



การหาค่ามอดูลัสของยังจากความถี่เสียงเทียบกับวิธีมาตรฐาน



พิษณุ นพมณี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์ศึกษา

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

2567

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

การหาค่ามอดูลัสของยังจากความถี่เสียงเทียบกับวิธีมาตรฐาน



พิษณุ นพมณี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์ศึกษา

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

2567

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

Determination of the Young's modulus from sound frequency compare to the
standard method



PHITSANU NOPMANEE

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENTS FOR MASTER DEGREE OF SCIENCE
IN PHYSICS EDUCATION
FACULTY OF SCIENCE
BURAPHA UNIVERSITY

2024

COPYRIGHT OF BURAPHA UNIVERSITY

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ได้พิจารณา
วิทยานิพนธ์ของ พิษณุ นพมณี ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ศึกษา ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

.....

..... ประธาน

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กัญจน์ชญา หงส์เลิศคง
สกุล)

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดุสิต งามรุ่งโรจน์)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนัสถา รัตนะ)

..... กรรมการ

(ดร.อรรถพล เขยศุภเกตุ)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กัญจน์ชญา หงส์เลิศคง
สกุล)

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร. อุษาวดี ต้นดีวานุรักษ์)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยบูรพา อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของ
การศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ศึกษา ของมหาวิทยาลัยบูรพา

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.วิหวัศ แจ่มเอี่ยม)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

62920396: สาขาวิชา: ฟิสิกส์ศึกษา; วท.ม. (ฟิสิกส์ศึกษา)

คำสำคัญ: ความเค้น, ความเครียด, ความถี่เสียง, ค่ามอดูลัสของยัง, สภาพิสดมภ์

พินิจ นพมณี : การหาค่ามอดูลัสของยังจากความถี่เสียงเทียบกับวิธีมาตรฐาน.

(Determination of the Young's modulus from sound frequency compare to the standard method) คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์: กัญจน์ชญา หงส์เลิศสกุล ปี พ.ศ. 2567.

การทดลองเรื่องการหาค่ามอดูลัสจะมีบรรจุในรายวิชาปฏิบัติการฟิสิกส์ของระดับมหาวิทยาลัย ส่วนในระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจะเป็นเพียงการสอนภาคทฤษฎีเท่านั้น ส่งผลให้นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจความคลาดเคลื่อนได้ และจากการศึกษาชุดการทดลองหาค่ามอดูลัสของยังที่มีอยู่ พบว่านักเรียนส่วนใหญ่จะใช้เวลาในเรื่องการอ่านสเกลระดับไมโครเมตรมากกว่าเรื่องการหาค่ามอดูลัสของยัง เพราะในชุดทดลองจะใช้มวลถ่วงน้ำหนักดึงสายโลหะให้ยืดออกระดับไมโครเมตร คณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการออกแบบและสร้างชุดอุปกรณ์การทดลองหาค่ามอดูลัสของยังจากความถี่เสียง เพื่อนำมาใช้ในการเรียนการสอนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยอาศัยวัสดุและอุปกรณ์ที่ทันสมัยที่มีอยู่ในโรงเรียน เพื่อกระตุ้นและดึงดูดความสนใจของนักเรียน รวมทั้งปรับเปลี่ยนวิธีการหาค่ามอดูลัสของยังจากการใช้มวลถ่วงน้ำหนักดึงสายโลหะให้ยืดออกแล้ววัดค่าความยาวของสายโลหะที่เปลี่ยนแปลงไประดับไมโครเมตร มาเป็นการปรับความยาวของสายโลหะที่ทราบค่าแน่นอนและอ่านค่าแรงดึงสายโลหะผ่านอุปกรณ์เซนเซอร์วัดแรงที่แสดงผลแบบดิจิทัล แทนการใช้มวลถ่วงน้ำหนักที่ต้องแปลเป็นแรง งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ออกแบบและสร้างชุดการทดลองหาค่ามอดูลัสของยัง และนำชุดอุปกรณ์การทดลองมาหาค่ามอดูลัสของยังในสายโลหะ 3 ชนิด ได้แก่ นิกเกิล ทองแดง และนิกโครม ค่ามอดูลัสของยังของสายนิกเกิล ทองแดง และนิกโครม พบว่ามีค่า 175 GPa 116 GPa และ 155 GPa ตามลำดับ การเปรียบเทียบค่ามอดูลัสของยังที่ได้กับค่ามอดูลัสของยังมาตรฐานของสายนิกเกิล ทองแดง และนิกโครม ซึ่งมีค่าเท่ากับ 166 GPa 122 GPa และ 151 GPa ตามลำดับ จะได้ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 5.42 4.92 และ 2.65 ตามลำดับ

62920396: MAJOR: PHYSICS EDUCATION; M.Sc. (PHYSICS EDUCATION)

KEYWORDS: Stress, Strain, Sound frequency, Young's modulus, Elasticity

PHITSANU NOPMANEE : DETERMINATION OF THE YOUNG'S MODULUS FROM SOUND FREQUENCY COMPARE TO THE STANDARD METHOD. ADVISORY COMMITTEE: KANCHAYA HONGLERTKONGSAKUL, 2024.

The experiment on determining Young's modulus is typically included in university-level physics laboratory courses, while in high school education, it is limited to theoretical teaching. As a result, students have inaccurate knowledge and understanding. To study the existing experiments for Young's modulus determination, it was observed that students often spend more time reading microscale measurements than determining Young's modulus. This is because the existing experiments typically involve using weights to stretch a metal wire to microscale levels. Therefore, the research team has the idea to design and create an experimental apparatus for finding Young's modulus using sound frequency. This apparatus is intended for use in teaching high school physics, utilizing modern materials and equipment available in schools to stimulate and captivate students' interest. Additionally, the method of determining Young's modulus will be modified from using weights to stretch a metal wire and measuring its length change in micrometers. Instead, the length of the metal wire will be precisely adjusted, and the applied force on wire will be read using a digital sensor device, eliminating the need for converting weights to force. The research aimed to design and create an experimental apparatus for determining Young's modulus and applying it to three types of metal wires: nickel, copper, and chromium. The Young's modulus values of nickel, copper, and chromium wires were found to be 175 GPa, 116 GPa, and 155 GPa, respectively. Comparing these values with their standard values of nickel, copper, and chromium wires, which were measured to be 166 GPa, 122 GPa, and 151 GPa, respectively. The percentage errors were determined to be 5.42%, 4.92%, and 2.65%, respectively.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กัญจน์ชญา หงส์เลิศคงสกุล อาจารย์ที่ปรึกษาที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางที่ถูกต้อง ตรวจสอบแก้ไข และวิพากษ์วิจารณ์งาน ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆด้วยความละเอียด และเอาใจใส่ด้วยดีเสมอมา ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนัสถา รัตนะ ดร.อรรถพล เขยศุภเกตุ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดุสิต งามรุ่งโรจน์ คณะกรรมการสอบงานวิทยานิพนธ์นี้ ที่ให้คำแนะนำ เสนอแนะ เพื่อให้งานวิทยานิพนธ์สำเร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้กำลังใจ ช่วยเหลือให้คำปรึกษา และสุดท้ายขอบคุณตนเองที่ทำให้งานวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ผู้วิจัยหวังว่าผู้ที่ได้อ่านงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะได้รับความรู้เพิ่มเติมไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อไปได้ ขอขอบคุณค่าและประโยชน์ของงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นกตัญญูกตเวทิตาต่อบุพการี บุรพจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่านทั้งในอดีตและปัจจุบัน ที่ทำให้ข้าพเจ้าเป็นผู้มีการศึกษาและประสบความสำเร็จมาจนตราบทุกวันนี้

พิษณุ นพมณี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่ 1.....	1
บทนำ	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
สมมติฐานการวิจัย.....	2
ขอบเขตการวิจัย.....	2
นิยามศัพท์เฉพาะ	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย	3
บทที่ 2.....	4
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
สภาพยืดหยุ่นของของแข็ง	4
มอดูลัสของยัง (สภาพยืดหยุ่นเชิงเส้น)	4
คลื่นนิ่งในเส้นเชือกที่มีปลายตรึงทั้งสองด้าน	6
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	10
บทที่ 3.....	14

วิธีการดำเนินการวิจัย	14
กรอบแนวคิดของการวิจัย	14
การออกแบบและสร้างชุดอุปกรณ์	16
วิธีการทดลอง.....	17
บทที่ 4.....	19
ผลการวิจัย.....	19
การสร้างชุดทดลองหาค่ามอดูลัสของยัง.....	19
ผลการทดลอง	20
บทที่ 5.....	30
สรุปผลการวิจัยและอภิปรายผล	30
สรุปผลการวิจัย	30
อภิปรายผล	30
ข้อเสนอแนะ	31
บรรณานุกรม.....	32
ประวัติย่อของผู้วิจัย.....	34

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 ข้อมูลค่าความยาวที่เปลี่ยนแปลงไปกับแรงดึงในสายนิกเกิล	20
ตารางที่ 2 ข้อมูลค่าความยาวที่เปลี่ยนแปลงไปกับความถี่เสียงจากสายนิกเกิล	21
ตารางที่ 3 ข้อมูลค่าความยาวที่เปลี่ยนแปลงไป แรงดึงเฉลี่ย ความถี่เสียงเฉลี่ยและความถี่เสียงกำลังสองจากสายนิกเกิล	21
ตารางที่ 4 ข้อมูลค่าความยาวที่เปลี่ยนแปลงไปกับแรงดึงในสายทองแดง	23
ตารางที่ 5 ข้อมูลค่าความยาวที่เปลี่ยนแปลงไปกับความถี่เสียงจากสายทองแดง	24
ตารางที่ 6 ข้อมูลค่าความยาวที่เปลี่ยนแปลงไป แรงดึงเฉลี่ย ความถี่เสียงเฉลี่ยและความถี่เสียงกำลังสองจากสายทองแดง	24
ตารางที่ 7 ข้อมูลค่าความยาวที่เปลี่ยนแปลงไปกับแรงดึงในสายนิโครม	26
ตารางที่ 8 ข้อมูลค่าความยาวที่เปลี่ยนแปลงไปกับความถี่เสียงจากสายนิโครม	27
ตารางที่ 9 ข้อมูลค่าความยาวที่เปลี่ยนแปลง แรงดึงเฉลี่ย ความถี่เสียงเฉลี่ยและความถี่เสียงกำลังสองจากสายนิโครม	27

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 วัตถุที่มีปลายด้านหนึ่งถูกยึดไว้กับตัวยึด แสดงความยาวของวัตถุที่เปลี่ยนแปลงไป (ΔL) เมื่อถูกแรงจากภายนอก (F) มากกระทำ	5
ภาพที่ 2 ค่ามอดูลัสของยังของวัตถุชนิดต่างๆ	5
ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของของแข็งที่มีสภาพยืดหยุ่น	6
ภาพที่ 4 (a) เส้นเชือกยาว L ที่ถูกตรึงทั้งสองด้าน (b) การสั่นที่ความถี่มูลฐานหรือฮาร์มอนิกที่ 1 (c) การสั่นที่ฮาร์มอนิกที่ 2 (d) การสั่นที่ฮาร์มอนิกที่ 3	6
ภาพที่ 5 คลื่นนิ่งในเส้นเชือกในแต่ละช่วงเวลา	7
ภาพที่ 6 การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับทดลองซึ่งประกอบด้วยเครื่องวัดเสียง	11
ภาพที่ 7 ปุ่มปรับความตึงของสายกีตาร์ความละเอียด 0.05 mm	11
ภาพที่ 8 กราฟการทดลองหาค่ามอดูลัสของยังในสายกีตาร์โลหะมีค่า 146 ± 2 GPa	12
ภาพที่ 9 กราฟการทดลองหาค่ามอดูลัสของยังในสายกีตาร์ไนลอน	13
ภาพที่ 10 การเกิดสภาพพลาสติกของสายไนลอนที่ถูกยึดออกจนเสียรูปแบบยืดหยุ่น	13
ภาพที่ 11 กรอบแนวคิดการวิจัย	15
ภาพที่ 12 ส่วนประกอบของชุดอุปกรณ์การทดลองการหาค่ามอดูลัสของยัง	17
ภาพที่ 13 ชุดอุปกรณ์การทดลองหาค่ามอดูลัสของยัง	19
ภาพที่ 14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่เปลี่ยนแปลงไปกับแรงดึงในสายนิเกิล	21
ภาพที่ 15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่เปลี่ยนแปลงไปกับความถี่เสียงกำลังสองจากสาย นิเกิล	22
ภาพที่ 16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่เปลี่ยนแปลงไปกับแรงดึงในสายทองแดง	24
ภาพที่ 17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่เปลี่ยนแปลงไปกับความถี่เสียงกำลังสองจากสาย ทองแดง	25
ภาพที่ 18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่เปลี่ยนแปลงไปกับแรงดึงในสายนิโครม	27

ภาพที่ 19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่เปลี่ยนแปลงไปกับความถี่เสียงกำลังสองจากสาย
นิโครม..... 28



บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การเรียนการสอนเนื้อหาฟิสิกส์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายเป็นการมุ่งเน้นให้นักเรียนเข้าใจปรากฏการณ์ธรรมชาติที่เกิดขึ้นรอบตัวผ่านชุดการทดลองต่างๆ ที่ครูผู้สอนจัดสร้างขึ้น รวมถึงจัดหาจากแหล่งต่างๆ สำหรับบางโรงเรียนที่ยังไม่มีความพร้อมอาจเป็นเรื่องยากที่จะต้องจัดหาอุปกรณ์การทดลองจากแหล่งต่างๆ ทำให้คุณครูผู้สอนต้องทำการออกแบบและประดิษฐ์อุปกรณ์การทดลองขึ้นใช้เอง เพื่อใช้เป็นสื่อในการจัดการเรียนการสอน

การทดลองหาค่ามอดูลัสของยังเป็นหนึ่งในเนื้อหาฟิสิกส์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ซึ่งถูกบรรจุอยู่ในเนื้อหาหลักเรื่องสมบัติของวัสดุ ในเนื้อหาดังกล่าวมุ่งเน้นให้นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับสภาพยืดหยุ่นและสภาพพลาสติกของของแข็ง อธิบายกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดได้ ระบุจุดต่างๆที่เกิดขึ้นบนกราฟความเค้นกับความเครียดได้ เช่น ช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงคงที่มีความสัมพันธ์แบบเส้นตรงซึ่งสามารถนำไปคำนวณหาค่ามอดูลัสของยังได้ จุดสิ้นสุดการแปรผันตรง จุดสิ้นสุดสภาพยืดหยุ่น เป็นต้น เพื่อให้ นักเรียนสามารถเข้าใจการเปลี่ยนแปลง ณ ช่วงเวลาแต่ละจุดบนกราฟได้ การเรียนการสอนจึงมีความจำเป็นต้องให้นักเรียนทำการทดลองหาค่ามอดูลัสของยังและสังเกตการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับวัสดุในทุกๆ ช่วงของการเปลี่ยนแปลงของของแข็งนั้น (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ, 2563)

การทดลองหาค่ามอดูลัสของยังสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายในปัจจุบันยังไม่แพร่หลายมากนัก ทำให้การเรียนการสอนเรื่องการหาค่ามอดูลัสของยังในปัจจุบันเป็นการเรียนแบบทฤษฎีเท่านั้น ส่งผลให้ความรู้ความเข้าใจในเนื้อหาเกิดความคลาดเคลื่อนได้ เนื่องจากชุดอุปกรณ์ในการทดลองมีความจำเพาะ มักพบในปฏิบัติการฟิสิกส์ในระดับสูง เช่น ในระดับมหาวิทยาลัย (Singh, H., 2006) ดังนั้น การจัดทำอุปกรณ์หรือชุดทดลองในการหาค่ามอดูลัสของยังที่มีความเรียบง่าย แต่ยังคงบรรลุวัตถุประสงค์ในการทดลองเพื่อให้นักเรียนเข้าใจหลักการของสมบัติของวัสดุได้ จึงมีความจำเป็นอย่างมากกับนักเรียนในระดับชั้นนี้

งานวิจัยนี้เป็นการหาค่ามอดูลัสของยังจากความเสี่ยงเทียบกับวิธีมาตรฐาน โดยอาศัยหลักการเกี่ยวกับสมบัติของเสียง เช่น การสั่นพ้อง ความถี่เสียง เป็นต้น ตามหลักสูตรนักเรียนจะได้

เรียนเนื้อหาดังกล่าวมาก่อนเนื้อหาสมบัติของวัสดุ จะทำให้นักเรียนสามารถเชื่อมโยงความรู้ก่อนการ เรียนเนื้อหาใหม่ได้ ทั้งนี้ชุดอุปกรณ์การทดลองการหาค่ามอดูลัสของยังยังสามารถหาค่ามอดูลัสของยัง ผ่านวิธีมาตรฐาน โดยผู้วิจัยจะทำการเปรียบเทียบหาค่ามอดูลัสของยังจากความเสี่ยงกับวิธีมาตรฐาน เพื่อให้ชุดอุปกรณ์การทดลองสามารถนำไปใช้ในชั้นเรียนผ่านหลักการที่ทำให้นักเรียนเข้าใจง่าย แต่ ยังคงองค์ความรู้ที่นักเรียนควรได้รับ

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อสร้างชุดอุปกรณ์การทดลองในการหาค่ามอดูลัสของยังจากความเสี่ยงและวิธี มาตรฐาน
2. เพื่อเปรียบเทียบค่ามอดูลัสของยังจากความเสี่ยงกับค่ามอดูลัสของยังจากวิธีมาตรฐาน

สมมติฐานการวิจัย

1. ค่ามอดูลัสของยังที่ได้จากความเสี่ยงควรมีค่าเท่ากับค่ามอดูลัสของยังจากวิธีมาตรฐาน

ขอบเขตการวิจัย

1. สร้างชุดอุปกรณ์การทดลองในการหาค่ามอดูลัสของยังจากความเสี่ยงและวิธีมาตรฐาน
2. เปรียบเทียบค่ามอดูลัสของยังจากความเสี่ยงกับค่ามอดูลัสของยังจากวิธีมาตรฐาน
3. ในส่วนของข้อมูลที่น่าไปใช้หาค่ามอดูลัสของยังจากความเสี่ยงและวิธีมาตรฐาน เป็นผล การทดลองที่ได้จากวัสดุเดียวกัน ที่ทดลองในเวลาเดียวกัน
4. การทดลองนี้เป็นการหาค่ามอดูลัสของยังจากสายโลหะตัวอย่าง 3 ชนิด

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. ชุดอุปกรณ์การทดลองในการหาค่ามอดูลัสของยังจากความเสี่ยงและวิธีมาตรฐาน คือ ชุด อุปกรณ์ที่ผู้วิจัยจัดทำขึ้นเอง ชุดอุปกรณ์นี้สามารถให้ข้อมูลการทดลองที่จะนำไปใช้ในการ คำนวณหาค่ามอดูลัสของยังทั้งจากความเสี่ยงและวิธีมาตรฐานได้
2. สายโลหะ คือ สายโลหะที่มีสภาพยืดหยุ่นเพียงพอต่อการนำมาใช้กับชุดอุปกรณ์ที่ผู้วิจัยทำ ขึ้น ซึ่งสามารถนำมาดึงให้ตึง เมื่อทำการติดแล้วให้เสียงที่มีความถี่ค่าหนึ่ง
3. เซนเซอร์วัดแรง คือ เซนเซอร์ซึ่งเมื่อออกแรงกดหรือดึงกระทำบริเวณปลายเซนเซอร์ จะ แสดงค่าแรงที่เกิดขึ้นออกมาในหน่วยนิวตัน

4. แอปพลิเคชันวัดค่าความถี่เสียง คือ แอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนที่ผ่านการตั้งค่าความแม่นยำโดยการนำไปเทียบกับส้อมเสียงที่มีค่าความถี่ที่แน่นอน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. ได้ชุดอุปกรณ์การทดลองในการหาค่ามอดูลัสของยังจากความถี่เสียงและวิธีมาตรฐาน
2. สามารถนำชุดอุปกรณ์การทดลองในการหาค่ามอดูลัสของยังจากความถี่เสียงและวิธีมาตรฐาน ไปใช้ในการจัดการเรียนการสอนในชั้นเรียนได้



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สภาพยืดหยุ่นของของแข็ง

เมื่อมีแรงภายนอกมากกระทำกับของแข็ง ของแข็งจะมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างหรือขนาด (หรือทั้งคู่) ซึ่งขณะที่เกิดการเปลี่ยนแปลงจะมีแรงภายในต่อต้านการเสียรูปดังกล่าว ในการพิจารณาการเสียรูปของของแข็งจากแนวคิด ความเค้น (stress) และ ความเครียด (strain) ความเค้นคือแรงภายนอกที่กระทำต่อวัตถุต่อพื้นที่ภาคตัดขวาง ปริมาณความเค้นจะเป็นสัดส่วนกับแรงที่ทำให้เกิดการเสียรูป ผลของความเค้นจะทำให้เกิดความเครียด เมื่อความเค้นมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยจะพบว่าความเค้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเครียด ค่าคงที่ที่เกิดจากสัดส่วนของความเค้นต่อความเครียดจะขึ้นอยู่กับวัสดุ ค่าคงที่นี้เรียกว่า “ค่ามอดูลัสยืดหยุ่น” สามารถเขียนได้ดังสมการ

$$\text{Elastic modulus} = \frac{\text{stress}}{\text{strain}} \quad (2-1)$$

มอดูลัสของยัง (สภาพยืดหยุ่นเชิงเส้น)

พิจารณาวัตถุซึ่งมีพื้นที่หน้าตัด A และความยาวเริ่มต้น L_i ปลายด้านหนึ่งยึดติดกับตัวยึด ดังภาพที่ 1 เมื่อมีแรงภายนอกมากกระทำผ่านภาคตัดขวางของวัตถุ แรงภายในจะต่อต้านการเปลี่ยนแปลง วัตถุจะยืดออกจนมีความความยาวสุดท้าย L_f ซึ่งมีค่ามากกว่า L_i และแรงภายนอกสมดุลกับแรงภายใน ความเค้นหาได้จากอัตราส่วนของแรงภายนอกที่มากกระทำต่อพื้นที่ภาคตัดขวางของวัตถุ ความเครียดหาได้จากอัตราส่วนระหว่างความยาวที่เปลี่ยนแปลงไปต่อความยาวเริ่มต้น และสามารถหาค่ามอดูลัสของยังได้จากอัตราส่วนของทั้ง 2 ปริมาณ ได้ดังสมการ

$$Y = \frac{\text{tensile stress}}{\text{tensile strain}} = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{F/A}{\Delta L/L_i} \quad (2-2)$$

โดย Y คือ ค่ามอดูลัสของยัง (N/m^2)

σ คือ ความเค้น (N/m^2)

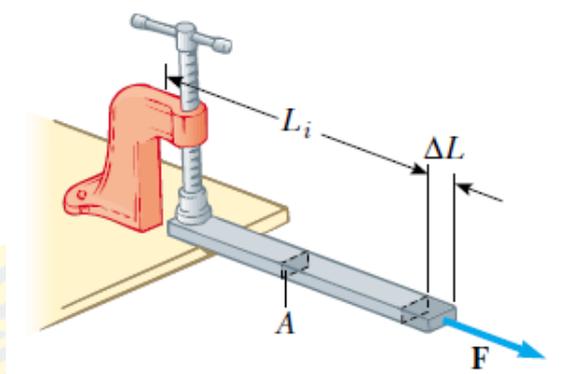
ϵ คือ ความเครียด

F คือ แรงดึง (N)

ΔL คือ ความยาวที่เปลี่ยนแปลง (m)

L_i คือ ความยาวเริ่มต้น (m)

A คือ พื้นที่หน้าตัด (m^2)



ภาพที่ 1 วัสดุที่มีปลายด้านหนึ่งถูกยึดไว้กับตัวยึด แสดงความยาวของวัสดุที่เปลี่ยนแปลงไป (ΔL) เมื่อถูกแรงจากภายนอก (F) มากกระทำ

ที่มา : (Serway, R. A., & Vuille, C., 2010)

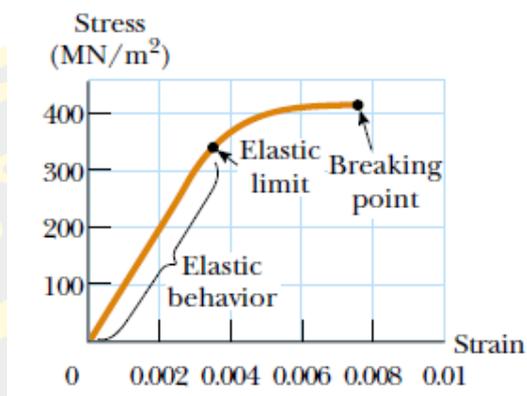
Typical Values for Elastic Moduli	
Substance	Young's Modulus (N/m^2)
Tungsten	35×10^{10}
Steel	20×10^{10}
Copper	11×10^{10}
Brass	9.1×10^{10}
Aluminum	7.0×10^{10}
Glass	$6.5\text{--}7.8 \times 10^{10}$
Quartz	5.6×10^{10}
Water	—
Mercury	—

ภาพที่ 2 ค่ามอดูลัสของยังของวัสดุชนิดต่างๆ

ที่มา : (Serway, R. A., & Vuille, C., 2010)

ค่ามอดูลัสของยังของวัสดุชนิดต่างๆ จะมีค่าแตกต่างกันดังแสดงในภาพที่ 2 สำหรับการเปลี่ยนแปลงความเค้นในช่วงเล็กๆ วัสดุจะสามารถกลับสู่ความยาวเดิมได้เมื่อหยุดออกแรงกระทำกับวัสดุ ขีดจำกัดสภาพยืดหยุ่นถูกกำหนดด้วยความเค้นสูงสุด หากเลยจุดนี้ไปแล้ววัสดุจะเสียรูปและไม่สามารถกลับสู่ความยาวเดิมอีก ดังภาพที่ 3 จะแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับ

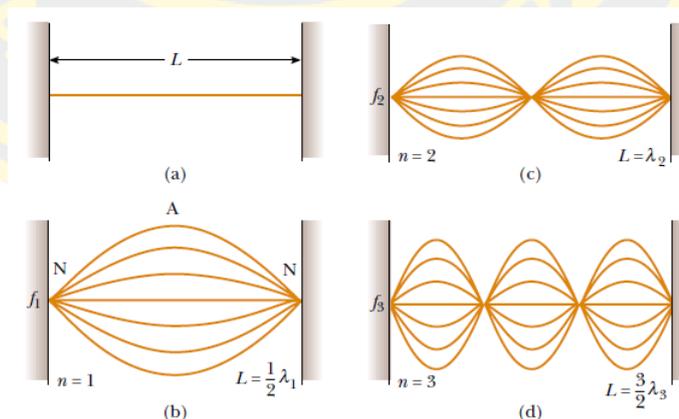
ความเครียดจะมีค่าเพิ่มขึ้นแบบเส้นตรง อย่างไรก็ตามกราฟจะไม่สัมพันธ์กันแบบเป็นเส้นตรงตลอดไป เมื่อความเค้นเกินขีดจำกัดสภาพยืดหยุ่น วัตถุจะเสียรูปแบบถาวรไม่สามารถกลับสู่สภาพเดิมได้ถึงแม้จะยกเลิกการให้แรงภายนอกมากระทำแล้วก็ตาม ถ้าความเค้นเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ วัตถุก็จะถึงจุดแตกหัก



ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของของแข็งที่มีสภาพยืดหยุ่น
ที่มา : (Serway, R. A., & Vuille, C., 2010)

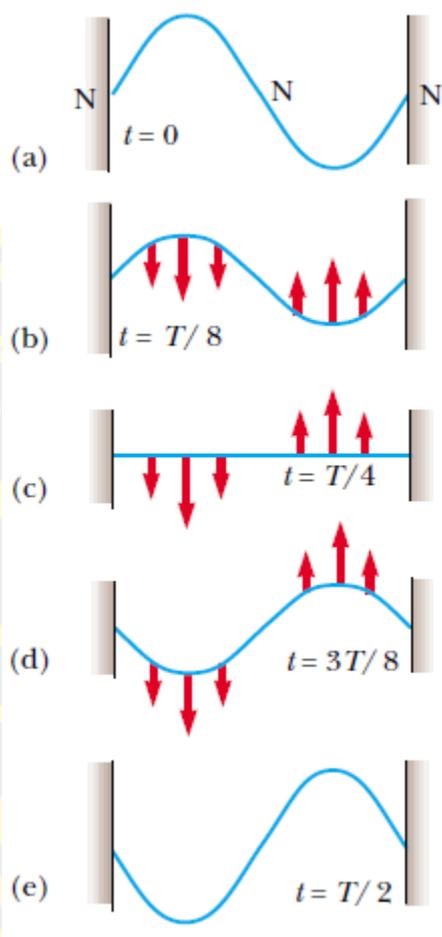
คลื่นนิ่งในเส้นเชือกที่มีปลายตรึงทั้งสองด้าน

พิจารณาเส้นเชือกยาว L ที่มีปลายตรึงทั้งสองด้าน ดังภาพที่ 4 แสดงให้เห็นคลื่นนิ่งในเส้นเชือกที่เกิดการซ้อนทับกันของคลื่นที่มีการเคลื่อนที่ไปกระทบกับปลายตรึงอีกด้านก่อนสะท้อนกลับ ที่ปลายตรึงทั้งสองด้านของเชือกคือบริเวณที่มีการกระจัดเป็นศูนย์เรียกว่า บัพ



ภาพที่ 4 (a) เส้นเชือกยาว L ที่ถูกตรึงทั้งสองด้าน (b) การสั่นที่มีความถี่มูลฐานหรือฮาร์โมนิกที่ 1 (c) การสั่นที่ฮาร์โมนิกที่ 2 (d) การสั่นที่ฮาร์โมนิกที่ 3

ที่มา : (Serway, R. A., & Vuille, C., 2010)



ภาพที่ 5 คลื่นนิ่งในเส้นเชือกในแต่ละช่วงเวลา

- (a) ที่ $t = 0$ ณ เวลาเริ่มต้นที่พิจารณาเส้นเชือกอยู่ในสภาพหยุดนิ่ง
- (b) ที่ $t = T/8$ เส้นเชือกมีการเคลื่อนที่ ตามลูกศรสีแดงที่มีขนาดต่างกันตามความเร็วในแต่ละตำแหน่ง
- (c) ที่ $t = T/4$ เส้นเชือกกำลังเคลื่อนที่ แต่อยู่บนแนวเดิมก่อนการสั่น
- (d) เส้นเชือกเคลื่อนที่ต่อเนื่อง
- (e) ที่ $t = T/2$ เส้นเชือกเข้าสู่สภาพหยุดนิ่งอีกครั้ง แต่สันและท้องคลื่นจะอยู่ในทางที่ตรงข้ามกับรูป (a) เหตุการณ์นี้จะเกิดขึ้นซ้ำไปเรื่อยๆจนกว่า เป็นครบ 1 คาบ (T) ตำแหน่งต่างๆของเส้นเชือกจะกลับไปอยู่ที่ตำแหน่งตามรูป (a) ตามเดิม

ที่มา : (Serway, R. A., & Vuille, C., 2010)

ในการสั่นโหมดปกติของเส้นเชือกที่ถูกตรึงไว้ทั้งสองด้าน ยกเว้นตำแหน่ง บัพ ที่คงที่ แต่ละส่วนของเส้นเชือกจะมีการสั่นในแนวตั้งด้วยค่าความถี่เดียวกัน ยกเว้น แอมพลิจูดที่จะมีค่าแตกต่างกันในการสั่นแบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย ภาพที่ 5 แสดงคลื่นนิ่งในเส้นเชือกในแต่ละช่วงเวลาสั้นๆ จากช่วงเวลาเริ่มต้นถึงเวลาครึ่งหนึ่งของคาบการสั่น ส่วนลูกศรสีแดงแสดงความเร็วของเส้นเชือกในแต่ละช่วงเวลา ภาพที่ 5(a) และ 5(e) แสดงให้เห็นว่าแต่ละจุดบนเส้นเชือกจะมีค่าความเร็วเป็นศูนย์ และภาพที่ 5(b) ถึง 5(d) แสดงให้เห็นว่าแต่ละจุดบนเส้นเชือกจะมีความเร็วแตกต่างกัน

ความถี่มูลฐานแรกแสดงได้ดังภาพที่ 4(b) ประกอบไปด้วยตำแหน่ง บัพ ที่ปลายตรึงทั้งสองด้าน และ ปฏิบัพที่ตรงกลาง ที่ความถี่มูลฐานแรกจะพบว่าความยาวของเส้นเชือกคือครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น λ_1 หรือ $\lambda_1 = 2L$ ดังแสดงในภาพ 4(b) ค่าความถี่มูลฐานถัดไป แสดงในภาพ 4(c) จะเห็นว่าความยาวคลื่นจะมีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของความยาวของเส้นเชือก หรือ $\lambda_2 = L$ ค่าความถี่มูลฐานที่ 3 แสดงในภาพ 4(d) จะเห็นว่าความยาวคลื่นจะมีค่าเท่ากับ $\frac{2}{3}$ ของความยาวของเส้นเชือก หรือ $\lambda_3 = \frac{2L}{3}$ ในรูปทั่วไป ความยาวคลื่นสามารถหาค่าได้จากความยาวของเส้นเชือกที่ถูกตรึงไว้ทั้งสองด้าน โดยมีความสัมพันธ์ดังสมการ

$$\lambda_n = \frac{2L}{n} \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (2-3)$$

โดย λ_n คือ ความยาวคลื่นเมื่อเกิดการสั่นพ้องที่ค่าความถี่ใดๆ (m)

L คือ ความยาวเชือก (m)

n คือ จำนวนเต็มของการเกิดความถี่มูลฐาน

ความถี่ธรรมชาติที่เกี่ยวข้องกับการสั่นนี้ สามารถคำนวณได้จาก $f = v/\lambda$ เมื่อ v คือ ความเร็วคลื่นในแต่ละความถี่ แทนค่าลงในสมการ (2-3) จะได้ความถี่ที่ค่าได้ f_n ดังสมการ

$$f_n = \frac{v}{\lambda_n} = n \frac{v}{2L} \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (2-4)$$

โดย f_n คือ ความถี่คลื่นเมื่อเกิดการสั่นพ้อง (Hz)

v คือ อัตราเร็วคลื่น (m/s)

เนื่องจาก $v = \sqrt{T/\mu}$ เมื่อ T คือ ความตึงในเส้นเชือก และ μ คือ มวลต่อหน่วยความยาว หรือความหนาแน่นเชิงเส้น ได้สมการใหม่เป็น

$$f_n = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu}} \quad n=1, 2, 3, \dots \quad (2-5)$$

โดย T คือ ความตึงในเส้นเชือก (N)

μ คือ มวลต่อหน่วยความยาวหรือความหนาแน่นเชิงเส้น (kg/m)

ที่ความถี่ต่ำสุด f_1 สอดคล้องกับ $n=1$ เรียกว่าความถี่มูลฐาน เขียนแทนด้วยสมการ

$$f = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu}} \quad (2-6)$$

ปรากฏการณ์ที่มีความถี่เป็นจำนวนเป็นเท่าของความถี่มูลฐานเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า ฮาร์โมนิก ดังนั้นที่ความถี่มูลฐาน f_1 จะเรียกอีกอย่างได้ว่าฮาร์โมนิกที่ 1 ที่ความถี่ที่ 2 โดย $f_2 = 2f_1$ จะเรียกอีกอย่างได้ว่า ฮาร์โมนิกที่ 2 และที่ความถี่ n โดย $f_n = nf_1$ จะเรียกอีกอย่างได้ว่าฮาร์โมนิกที่ n (Serway, R. A., & Vuille, C., 2010; Serway, R. A., & Jewett, W. J., 2008)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษางานวิจัยของ Freek Pols ซึ่งมีแนวคิดที่ว่าสายกีตาร์จะให้เสียงจากการสั่นด้วยความถี่ธรรมชาติแบบคลื่นนิ่ง ความถี่ธรรมชาติของสายกีตาร์ขึ้นกับค่าความยาวคลื่นและความเร็วคลื่น ตามสมการ $f_0 = v/\lambda_0$ เมื่อ $\lambda_0 = 2L$ โดยที่ L คือความยาวของสายกีตาร์ สำหรับความเร็วคลื่น v ขึ้นอยู่กับความตึงของสายกีตาร์และวัสดุที่ใช้ทำสายกีตาร์ ตามสมการ $v = \sqrt{F/\mu}$ เมื่อ μ คือ มวลต่อความยาว ($\mu = m/L$)

เป็นที่ทราบกันดีว่าในหมู่ผู้ที่เล่นกีตาร์ เมื่อทำการปรับสายกีตาร์ให้ตึงขึ้นจะทำให้ความถี่ของเสียงเปลี่ยนไป การเพิ่มความตึงของสายกีตาร์จะทำได้โดยการบิดปุ่มปรับที่ปลายกีตาร์ ซึ่งการบิดปุ่มปรับนี้เป็นวิธีการยึดสายกีตาร์อย่างมีประสิทธิภาพ การเปลี่ยนแปลงของความตึงในสายกีตาร์สามารถคำนวณได้จากสมการ $F = \sigma A = Y\epsilon A$ โดย Y คือค่ามอดูลัสของยังและ ϵ คือความเค้น เมื่อนำสมการดังกล่าวมาจัดเรียงใหม่จะได้ความถี่ที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงความยาวของสายกีตาร์ ดังสมการ

$$f^2 = \frac{YA}{4\mu L^3} \Delta l + f_0^2 \quad (2-7)$$

หรือ

$$f^2 = \frac{Y}{4\rho L^3} \Delta l + f_0^2 \quad (2-8)$$

โดย Y คือ ค่ามอดูลัสของยัง (N/m^2)

f คือ ความถี่เสียง (Hz)

f_0 คือ ความถี่เสียงเริ่มต้น (Hz)

A คือ พื้นที่หน้าตัด (m^2)

L คือ ความยาวเริ่มต้น (m)

Δl คือ ความยาวที่เปลี่ยนแปลง (m)

μ คือ มวลต่อหน่วยความยาวหรือความหนาแน่นเชิงเส้น (kg/m)

ρ คือ ความหนาแน่นของสายโลหะ (kg/m^3)

สมมติว่าในการตั้งสายกีตาร์ พื้นที่หน้าตัดและมวลต่อหน่วยความยาวของสายกีตาร์ไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อวัดค่าความถี่ตามการเปลี่ยนแปลงความยาว ΔL ของสายกีตาร์ จะทำให้ได้ค่ามอดูลัสของยังของสายกีตาร์ จากการจัดรูปสมการตามสมการที่ (2-7) จะเห็นว่าในการทดลองวัด

ความถี่และการเปลี่ยนแปลงความยาวเพียงพอสำหรับหาค่ามอดูลัสของยังตามสมการที่ระบุไว้ในหลักสูตรฟิสิกส์ของประเทศเนเธอร์แลนด์แล้ว

ในการออกแบบการทดลอง จะทำการปรับเปลี่ยนความถี่โดยการปรับความยาวของสายกีตาร์ให้เพิ่มขึ้น และมีการติดตั้งเครื่องตรวจจับเสียงที่ปลายของอุปกรณ์ที่ติดตั้งปุ่มปรับความตึงสายกีตาร์ไว้ ดังแสดงในภาพที่ 6 ปุ่มปรับสายกีตาร์นี้จะหมุนปรับสายในมาตราส่วนโนนีส ซึ่งทำให้การปรับความยาวสายกีตาร์มีความแม่นยำมาก (ความละเอียด 0.05 mm) ดังแสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 6 การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับทดลองซึ่งประกอบด้วยเครื่องวัดเสียง และปุ่มปรับความตึงของสายกีตาร์

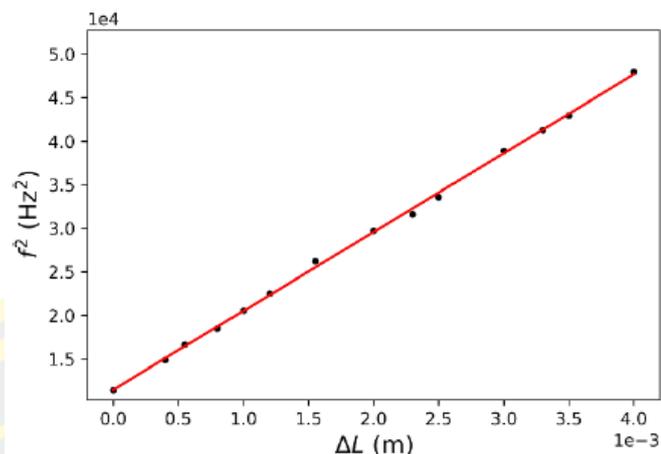
ที่มา : (Pols, F., 2021)



ภาพที่ 7 ปุ่มปรับความตึงของสายกีตาร์ความละเอียด 0.05 mm

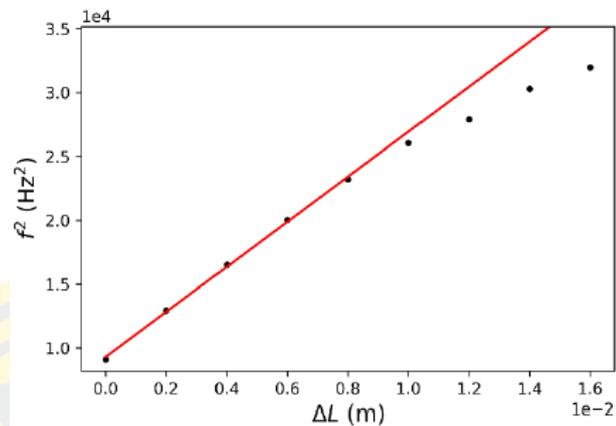
ที่มา : (Pols, F., 2021)

หลังจากสายกีตาร์ถูกตึง ความถี่เสียงที่เกิดขึ้นจะถูกวัดด้วยโทรศัพท์มือถือ โดยใช้แอปพลิเคชัน gStrings หรือ Phyphox สำหรับสายกีตาร์ที่นำมาใช้อาจมีความหนาหรือเป็นวัสดุที่แตกต่างกันได้ ซึ่งสามารถเลือกซื้อได้ตามร้านเครื่องดนตรีทั่วไป



ภาพที่ 8 กราฟการทดลองหาค่ามอดูลัสของยังในสายกีตาร์โลหะมีค่า 146 ± 2 GPa
ที่มา : (Pols, F., 2021)

ภาพที่ 8 แสดงผลการทดลองของสายกีตาร์โลหะที่มีความหนา 0.33 ± 0.01 mm ได้ค่ามอดูลัสของยังเท่ากับ 146 ± 2 GPa ซึ่งไม่ตรงกับทฤษฎีที่มีค่าเท่ากับ 210 GPa จะเห็นได้ว่าค่าที่ได้มีความเบี่ยงเบนไปจากทฤษฎีมาก ทั้งนี้เป็นเพราะความหนาของสายกีตาร์ไม่ตรงตามที่ผู้จำหน่ายระบุไว้และปกติสายกีตาร์จะประกอบไปสายธรรมดา 3 เส้น และสายแกนลวด 3 เส้น (สายแกนลวดจะมีลวดแกนกลางที่ส่วนใหญ่ทำด้วยโลหะ และวัสดุต่างชนิดกันพันรอบลวดโลหะแกนกลาง) ซึ่งจะต้องมีความหนาที่แตกต่างกันด้วย และจากการใช้สายกีตาร์ที่ประกอบด้วยสายธรรมดา 2 เส้น และสายแกนลวด 4 เส้น ก็สรุปได้เช่นกันว่าผู้ขายไม่ได้ขายสายกีตาร์ตามขนาดที่ระบุ จุดน่าสนใจของค่ามอดูลัสของยังที่เบี่ยงเบนไปจากทฤษฎีนี้จะทำให้นักเรียนได้ข้อสรุปที่เหมือนกัน คือ ถ้านักเรียนสนใจหาค่ามอดูลัสของโลหะ คำแนะนำคือให้นักเรียนไปซื้อเส้นลวดโลหะที่มีขายตามท้องตลาดทั่วไปและมีราคาถูกได้



ภาพที่ 9 กราฟการทดลองหาค่ามอดุลัสของยังในสายกีตาร์ไนลอน โดยช่วงที่น่าสนใจอยู่ที่การเสียรูปแบบยืดหยุ่น
ที่มา : (Pols, F., 2021)

ภาพที่ 9 แสดงกราฟการทดลองหาค่ามอดุลัสของยังในสายกีตาร์ที่ทำจากไนลอนความหนา 0.58 ± 0.01 mm จะเห็นว่า การทดลอง 5 ครั้งแรกเป็นไปตามทฤษฎีและมอดุลัสของยัง 4.1 ± 0.1 GPa อย่างไรก็ตามเมื่อสายกีตาร์ถูกยืดออกให้ยาวมากๆ สายกีตาร์จะมีการเสียรูปแบบยืดหยุ่น ผลของการเสียรูปแบบยืดหยุ่นนี้จะทำให้ได้ยินเสียงที่มีความถี่ลดลงอย่างชัดเจนในขณะที่วัด เมื่อลองดูสายกีตาร์ใกล้ๆ ดังแสดงในภาพที่ 10 จะเห็นว่าเมื่อมีการเสียรูปแบบยืดหยุ่นแล้วทำให้ผลไม่เป็นตามทฤษฎี



ภาพที่ 10 การเกิดสภาพพลาสติกของสายไนลอนที่ถูกยืดออกจนเสียรูปแบบยืดหยุ่น
ที่มา : (Pols, F., 2021)

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการสร้างชุดอุปกรณ์การทดลองหาค่ามอดูลัสของยังจากความถี่เสียงกับวิธีมาตรฐานและเปรียบเทียบค่ามอดูลัสของยังจากความถี่เสียงกับวิธีมาตรฐาน โดยมีรายละเอียดและขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย ดังนี้

กรอบแนวคิดของการวิจัย

ผู้วิจัยแบ่งการดำเนินงานของวิทยานิพนธ์ออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้

1. การออกแบบและสร้างชุดอุปกรณ์การทดลองในการหาค่ามอดูลัสของยังจากความถี่เสียงและวิธีมาตรฐาน เป็นการศึกษาเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและการใช้ชุดอุปกรณ์การทดลองในการหาค่ามอดูลัสของยังจากความถี่เสียงและวิธีมาตรฐาน
2. การหาค่ามอดูลัสของยังจากการวัดด้วยวิธีมาตรฐาน โดยการวัดแรงดึงที่สัมพันธ์กับความยาวของสายโลหะที่เปลี่ยนแปลงไป
3. การหาค่ามอดูลัสของยังจากการวัดความถี่เสียง โดยการวัดความถี่เสียงที่สัมพันธ์กับความยาวของสายโลหะที่เปลี่ยนแปลงไป
4. การเปรียบเทียบค่ามอดูลัสของยังจากความถี่เสียงกับวิธีมาตรฐาน



ภาพที่ 11 กรอบแนวคิดการวิจัย

การออกแบบและสร้างชุดอุปกรณ์

การออกแบบและสร้างชุดอุปกรณ์ เป็นการศึกษาเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและหาค่ามอดูลัสของยังจากความถี่เสียงเทียบกับวิธีมาตรฐาน ทั้งนี้ได้แบ่งการศึกษาในช่วงนี้เป็น 2 ส่วน คือ หลักการและแนวคิดของชุดอุปกรณ์การทดลอง และลักษณะส่วนประกอบของชุดอุปกรณ์

1. หลักการและแนวคิดของชุดอุปกรณ์การทดลอง

โดยทั่วไปชุดอุปกรณ์การทดลองหาค่ามอดูลัสของวัสดุ ผู้ทดลองจะต้องออกแรงดึงวัสดุให้ยืดออกและสังเกตความยาวของวัสดุที่เปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นในการออกแบบชุดอุปกรณ์การทดลองจึงต้องมีอุปกรณ์ที่สามารถปรับค่าความยาวของวัสดุได้รวมถึงต้องมีอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บค่าแรงดึงของวัสดุ (F) และวัดความยาวของวัสดุที่เปลี่ยนแปลงไป (ΔL) เพื่อที่จะนำไปหาความเค้น ความเครียด และมอดูลัสของยัง

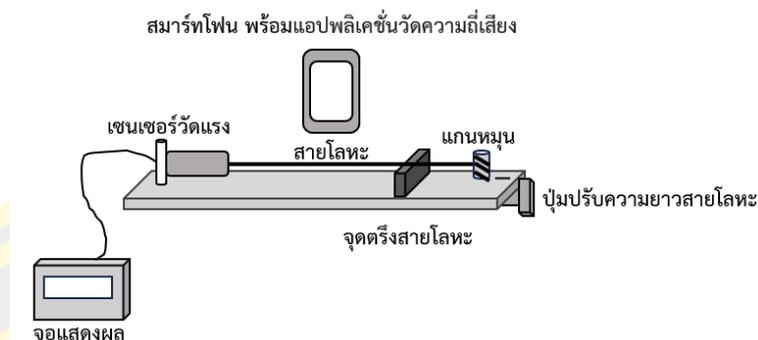
สำหรับชุดอุปกรณ์การทดลองหาค่ามอดูลัสของยังที่ออกแบบและสร้างขึ้นในงานวิจัยนี้ จะนำมาใช้ในการหาค่ามอดูลัสของยังจากวิธีมาตรฐานและความถี่เสียง สำหรับการหาค่ามอดูลัสของยังจากวิธีมาตรฐาน ผู้ทำการทดลองจะออกแรงดึงสายโลหะให้ยืดออกและเมื่อนำค่าแรงดึงและความยาวของสายโลหะที่เปลี่ยนแปลงไปมาหาความสัมพันธ์ในรูปของกราฟจะทำให้ทราบค่ามอดูลัสของยัง ตามสมการ (2-2)

$$Y = \frac{\text{tensile stress}}{\text{tensile strain}} = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{F/A}{\Delta L/L_0}$$

สำหรับการหาค่ามอดูลัสของยังจากความถี่เสียง ผู้ทำการทดลองจะออกแรงดึงสายโลหะให้ยืดออกจนสายโลหะตึง จากนั้นทำการติดสายกีตาร์ๆ จะสั่นด้วยความถี่ธรรมชาติ เกิดเสียงที่ค่าความถี่หนึ่ง และเมื่อออกแรงดึงสายโลหะให้ตึงขึ้นเรื่อยๆ พร้อมกับติดสายโลหะทุกครั้งที่ยืดออกจะพบว่า เสียงโลหะมีความถี่ที่เปลี่ยนแปลงไป จากความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของสายโลหะที่เปลี่ยนแปลงไปกับความถี่เสียงที่เปลี่ยนแปลงไปนำมาหาความสัมพันธ์ให้อยู่ในรูปของกราฟจะทำให้ทราบค่ามอดูลัสของยัง ตามสมการ (2-7)

$$f^2 = \frac{YA}{4\mu L_0^3} \Delta L + f_0^2$$

2. ลักษณะและส่วนประกอบของชุดอุปกรณ์



ภาพที่ 12 ส่วนประกอบของชุดอุปกรณ์การทดลองการหาค่ามอดูลัสของยัง

ภาพที่ 12 แสดงส่วนประกอบของชุดอุปกรณ์การทดลองการหาค่ามอดูลัสของยังที่ออกแบบและสร้างขึ้นมีส่วนประกอบสำคัญคือ (1) ส่วนวัดความถี่เสียงจากสายโลหะเป็นสมาร์ทโฟนพร้อมแอปพลิเคชันวัดความถี่เสียง (2) ส่วนวัดแรงตึงในสายโลหะที่ประกอบด้วยเซนเซอร์วัดแรงพร้อมจอแสดงผล (3) ส่วนปรับความยาวสายโลหะที่ประกอบด้วยปั๊มปรับความยาวสายโลหะและแกนหมุน (4) สายโลหะ และ (5) ฐานไม้สำหรับติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ พร้อมจุดตรึงโลหะ

วิธีการทดลอง

- วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสายนิเกิล (D) ด้วยไมโครมิเตอร์ และนำมาคำนวณหาพื้นที่หน้าตัด (A) จาก $A = \frac{\pi D^2}{4}$ และบันทึกผลการทดลอง
- ชั่งมวลของสายโลหะ (m) ด้วยเครื่องชั่งดิจิทัล และความยาวของสายนิเกิลทั้งเส้น (L) ด้วยไม้เมตร และบันทึกผลการทดลอง
- คำนวณหาค่ามวลต่อหน่วยความยาวหรือความหนาแน่นเชิงเส้น (μ)
- นำสายนิเกิลมาติดตั้งที่ชุดอุปกรณ์การทดลอง ตามภาพที่ 12 ปรับความยาวของสายนิเกิลให้ตึง บันทึกค่าความยาวจากเซนเซอร์วัดแรงถึงแกนหมุน (L_i) ด้วยไม้เมตร และบันทึกค่าความยาวจากเซนเซอร์วัดแรงถึงจุดตรึงสายโลหะ (L_0) ด้วยไม้เมตร
- เปิดเครื่องเซนเซอร์วัดแรงและเปิดแอปพลิเคชันวัดค่าความถี่ในสมาร์ทโฟน
- ติดตั้งสายนิเกิลพร้อมทั้งวัดค่าความถี่เสียงที่เกิดขึ้น (f) เมื่อ $\Delta L = 0.000$ mm และบันทึกผลการทดลอง

7. ปรับสายนิกเกิลให้ยาวเพิ่มขึ้น (ΔL) 0.500 mm โดยหมุนปุ่มปรับความยาวสายโลหะ 1 รอบ อ่านค่าแรงดึงในสายนิกเกิล (F) จากจอแสดงผลและบันทึกผลการทดลอง จากนั้น ดึงสายนิกเกิลพร้อมทั้งวัดค่าความถี่เสียงที่เกิดขึ้น (f) และบันทึกผลการทดลอง
8. ทำการทดลองซ้ำข้อ 7 โดยปรับสายโลหะนิกเกิลให้ยาวเพิ่มขึ้น (ΔL) เป็น 1.000 1.500 และ 2.000 mm ตามลำดับ
9. เปลี่ยนสายนิกเกิลและทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 4 ถึง ข้อ 8 จนครบ 5 ครั้ง
10. หาค่าแรงดึงเฉลี่ย (F_{av}) และความถี่เสียงเฉลี่ย (f_{av}) ในแต่ละความยาวที่เพิ่มขึ้น (ΔL)
11. คำนวณหาค่า f^2 จาก f_{av} ในแต่ละความยาวที่เพิ่มขึ้น (ΔL)
12. หาค่ามอดูลัสของยังจากวิธีมาตรฐาน พิจารณาจากสมการที่ (2-2) $Y = \frac{F_{av} / A}{\Delta L / L_i}$ สามารถจัดรูปสมการได้เป็น $F_{av} = \frac{YA\Delta L}{L_i}$ เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง F_{av} กับ ΔL โดยให้ F_{av} อยู่บนแกน y และ ΔL อยู่บนแกน x จะได้กราฟเส้นตรง นำสมการดังกล่าวเทียบกับสมการเส้นตรง $y = mx + c$ เมื่อ m และ c คือความชัน (*Slope*) และจุดตัดแกน y ของกราฟ ตามลำดับ จะได้ว่า ความชัน (*Slope*) = $\frac{YA}{L_i}$ สามารถนำมาจัดรูปสมการใหม่ จะได้สมการซึ่งนำไปใช้ค่ามอดูลัสของยัง ดังนี้ $Y = \frac{L_i \cdot \text{Slope}}{A}$
13. หาค่ามอดูลัสของยังจากความถี่เสียง พิจารณาจากสมการที่ (2-7) $f^2 = \frac{YA}{4\mu L_0^3} \Delta L + f_0^2$ เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง f^2 กับ ΔL โดยให้ f^2 อยู่บนแกน y และ ΔL อยู่บนแกน x จะได้กราฟเส้นตรง นำสมการดังกล่าวเทียบกับสมการเส้นตรง $y = mx + c$ เมื่อ m และ c คือความชัน (*Slope*) และจุดตัดแกน y ของกราฟ ตามลำดับ จะได้ว่า ความชัน (*Slope*) = $\frac{YA}{4\mu L_0^3}$ สามารถนำมาจัดรูปสมการใหม่ จะได้สมการซึ่งนำไปใช้ค่ามอดูลัสของยัง ดังนี้ $Y = \frac{4\mu L_0^3 \cdot \text{Slope}}{A}$
14. หาร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่ามอดูลัสของยังจากความถี่เสียงกับวิธีมาตรฐานเทียบกับค่ามาตรฐาน
15. เปลี่ยนสายโลหะนิกเกิล เป็นทองแดง และนิโครมทำการทดลองซ้ำ ข้อ 1 – ข้อ 14

บทที่ 4

ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการสร้างชุดอุปกรณ์การทดลองหาค่ามอดูลัสของยังจากความถี่เสียงกับวิธีมาตรฐานและเปรียบเทียบค่ามอดูลัสของยังจากความถี่เสียงกับวิธีมาตรฐาน ผู้วิจัยได้ดำเนินการสร้างชุดอุปกรณ์การทดลองหาค่ามอดูลัสของยังจากความถี่เสียงกับวิธีมาตรฐาน และรวบรวมผลการวิจัยเพื่อเปรียบเทียบค่ามอดูลัสของยังจากความถี่เสียงกับวิธีมาตรฐาน โดยมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

การสร้างชุดทดลองหาค่ามอดูลัสของยัง



ภาพที่ 13 ชุดอุปกรณ์การทดลองหาค่ามอดูลัสของยัง

ในงานวิจัยนี้ได้สร้างชุดอุปกรณ์การทดลองหาค่ามอดูลัสของยังจากความถี่เสียงและวิธีมาตรฐาน ดังแสดงในภาพที่ 13 ซึ่งมีส่วนประกอบดังนี้

- (1) ส่วนวัดความถี่เสียงจากสายโลหะ เป็นสมาร์ทโฟนระบบปฏิบัติการ Android พร้อมแอปพลิเคชันวัดความถี่เสียง FrequencyMeasurementTool
- (2) ส่วนวัดแรงดึงในสายโลหะ ประกอบไปด้วยเซนเซอร์วัดแรงที่สามารถทนต่อแรงดึงสูงสุดอยู่ที่ 50 นิวตัน และจอแสดงผล
- (3) ส่วนปรับความยาวสายโลหะ ประกอบด้วยปั๊มปรับความยาวโลหะและแกนหมุนที่ใช้ระบบเฟืองทดรอบ โดยมีการทดรอบเท่ากับ 1:30 นั้นหมายความว่า 1 รอบของการหมุนปั๊มปรับความยาวโลหะเท่ากับ 1/30 รอบของการหมุนแกนหมุน แกนหมุนในชุดทดลองนี้จะมีค่าความยาวเส้นรอบวงเท่ากับ 15.0 mm ดังนั้นเมื่อทำการหมุนปั๊มปรับความยาวโลหะ 1 รอบ จะทำให้ความยาวรอบแกนหมุนเปลี่ยนไป $15.0 \text{ mm}/30 = 0.500 \text{ mm}$

- (4) สายโลหะทั้งหมด 3 ชนิด ได้แก่ นิกเกิล ทองแดง และนิกโครม และ
 (5) ฐานไม้สำหรับติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ พร้อมจุดตรึงสายโลหะ

ผลการทดลอง

ในการวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลจากชุดอุปกรณ์การทดลองในการหาค่ามอดูลัสของยังจากสายโลหะทั้งหมด 3 ชนิด ได้แก่ นิกเกิล ทองแดง และนิกโครม รายละเอียดดังนี้

1. ผลการทดลองหาค่ามอดูลัสของยังจากสายนิกเกิล

เส้นผ่านศูนย์กลางของสายนิกเกิล (D) เท่ากับ 0.150 mm

คำนวณหาพื้นที่หน้าตัดของสายนิกเกิล (A) เท่ากับ $1.77 \times 10^{-8} \text{ m}^2$

มวลของสายนิกเกิล (m) เท่ากับ $2.2 \times 10^{-4} \text{ kg}$

ความยาวของสายนิกเกิลทั้งเส้น (L) เท่ากับ 0.5700 m

คำนวณหาค่ามวลต่อหน่วยความยาวของสายนิกเกิล (μ) เท่ากับ $3.9 \times 10^{-4} \text{ kg/m}$

ความยาวจากเซนเซอร์วัดแรงถึงแกนหมุน (L_i) เท่ากับ 0.420 m

ความยาวจากเซนเซอร์วัดแรงถึงจุดตรึงสายโลหะ (L_0) เท่ากับ 0.290 m

ΔL ($\times 10^{-3} \text{ m}$)	$F_1 (N)$	$F_2 (N)$	$F_3 (N)$	$F_4 (N)$	$F_5 (N)$
0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.500	3.90	3.20	3.20	3.34	3.00
1.000	7.54	7.41	7.34	7.63	7.00
1.500	10.92	11.02	10.42	10.52	10.76
2.000	14.09	13.64	13.56	13.46	14.00

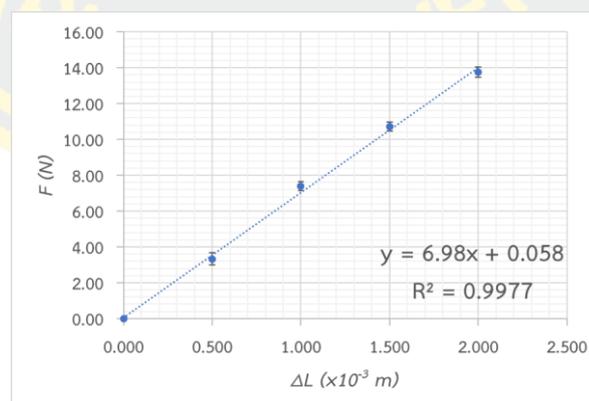
ตารางที่ 1 ข้อมูลค่าความยาวที่เปลี่ยนแปลงไปกับแรงดึงในสายนิกเกิล

ΔL ($\times 10^{-3}$ m)	f_1 (Hz)	f_2 (Hz)	f_3 (Hz)	f_4 (Hz)	f_5 (Hz)
0.000	359	402	369	479	459
0.500	426	447	426	545	489
1.000	456	495	494	581	546
1.500	475	544	531	584	578
2.000	507	587	575	602	628

ตารางที่ 2 ข้อมูลค่าความยาวที่เปลี่ยนแปลงไปกับความถี่เสียงจากสายนิกเกิด

ΔL ($\times 10^{-3}$ m)	F_{av} (N)	S.D.(N)	f_{av} (Hz)	S.D.(Hz)	f^2 (Hz ²)
0.000	0.00	0.00	414	47.84	171065
0.500	3.33	0.34	467	45.45	217716
1.000	7.38	0.24	514	43.91	264607
1.500	10.73	0.26	542	39.17	294198
2.000	13.75	0.28	580	40.47	336168

ตารางที่ 3 ข้อมูลค่าความยาวที่เปลี่ยนแปลงไป แรงดึงเฉลี่ย ความถี่เสียงเฉลี่ยและความถี่เสียงกำลังสองจากสายนิกเกิด



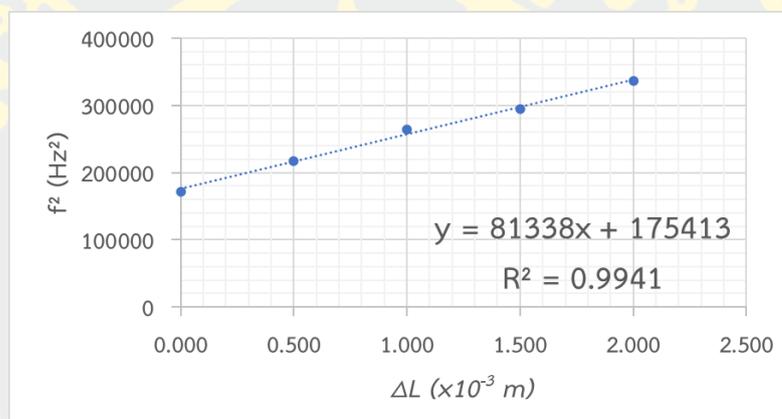
ภาพที่ 14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่เปลี่ยนแปลงไปกับแรงดึงในสายนิกเกิด

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวสายนิกเกิลที่เปลี่ยนแปลงไปกับแรงดึงในสายนิกเกิล ทำให้ได้ค่าความชันของกราฟมีค่า $6.98 \times 10^3 \text{ N/m}$ เมื่อแทนค่าความชัน พื้นที่หน้าตัดของสายนิกเกิล และความยาวจากเซนเซอร์วัดแรงถึงแกนหมุน ลงในสมการ

$$Y = \frac{L_i \cdot \text{Slope}}{A}$$

$$Y = \frac{(0.420\text{m})(6.98 \times 10^3 \text{ N/m})}{1.77 \times 10^{-8} \text{ m}^2}$$

$$Y = 166 \text{ GPa}$$



ภาพที่ 15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่เปลี่ยนแปลงไปกับความถี่เสียงกำลังสองจากสายนิกเกิล

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวสายนิกเกิลที่เปลี่ยนแปลงไปกับความถี่เสียงกำลังสองจากสายนิกเกิล ทำให้ได้ค่าความชันของกราฟมีค่า $8.1338 \times 10^7 \text{ Hz}^2/\text{m}$ เมื่อแทนค่าความชัน ความหนาแน่นเชิงเส้น พื้นที่หน้าตัดของสายนิกเกิล และความยาวจากเซนเซอร์วัดแรงถึงจุดตรึงสายโลหะ ลงในสมการ

$$Y = \frac{4\mu L_0^3 \cdot \text{Slope}}{A}$$

$$Y = \frac{4(3.9 \times 10^{-4} \text{ kg/m})(0.290^3)(8.1338 \times 10^7 \text{ Hz}^2/\text{m})}{(1.77 \times 10^{-8} \text{ m}^2)}$$

$$Y = 175 \text{ GPa}$$

เมื่อได้ค่ามอดูลัสของยังจากความถี่เสียงและจากวิธีมาตรฐาน หาร้อยละความคลาดเคลื่อนได้

จากสมการ

$$\%error = \frac{|166GPa - 175GPa|}{166GPa} \times 100\%$$

$$\%error = 5.42\%$$

2. ผลการทดลองหาค่ามอดูลัสของยังจากสายทองแดง

เส้นผ่านศูนย์กลางของสายทองแดง (D) เท่ากับ 0.120 mm

คำนวณหาพื้นที่หน้าตัดของสายทองแดง (A) เท่ากับ $1.13 \times 10^{-8} \text{ m}^2$

มวลของสายทองแดง (m) เท่ากับ $2.6 \times 10^{-4} \text{ kg}$

ความยาวของสายทองแดงทั้งเส้น (L) เท่ากับ 0.6000 m

คำนวณหาค่ามวลต่อหน่วยความยาวของสายทองแดง (μ) เท่ากับ $4.3 \times 10^{-4} \text{ kg/m}$

ความยาวจากเซนเซอร์วัดแรงถึงแกนหมุน (L_i) เท่ากับ 0.420 m

ความยาวจากเซนเซอร์วัดแรงถึงจุดตรึงสายโลหะ (L_0) เท่ากับ 0.290 m

ΔL ($\times 10^{-3} \text{ m}$)	$F_1(N)$	$F_2(N)$	$F_3(N)$	$F_4(N)$	$F_5(N)$
0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.500	1.63	1.50	1.47	1.38	1.45
1.000	3.24	3.86	3.26	3.87	3.42
1.500	4.62	5.70	4.98	4.36	4.84
2.000	6.45	6.27	6.78	7.03	6.96

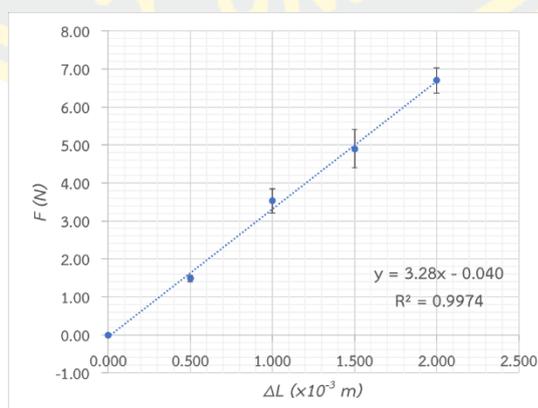
ตารางที่ 4 ข้อมูลค่าความยาวที่เปลี่ยนแปลงไปกับแรงดึงในสายทองแดง

ΔL ($\times 10^{-3}$ m)	f_1 (Hz)	f_2 (Hz)	f_3 (Hz)	f_4 (Hz)	f_5 (Hz)
0.000	98	100	114	104	112
0.500	146	158	153	144	154
1.000	198	188	187	184	191
1.500	236	226	235	231	248
2.000	270	264	259	274	283

ตารางที่ 5 ข้อมูลค่าความยาวที่เปลี่ยนแปลงไปกับความถี่เสียงจากสายทองแดง

ΔL ($\times 10^{-3}$ m)	F_{av} (N)	S.D.(N)	f_{av} (Hz)	S.D.(Hz)	f^2 (Hz ²)
0.000	0.00	0.00	106	6.37	11151
0.500	1.49	0.09	151	5.22	22801
1.000	3.53	0.31	190	4.76	35948
1.500	4.90	0.50	235	7.30	55319
2.000	6.69	0.33	270	8.27	72900

ตารางที่ 6 ข้อมูลค่าความยาวที่เปลี่ยนแปลงไป แรงดึงเฉลี่ย ความถี่เสียงเฉลี่ยและความถี่เสียงกำลังสองจากสายทองแดง



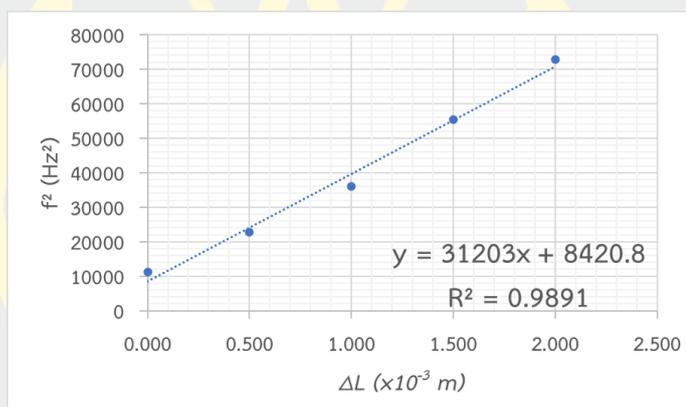
ภาพที่ 16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่เปลี่ยนแปลงไปกับแรงดึงในสายทองแดง

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวสายทองแดงที่เปลี่ยนแปลงไปกับแรงดึงในสายทองแดงทำให้ได้ค่าความชันของกราฟมีค่า $3.28 \times 10^3 \text{ N/m}$ เมื่อแทนค่าความชัน พื้นที่หน้าตัดของสายทองแดง และความยาวจากเซนเซอร์วัดแรงถึงแกนหมุน ลงในสมการ

$$Y = \frac{L_i \cdot \text{Slope}}{A}$$

$$Y = \frac{(0.420\text{m})(3.28 \times 10^3 \text{ N/m})}{1.13 \times 10^{-8} \text{ m}^2}$$

$$Y = 122 \text{ GPa}$$



ภาพที่ 17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่เปลี่ยนแปลงไปกับความถี่เสียงกำลังสองจากสายทองแดง

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวสายทองแดงที่เปลี่ยนแปลงไปกับความถี่เสียงกำลังสองจากสายทองแดง ทำให้ได้ค่าความชันของกราฟมีค่า $3.1023 \times 10^7 \text{ Hz}^2/\text{m}$ เมื่อแทนค่าความชัน ความหนาแน่นเชิงเส้น พื้นที่หน้าตัดของสายทองแดง และความยาวจากเซนเซอร์วัดแรงถึงจุดตรึงสายโลหะ ลงในสมการ

$$Y = \frac{4\mu L_0^3 \cdot \text{Slope}}{A}$$

$$Y = \frac{4(4.3 \times 10^{-4} \text{ kg/m})(0.290^3)(3.1023 \times 10^7 \text{ Hz}^2/\text{m})}{1.13 \times 10^{-8} \text{ m}^2}$$

$$Y = 116GPa$$

เมื่อได้ค่ามอดูลัสของยังจากความถี่เสียงและจากวิธีมาตรฐาน หาร้อยละความคลาดเคลื่อนได้
จากสมการ

$$\%error = \frac{|122GPa - 116GPa|}{122GPa} \times 100\%$$

$$\%error = 4.92\%$$

3. ผลการทดลองหาค่ามอดูลัสของยังจากสายนิโครม

เส้นผ่านศูนย์กลางของสายนิโครม (D) เท่ากับ 0.180 mm

คำนวณหาพื้นที่หน้าตัดของสายนิโครม (A) เท่ากับ $2.55 \times 10^{-8} \text{ m}^2$

มวลของสายนิโครม (m) เท่ากับ $2.5 \times 10^{-4} \text{ kg}$

ความยาวของสายนิโครมทั้งเส้น (L) เท่ากับ 0.5700 m

คำนวณหาค่ามวลต่อหน่วยความยาวของสายนิโครม (μ) เท่ากับ $4.4 \times 10^{-4} \text{ kg/m}$

ความยาวจากเซนเซอร์วัดแรงถึงแกนหมุน (L_i) เท่ากับ 0.420 m

ความยาวจากเซนเซอร์วัดแรงถึงจุดตรึงสายโลหะ (L_0) เท่ากับ 0.290 m

ΔL ($\times 10^{-3} \text{ m}$)	$F_1(N)$	$F_2(N)$	$F_3(N)$	$F_4(N)$	$F_5(N)$
0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.500	5.70	5.24	5.64	5.40	5.38
1.000	9.45	9.85	9.78	9.21	8.86
1.500	16.30	14.00	15.13	15.14	14.88
2.000	19.60	19.46	17.82	17.94	18.56

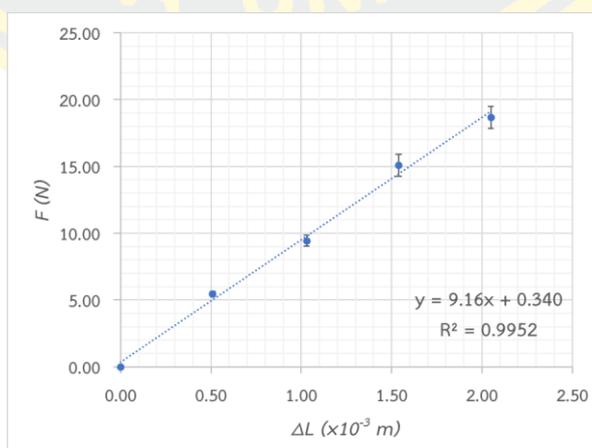
ตารางที่ 7 ข้อมูลค่าความยาวที่เปลี่ยนแปลงไปกับแรงดึงในสายนิโครม

ΔL ($\times 10^{-3}$ m)	f_1 (Hz)	f_2 (Hz)	f_3 (Hz)	f_4 (Hz)	f_5 (Hz)
0.000	236	243	229	224	222
0.500	271	345	349	321	344
1.000	390	385	379	369	376
1.500	447	443	451	449	435
2.000	468	486	497	498	485

ตารางที่ 8 ข้อมูลค่าความยาวที่เปลี่ยนแปลงไปกับความถี่เสียงจากสายนิโครม

ΔL ($\times 10^{-3}$ m)	F_{av} (N)	S.D.(N)	f_{av} (Hz)	S.D.(Hz)	f^2 (Hz ²)
0.000	0.00	0.00	231	6.37	53269
0.500	5.47	0.19	326	5.22	106276
1.000	9.43	0.41	380	4.76	144248
1.500	15.09	0.82	445	7.30	198025
2.000	18.68	0.83	487	8.27	236974

ตารางที่ 9 ข้อมูลค่าความยาวที่เปลี่ยนแปลง แรงดึงเฉลี่ย ความถี่เฉลี่ยและความถี่กำลังสองจากสายนิโครม



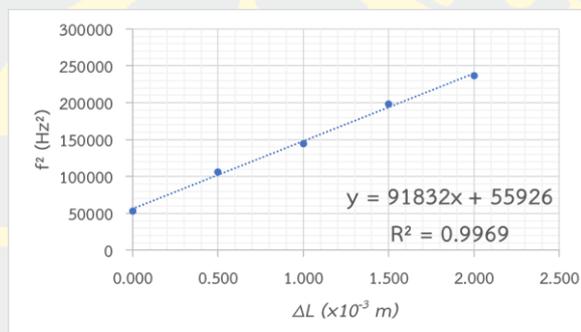
ภาพที่ 18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่เปลี่ยนแปลงไปกับแรงดึงในสายนิโครม

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวสายนิโครมที่เปลี่ยนแปลงไปกับแรงดึงในสายนิโครม ทำให้ได้ค่าความชันของกราฟมีค่า $9.16 \times 10^3 \text{ N/m}$ เมื่อแทนค่าความชัน พื้นที่หน้าตัดของสายนิโครม และความยาวจากเซนเซอร์วัดแรงถึงแกนหมุน ลงในสมการ

$$Y = \frac{L_i \cdot \text{Slope}}{A}$$

$$Y = \frac{(0.420\text{m})(9.16 \times 10^3 \text{ N/m})}{2.55 \times 10^{-8} \text{ m}^2}$$

$$Y = 151\text{GPa}$$



ภาพที่ 19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่เปลี่ยนแปลงไปกับความถี่เสียงกำลังสองจากสายนิโครม

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวสายนิโครมที่เปลี่ยนแปลงไปกับความถี่เสียงกำลังสองจากสายนิโครม ทำให้ได้ค่าความชันของกราฟมีค่า $9.1832 \times 10^7 \text{ Hz}^2/\text{m}$ เมื่อแทนค่าความชัน ความหนาแน่นเชิงเส้น พื้นที่หน้าตัดของสายนิโครม และความยาวจากเซนเซอร์วัดแรงถึงจุดตรึงสายโลหะ ลงในสมการ

$$Y = \frac{4\mu L_0^3 \cdot \text{Slope}}{A}$$

$$Y = \frac{4(4.4 \times 10^{-4} \text{ kg/m})(0.290^3)(9.1832 \times 10^7 \text{ Hz}^2/\text{m})}{2.55 \times 10^{-8} \text{ m}^2}$$

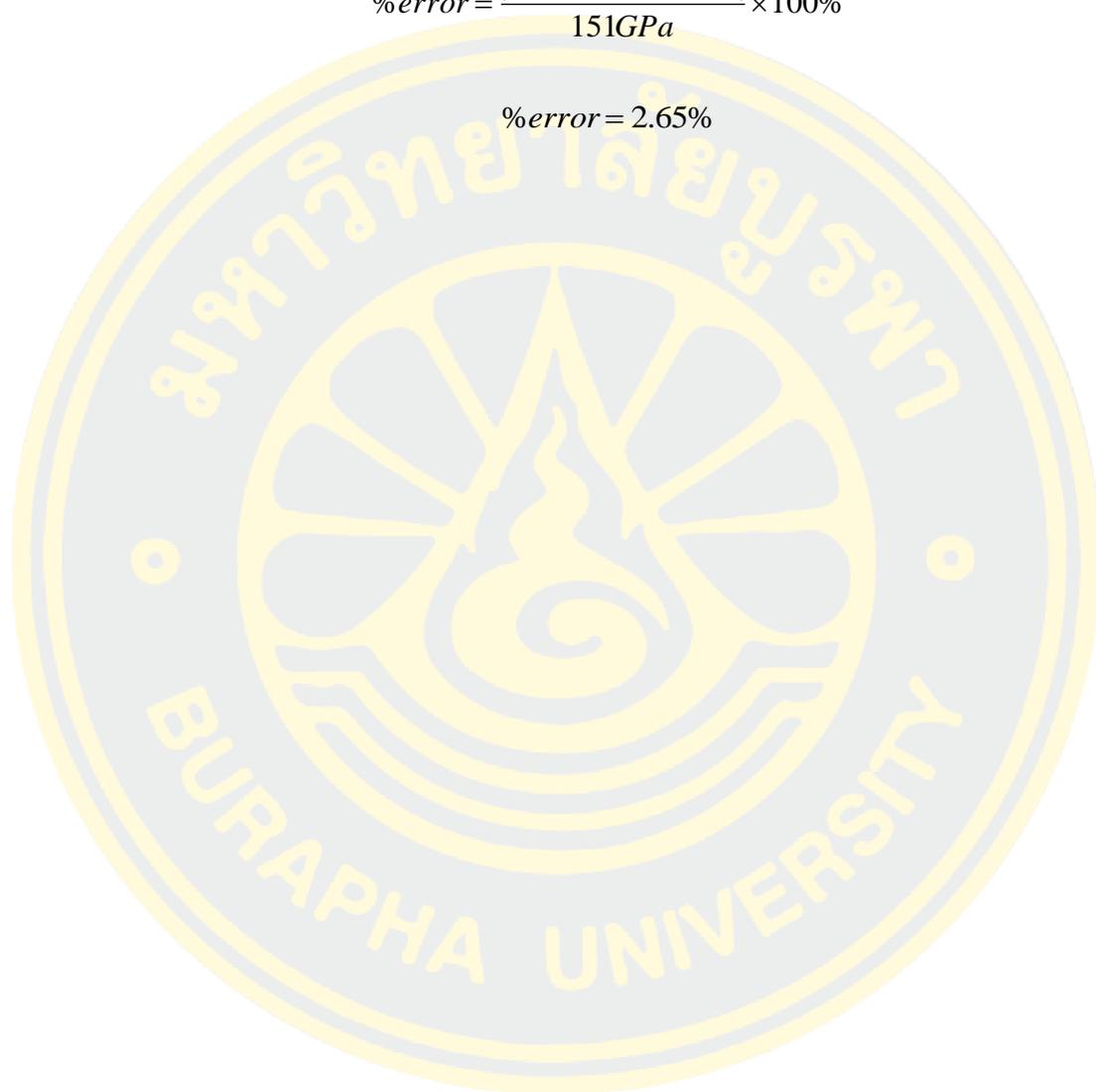
$$Y = 155\text{GPa}$$

เมื่อได้ค่ามอดูลัสของยังจากความถี่เสียงและจากวิธีมาตรฐาน หาร้อยละความคลาดเคลื่อนได้

จากสมการ

$$\%error = \frac{|151GPa - 155GPa|}{151GPa} \times 100\%$$

$$\%error = 2.65\%$$



บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและอภิปรายผล

สรุปผลการวิจัย

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่เปลี่ยนแปลงไปกับแรงดึงในสายโลหะทั้ง 3 ชนิด จะเห็นว่า เมื่อให้ความยาวที่เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น ค่าแรงดึงในสายโลหะจะเพิ่มขึ้น และจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่เปลี่ยนแปลงไปกับความถี่เสียงกำลังสองจากสายโลหะ จะเห็นว่า เมื่อให้ความยาวที่เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น ค่าความถี่เสียงกำลังสองจะเพิ่มขึ้น และกราฟความสัมพันธ์ที่ได้เป็นเส้นตรงซึ่งสอดคล้องกับช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงตามกฎของฮุก ซึ่งเป็นช่วงที่สามารถนำไปหาค่ามอดูลัสของยังได้ และผลการทดลองหาค่ามอดูลัสของยังจากความถี่เสียงกับวิธีมาตรฐาน และค่าหาร้อยละความคลาดเคลื่อนจากสายโลหะทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ นิกเกิล ทองแดง และนิโครม พบว่าค่ามอดูลัสของยังของสายนิกเกิลจากความถี่เสียงกับวิธีมาตรฐาน มีค่า 175 GPa และ 166 GPa ตามลำดับ จะได้ร้อยละความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 5.42 ค่ามอดูลัสของยังของสายทองแดงจากความถี่เสียงกับวิธีมาตรฐาน มีค่า 116 GPa และ 122 GPa ตามลำดับ จะได้ร้อยละความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 4.92 และค่ามอดูลัสของยังของสายนิโครมจากความถี่เสียงกับวิธีมาตรฐาน มีค่า 155 GPa และ 151 GPa ตามลำดับ จะได้ร้อยละความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 2.65

อภิปรายผล

จากผลการทดลองพบว่า เมื่อให้ความยาวของสายโลหะเพิ่มขึ้นเท่าๆ กัน ค่าแรงดึงในสายโลหะนิโครมจะมีค่ามากกว่านิกเกิล และค่าแรงดึงในสายโลหะนิกเกิลจะมีค่ามากกว่าทองแดง ส่วนค่าความถี่เสียงกำลังสองในสายโลหะนิกเกิลจะมีค่ามากกว่านิโครม และค่าแรงดึงในสายโลหะนิโครมจะมีค่ามากกว่าทองแดง แต่ค่ามอดูลัสของยังกลับพบว่า ค่ามอดูลัสของยังของสายโลหะนิกเกิลมีค่าสูงกว่านิโครม และค่ามอดูลัสของยังของสายโลหะนิโครมมีค่าสูงกว่าทองแดง นั่นเป็นเพราะว่า ปริมาณที่ส่งผลต่อค่ามอดูลัสของยังไม่ได้มีเพียงแรงดึงเท่านั้น แต่ยังมีค่าความยาวเริ่มต้นและพื้นที่หน้าตัดของสายโลหะด้วยที่ส่งผลต่อค่ามอดูลัสของยัง สำหรับชุดการทดลองนี้ได้กำหนดให้สายโลหะทั้ง 3 ชนิดมีความยาวเริ่มต้นเท่ากัน แต่ขนาดพื้นที่หน้าตัดของสายโลหะต่างกัน นั่นแสดงให้เห็นว่า พื้นที่หน้าตัดของสายโลหะเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อค่ามอดูลัสของยัง สำหรับค่ามอดูลัสของยังของสายโลหะทั้ง 3 ชนิดที่ได้จากค่าความถี่เสียง จะเห็นว่ามีความใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากวิธีมาตรฐาน และร้อยละความคลาดเคลื่อนที่ได้ไม่เกิน 10 ซึ่งโดยทั่วไปถือว่าเป็นค่าร้อยละที่ยอมรับได้สำหรับการทดลอง นั่นแสดงว่าหาค่ามอดูลัสของยังจากความถี่เสียงที่ออกแบบและสร้างขึ้นนี้สามารถนำมาใช้ในการจัดการ

เรียนการสอนได้ตรงตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ สำหรับการขยายขอบเขตของงานวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยคิดว่าชุดทดลองนี้สามารถนำไปใช้ศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับจุดสิ้นสุดของการแปรผันตรง และจุดสิ้นสุดของสภาพยืดหยุ่นของวัสดุได้ รวมทั้งการศึกษาสมบัติของวัสดุอื่นอย่างเช่น สายพลาสติก หรือสายโลหะอื่นๆ สำหรับการต่อยอดงานวิจัยในอนาคต คณะผู้วิจัยคิดว่าชุดทดลองนี้สามารถนำไปประยุกต์ ดัดแปลง หรือประกอบเข้ากับชุดการทดลองอื่นได้ ทดลองเนื่องจากเป็นชุดที่ออกแบบและสร้างขึ้นเองของคณะผู้วิจัย

ข้อเสนอแนะ

1. เมื่อสายโลหะจากการทดลองถูกปรับให้มีความยาวเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้พื้นที่หน้าตัดของสายโลหะเปลี่ยนแปลงไปและส่งผลต่อความคลาดเคลื่อนของค่ามอดูลัสของยังที่หาค่าได้ ดังนั้น การหาค่ามอดูลัสของยังจากชุดอุปกรณ์นี้จะต้องไม่ถูกดึงสายโลหะมากจนเกินไป จนทำให้พื้นที่หน้าตัดเปลี่ยนแปลงไปและส่งผลต่อค่ามอดูลัสของยัง

บรรณานุกรม

Pols, F. (2021). The sound of music:determining Young's modulus using a guitar string. *Physics Education*, 56, 035027.

Serway, R. A., & Vuille, C. (2010). *College Physics*. Belmont: Brooks/Cole.

Serway, R. A., & Jewett, W. J. (2008). *physics for scientists and engineers*. United States of America: Physical Sciences: Mary Finch.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ. (2563). *หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ฟิสิกส์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 เล่ม 5*. (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: สกสศ ลาดพร้าว.

Singh, H. (2006). *Laboratory manual physics class XI*. New Delhi:The national council of educational research and training (NCERT).

Bestech Australia. (2018). *Modulus of elasticity young's modulus for some common materials*. ค้นเมื่อ 16 เมษายน 2022, จาก <https://www.bestech.com.au/wp-content/uploads/Modulus-of-Elasticit>.

Azom materials. (2001). *Nickel Chrome Alloys - Properties and Applications*. ค้นเมื่อ 16 เมษายน 2022, จาก <https://www.azom.com/aboutus.aspx>

ประวัติย่อของผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	นายพิษณุ นพมณี
วัน เดือน ปี เกิด	26 สิงหาคม 2536
สถานที่เกิด	นครสวรรค์
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	65 หมู่ 7 ตำบล บางประมง อำเภอ โกรกพระ จังหวัด นครสวรรค์ 60170
ตำแหน่งและประวัติการทำงาน	2560 - ปัจจุบัน ตำแหน่งครู โรงเรียนระยองวิทยาคม
ประวัติการศึกษา	ปริญญาตรี สาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ และสาขาการศึกษา วิทยาลัยการศึกษา มหาวิทยาลัยพะเยา

