากการวิจัยวัตถุประสงค์ที่ 2 เมื่อได้กราฟระหว่างความเค้นและความเครียด และศึกษารูปแบบการเลี้ยวเบนของแสงผ่านเกรตติงที่สร้างจากพลาสติก โดยทดสอบหาระยะห่างระหว่างช่องว่างของพลาสติก จากสมการที่ (4) พลาสติกโพลีโพรพิลีน (Polypropylene, PP) ชนิดถูกร้อน หาระยะห่างระหว่างเกรตติงได้ 4 ตำแหน่ง มีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมพัทธ์ 7.655, 0.943, 1.250 และ 8.976 ตามลำดับ และชนิดถุงหิ้วใส มีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมพัทธ์ 4.740 และ 1.831 ตามลำดับ เทียบกับค่าที่ได้จากการวัดผ่านกล้องจุลทรรศน์จากการถ่ายภาพและโดยใช้โปรแกรม ImageJ ในการวัดระยะช่องว่างของเกรตติงเพื่อให้มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น

เมื่อเพิ่มแรงกระทำมากขึ้นระยะห่างระหว่างช่องของเกรตติงจะเพิ่มมากขึ้นด้วย จากการทดลองพลาสติกโพลีโพรพิลีน (Polypropylene, PP) ชนิดถูกร้อน หาระยะห่างระหว่างช่องว่างได้ 12.1 ± 0.058 , 14.7 ± 0.062 , 16.2 ± 0.173 และ 16.6 ± 0.192 นาโนเมตร ตามลำดับ ชนิดถุงหิ้วใส 13.5 ± 0.155 และ 23.5 ± 0.731 นาโนเมตร ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยกับงานวิจัยที่ผ่านมาที่แสดงให้เห็นว่าสามารถสร้างเกรตติงได้จากถุงพลาสติก (Mahardika et al., 2019)

จากการทดลองพบว่าสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์กับรูปแบบการเลี้ยวเบนของแสงที่เกิดขึ้น โดยจะเกิดการเลี้ยวเบนของแสงขึ้นในกราฟความเค้น-ความเครียดของพอลิเมอร์ในช่วงการเปลี่ยนรูปแบบพลาสติก (plastic) และ สามารถหาค่าโมดูลัสของยังในช่วงการเปลี่ยนรูปร่างแบบชั่วคราวหรือแบบยืดหยุ่น (elastic)

องค์ความรู้ใหม่จากการวิจัย

จากการวิจัยพบว่าสามารถสร้างชุดทดลองสำหรับศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผ่านการเลี้ยวเบนของแสงได้ ซึ่งทำมาจากวัสดุที่มีราคาถูกและหาได้ง่ายตามท้องตลาด โดยอาศัยการบูรณาการความรู้ทางฟิสิกส์ เรื่องสมบัติเชิงกลและการเลี้ยวเบนของแสง นอกจากนี้สามารถใช้รูปแบบการเลี้ยวเบนบอกถึงสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ได้เพราะเกิดการเลี้ยวเบนของแสงในช่วงการเปลี่ยนรูปแบบพลาสติก (plastic) นอกจากนี้สามารถนำไปใช้ในการเรียนการสอนแบบบูรณาการความรู้ในวิชาฟิสิกส์ได้

สรุป

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและสร้างชุดทดลองศึกษาสมบัติเชิงกลผ่านการเลี้ยวเบนของแสง โดยอาศัยความรู้ทางฟิสิกส์มาบูรณาการเพื่อสร้างชุดทดลองที่ทำมาจากวัสดุที่หาง่ายและราคาถูก แทนการใช้เครื่องทดสอบแรงดึงที่มีราคาแพง รวมทั้งมีการทำงานร่วมกับโปรแกรมวิเคราะห์ดิฟแฟรคเตอร์ และโปรแกรม imagej ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการทดลองเรื่องอื่น ๆ ได้ ผู้ทดสอบนำชุดทดลองไปหาค่าโมดูลัสของยังโดยพลาสติกโพลีโพรพิลีน (Polypropylene, PP) ชนิดถูกร้อนและชนิดถุงหิ้วใส มีความผิดพลาดสัมพัทธ์ 5.89161 และ 2.70671 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าชุดทดลองที่สร้างขึ้นมีค่าความผิดพลาดไม่เกินร้อยละ 5.89161 และเมื่อทดสอบหาระยะห่างระหว่างช่องว่างของพลาสติก จาก

โพลีโพรพิลีน (Polypropylene, PP) ชนิดถูกร้อน หาระยะห่างระหว่างเกรตติงได้ 4 ตำแหน่ง มีความผิดพลาดสัมพัทธ์ 7.655, 0.943, 1.250 และ 8.976 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าชุดทดลองที่สร้างขึ้นมีค่าความผิดพลาดไม่เกินร้อยละ 8.976 และชนิดถุงหิ้วใส มีความผิดพลาดสัมพัทธ์ 4.740 และ 1.831 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าชุดทดลองที่สร้างขึ้นมีค่าความผิดพลาดไม่เกินร้อยละ 4.740

ข้อเสนอแนะ

จากผลการวิจัย ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะ ดังนี้

1. ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

- 1) สามารถนำชุดการทดลองที่สร้างขึ้นไปใช้หาค่ายังโมดูลัสและหาระยะห่างระหว่างช่องของเกรตติงได้โดยผลการทดลองมีความผิดพลาดต่ำ
- 2) ในการทดลองควรให้แวนกันแสงเพราะเมื่อทดลองเป็นเวลานานจะทำให้มีอาการปวดหัวหรือคลื่นไส้ อาเจียนได้
- 3) ควรตรวจสอบให้แน่ใจว่าได้จับยึดชิ้นงานไว้นั่นหนาเพื่อไม่ให้เกิดการเอียงขณะทำการทดลอง

2. ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

ในการนำชุดทดลองไปใช้กับพอลิเมอร์ที่มีความแข็งแรงและมีความยืดหยุ่นมากกว่าพลาสติกสามารถทำได้โดยการสร้างเสาของชุดยึดให้แข็งแรงมั่นคงและยาวกว่านี้เพื่อเพิ่มระยะในการยึดให้มากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่กรุณามอบทุนอุดหนุนการวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ประจำปีงบประมาณ 2565 สำหรับการสนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- เดชา สุขมา และคณะ. (2555). การพัฒนาเครื่องทดสอบแรงดึงขนาด 50,000 นิวตัน. *การประชุมวิชาการ ข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ*, วันที่ 17 – 19 ตุลาคม 2555, ณ ชะอำ เพชรบุรี.
- Gomes L.R., et al. (2016). Simple apparatus for the measurement of mechanical properties of solids. *The Physics Teacher*, 49, 117.
- Groff J R. (2012). *Estimating the size of onion epidermal cells from diffraction patterns*. Phys. Teach.
- Jelena Milisavljevic, et al. (2012). Tensile testing for different types of polymers, *researchgate*.

- Kerstin Schümann, et al. (2016). Conversion of engineering stresses to Cauchy stresses in tensile and compression tests of thermoplastic polymers. *Current Directions in Biomedical Engineering*, 2, 649 – 652.
- Logunov M. A. and Orekhov N. D. (2018). Molecular dynamics study of cavitation in carbon nanotube reinforced polyethylene nanocomposite. *Physics*, 946, 1742–6596.
- Mahardika Prasetya Aji, Arum Prabawani, Ita Rahmawati, Jenny Ayu Rahmawati, Aan Priyanto and Teguh Darsono, (2019). A diffraction graing from a plasic bag. *Phys. Educ.*, 54, 7.
- Takahiko Kawai , Shota Soeno , Shin-ichi Kuroda , Shunsuke Koido , Tomoyuki Nemoto And Motonori Tamada , (2019) . Deformation induced void formation and growth in β nucleated isotactic polypropylene. *Sciencedirect* , 178. DOI:10.1016/j.polymer.2019.05.065
- Todd Letcher, Behzad Rankouhi and Sina Javadpour.(2015). Experimental Study of Mechanical Properties of Additively Manufactured ABS Plastic as a Function of Layer Parameters. *ASME 2015 Int. Mech. Eng. Cong. and Exp.*, V02AT02A018–V02AT02A018.
- Yee A. F., Dongming Li and Xiaowei Li. (1998). The importance of constraint relief caused by rubber cavitation in the toughening of epoxy. *Materials science*, 28, 6392–6398.