การพัฒนาชุดทดลองเพื่อหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะโดยใช้เทคนิคทางแสง

อุษณีย์ อัยรา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาฟิสิกส์ศึกษา
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
กรกฎาคม 2558
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของ อุษณีย์ อัยรา ฉบับนี้แล้วเห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ศึกษา ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(ดร. ณรงค์ อึ้งกิมป้วน)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธาน
(ดร. วทัญญู รอดประพัฒน์)

..... กรรมการ
(ดร. ณรงค์ อึ้งกิมป้วน)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์สำเภา จงจิตต์)

..... กรรมการ
(ดร. อภิชาติ เนียมวงษ์)

คณะวิทยาศาสตร์อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ศึกษา ของมหาวิทยาลัยบูรพา

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เอกรัฐ ศรีสุข)
วันที่ 24 เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2558

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจาก ดร.ณรงค์ อึ้งกิมบ้วน อาจารย์ที่ปรึกษาที่กรุณาให้คำแนะนำแนวทางที่ถูกต้องตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความละเอียดถี่ถ้วนและเอาใจใส่ด้วยดีเสมอมา ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่กรุณาตรวจสอบ ประเมินประสิทธิภาพของชุดทดลองและให้ข้อเสนอแนะต่าง ๆ ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการพัฒนางานวิจัยให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังได้รับความอนุเคราะห์จากท่านผู้อำนวยการโรงเรียนสองพี่น้องวิทยา เพื่อนครูและนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2556 ที่เป็นกลุ่มตัวอย่างและให้ความร่วมมือเป็นอย่างดีในการเก็บรวบรวมข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และเพื่อน ๆ หลักสูตร วทม.ฟิสิกส์ศึกษา รุ่นที่ 8 ทุกคนที่ให้กำลังใจและสนับสนุนผู้วิจัยเสมอมา

คุณค่าและประโยชน์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นกตัญญูกตเวทีแด่บุพการีบูรพาจารย์และผู้มีพระคุณทุกท่านทั้งในอดีตและปัจจุบัน ที่ทำให้ข้าพเจ้าเป็นผู้มีการศึกษาและประสบความสำเร็จมาจนตราบเท่าทุกวันนี้

อุษณีย์ อัยรา

53990191: สาขาวิชา: ฟิสิกส์ศึกษา; วท.ม. (ฟิสิกส์ศึกษา)
คำสำคัญ: ชุดทดลอง/ มอดูลัสของยัง/ ลวดโลหะ

อุษณีย์ อัยรา: การพัฒนาชุดทดลองเพื่อหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะโดยใช้เทคนิคทางแสง (DEVELOPMENT OF AN APPARATUS TO DETERMINE THE YOUNG'S MODULUS OF METALS WIRE USING OPTICAL TECHNIQUES) คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์: ณรงค์ อึ้งกิมบ้วน, ปร.ด.153 หน้า. ปี พ.ศ. 2558.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อพัฒนาชุดทดลองสำหรับหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะโดยใช้เทคนิคทางแสง ทำการทดสอบและปรับเทียบความถูกต้องของชุดทดลองที่พัฒนาขึ้นโดยใช้ลวดโลหะที่ทราบค่ามาตรฐาน ได้แก่ ลวดทองเหลืองและลวดเหล็ก จากนั้นใช้ชุดทดลองทำการทดสอบหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะที่ไม่ทราบค่ามาตรฐาน ได้แก่ ลวดทองแดงและลวดสเตนเลส

จากการทดสอบชุดทดลองเพื่อหาค่ามอดูลัสของยัง โดยใช้ลวดโลหะที่ทราบค่ามาตรฐาน พบว่าค่ามอดูลัสของยังของลวดทองเหลืองและลวดเหล็กมีค่าเท่ากับ $(0.901 \pm 0.002) \times 10^{11}$ N/m^2 และ $(2.210 \pm 0.001) \times 10^{11}$ N/m^2 ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบค่ามอดูลัสของยังที่ได้จากชุดทดลองกับค่ามอดูลัสของยังมาตรฐานสำหรับลวดทองเหลืองและลวดเหล็กพบว่า ร้อยละความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 6.17 และ 9.19 ตามลำดับ จากผลการทดลองที่ได้พบว่าชุดทดลองให้ค่าความแม่นยำสูง ดังนั้น ชุดทดลองสามารถใช้ทดสอบหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะที่ไม่ทราบค่ามาตรฐานได้ ได้แก่ ลวดทองแดงและลวดสเตนเลส ซึ่งจากการทดสอบหาค่ามอดูลัสของยังของลวดทองแดงและลวดสเตนเลส พบว่าค่ามอดูลัสของยังของลวดทองแดงและลวดสเตนเลส มีค่าเท่ากับ $(1.570 \pm 0.004) \times 10^{11}$ N/m^2 และ $(1.490 \pm 0.002) \times 10^{11}$ N/m^2 ตามลำดับ

53990191: MAJOR: PHYSICS EDUCATION; M.Sc. (PHYSICS EDUCATION)
KEYWORDS: EXPERIMENT APPARATUS/ YOUNG'S MODULUS/ METALS WIRE

UDSANEE AIYARA: DEVELOPMENT OF AN APPARATUS TO DETERMINE THE YOUNG'S MODULUS OF METALS WIRE USING OPTICAL TECHNIQUES. ADVISORY COMMITTEE: NARONG UENGKIMBUAN, Ph.D. 153 P. 2015.

The objective of this research is to develop the experimental apparatus for determining the Young's modulus of metal wire using optical techniques. By the experiments, the apparatus is designed, set up, and calibrated using standard metal wire (brass wire and steel wire). After that, the apparatus is used to determine the Young's modulus of the unknown metal wire such as copper wire and stainless steel wire.

By testing the apparatus with the standard wire, the results show that the Young's modulus of brass and steel wire are $(0.901 \pm 0.002) \times 10^{11}$ N/m^2 and $(2.210 \pm 0.001) \times 10^{11}$ N/m^2, respectively. To compare the standard data, the apparatus gives the experimental error of 6.17 % and 9.19 % for brass and steel wire, respectively. The experimental data from an apparatus have a high accuracy. Thus, the apparatus can use to determine the Young's modulus of unknown metal wire. Finally, determining the Young's modulus of the unknown metal using the apparatus, the results show that the Young's modulus of copper and stainless steel wire are $(1.570 \pm 0.004) \times 10^{11}$ N/m^2 and $(1.490 \pm 0.0\ 02) \times 10^{11}$ N/m^2, respectively.

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย…….. ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ……..… จ

สารบัญ…….…… ฉ

สารบัญตาราง…… ซ

สารบัญภาพ…….. ฌ

บทที่

1 บทนำ……..……..…… 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา……..…..……... 1

วัตถุประสงค์ของการวิจัย……..……... 2

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย……...…… 3

ขอบเขตของการวิจัย……...…….. 3

นิยามศัพท์เฉพาะ……..… 3

2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง……..……..……..… 5

ความเค้น……..……...…….…… 5

ความเครียด……...……... 6

มอดูลัสของยัง……..…… 8

การสะท้อนแสง……... 11

การออกแบบและการสร้างชุดทดลอง……..…… 13

การสอนแบบทดลอง……..…...…….. 18

การประเมินชุดทดลอง……...…….. 19

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง……...…...…….. 20

3 วิธีดำเนินการวิจัย……...……... 22

การพัฒนาชุดทดลอง……..….. 23

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
3	การทดลองหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะโดยชุดทดลองที่พัฒนาขึ้น……..	30
	การจัดทำเอกสารประกอบชุดทดลอง……..……	32
	การประเมินชุดทดลอง……	33
4	ผลการวิจัย……..…….…….	35
	ผลการพัฒนาชุดทดลองหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะโดยใช้เทคนิคทางแสง	35
	ผลการทดสอบความถูกต้องของชุดทดลองจากการหาระยะ X ที่เหมาะสม..…..…	41
	ผลการประเมินชุดทดลอง……	56
5	อภิปรายและสรุปผล……	59
	อภิปรายผล……..…….……	59
	สรุปผลการทดลอง……..	61
	ข้อเสนอแนะ……	62
	ข้อควรระวัง……..……	62
บรรณานุกรม……..……..……		63
ภาคผนวก…….		65
ภาคผนวก ก……..……...		66
ภาคผนวก ข……..……...		80
ภาคผนวก ค……..……....		85
ภาคผนวก ง……..…….....		127
ประวัติย่อของผู้วิจัย……..		153

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2-1 มอดูลัสความยืดหยุ่นของโลหะ ……..……..…… 11

4-1 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะยืดของลวดทองเหลืองกับมวลถ่วง ที่ระยะ 1.0 m……. 42

4-2 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะยืดของลวดทองเหลืองกับมวลถ่วง ที่ระยะ 1.5 m……. 44

4-3 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะยืดของลวดทองเหลืองกับมวลถ่วง ที่ระยะ 2.0 m……. 46

4-4 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะยืดของลวดทองเหลืองกับมวลถ่วง ที่ระยะ 2.5 m……. 48

4-5 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะยืดของลวดเหล็กกับมวลถ่วง……. 51

4-6 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะยืดของลวดทองแดงกับมวลถ่วง…… 53

4-7 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะยืดของลวดสเตนเลสกับมวลถ่วง……... 55

4-8 ผลการวิเคราะห์ค่าดัชนีความสอดคล้อง IOC ความเหมาะสมของชุดทดลองจาก
ดุลยพินิจของผู้เชี่ยวชาญ…….. 57

4-9 ผลการวิเคราะห์ความคิดเห็นของนักเรียนที่มีต่อชุดทดลอง……. 58

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

2-1 แรงดึงกระทำกับวัตถุ…….…….. 6

2-2 แสดงแรงที่มากระทำต่อวัตถุทำให้เกิดความเครียดเชิงเส้น……...…… 7

2-3 แสดงแรงที่มากระทำต่อวัตถุทำให้เกิดความเครียดเฉือน…….…… 7

2-4 กราฟระหว่างแรงดึงกับความยาวของลวดโลหะที่เพิ่มขึ้น…… 9

2-5 เปรียบเทียบการสะท้อรของแสงของวัตถุที่มีผิวเรียบและผิวขรุขระ……. 11

2-6 การสะท้อนของแสงบนกระจกเงาราบ……..…… 12

2-7 แนวลำแสงจากการกระทบวัตถุที่กระจกเงาราบ……...… 12

2-8 การเกิดภาพของจุดเนื่องจากกระจกเงาราบ……..……. 13

2-9 ขั้นตอนการออกแบบและสร้างชุดทดลอง…… 14

3-1 แสดงแรงกระทำต่อวัตถุที่เป็นเส้นทำให้วัตถุมีความยาวเพิ่มขึ้น……... 23

3-2 ไดอะแกรมของชุดทดลอง…….....……..... 25

3-3 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะยืดของลวดกับภาพที่ปรากฏบนฉากรับภาพ…….…. 26

3-4 การจัดตั้งชุดทดลอง…….. 28

4-1 ชุดทดลองที่พัฒนาขึ้น……...……...…… 38

4-2 อุปกรณ์ประกอบชุดทดลอง แหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์พอยเตอร์…… 38

4-3 อุปกรณ์ประกอบชุดทดลอง ลวดโลหะทดสอบชนิดต่างๆ…… 39

4-4 อุปกรณ์ประกอบชุดทดลอง……...……..... 39

4-5 การทดสอบชุดทดลองโดยใช้ลวดทองเหลือง ให้แสงเลเซอร์ตกกระทบกระจกเงาราบ… 40

4-6 การทดสอบชุดทดลอง ทำเครื่องหมายแสดงจุดที่แสงเลเซอร์ปรากฏบนกระดาษกราฟ
เมื่อลดและเพิ่มมวลถ่วง……. 40

4-7 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะยืดของลวดทองเหลืองกับมวลถ่วง ที่ระยะ 1.0 เมตร……. 43

4-8 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะยืดของลวดทองเหลืองกับมวลถ่วง ที่ระยะ 1.5 เมตร……. 45

4-9 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะยืดของลวดทองเหลืองกับมวลถ่วง ที่ระยะ 2.0 เมตร……. 47

4-10 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะยืดของลวดทองเหลืองกับมวลถ่วง ที่ระยะ 2.5 เมตร…...… 49

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

4-11 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะยืดของลวดเหล็กกับมวลถ่วง……..…… 52

4-12 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะยืดของลวดทองแดงกับมวลถ่วง……...…… 54

4-13 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะยืดของลวดสเตนเลสกับมวลถ่วง…….. 56

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การศึกษาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เป็นปัจจัยที่สำคัญยิ่งปัจจัยหนึ่งในการพัฒนาทรัพยากรมนุษย์ที่จะนำไปสู่การพัฒนาทางด้านเทคโนโลยี เศรษฐกิจและสังคมของประเทศ ในปัจจุบันเป็นที่ยอมรับกันว่าวิทยาการด้านวิทยาศาสตร์นั้น มีองค์ประกอบที่สำคัญอยู่ 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นองค์ความรู้และส่วนที่เป็นกระบวนการแสวงหาความรู้ ดังนั้นการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่สมบูรณ์ ผู้เรียนควรได้รับการปลูกฝังให้เกิดการเรียนรู้ทั้ง 2 ส่วนนี้ เพื่อส่งผลให้ผู้เรียนเป็นผู้ที่มีความสามารถในการแก้ปัญหาต่าง ๆ และทำให้สามารถปรับตัวอยู่ในสังคมได้อย่างดี (วีระชาติ ส่วนไพรินทร์, 2531, หน้า 34)

วิชาฟิสิกส์เป็นสาขาหนึ่งของวิทยาศาสตร์ที่ศึกษาเกี่ยวกับความจริงที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ เพื่อให้ผู้เรียนเกิดความเข้าใจในปรากฏการณ์ธรรมชาติและสามารถค้นคว้าหาข้อเท็จจริงอย่างมีเหตุผลและเป็นพื้นฐาน สาเหตุและผลที่เกิดขึ้นตลอดจนควบคุมและพัฒนาให้เกิดประโยชน์มากที่สุด วิชาฟิสิกส์จึงเป็นความรู้พื้นฐานที่สำคัญสำหรับการศึกษาด้านวิศวกรรมศาสตร์ เกษตรศาสตร์ แพทยศาสตร์ นอกจากนี้ สุขุม ศรีธัญรัตน์ (2524, คำแถลง) ได้กล่าวว่า “วิชาฟิสิกส์ต้องเป็นการสอนแบบมีการทดลอง เป็นรากฐานการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ โดยมีครูเป็นผู้ชี้แนะและมุ่งปลูกฝังให้มีความรู้ความเข้าใจในเนื้อหาวิชาวิทยาศาสตร์ที่จำเป็นแก่การดำรงชีวิตในสังคม ให้เกิดทักษะที่จำเป็นในด้านการค้นหาความรู้เพิ่มเติมด้วยตนเอง”

การเรียนการสอนในรายวิชาฟิสิกส์ทุกระดับ จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีสื่อการสอนและการทดลองประกอบคำอธิบาย โดยที่สื่อการสอนที่ดีจะต้องเป็นสื่อกลางที่ก่อให้เกิดสถานการณ์ให้ผู้เรียนได้เกิดการรับรู้และสามารถตอบสนองได้ นำมาซึ่งความเข้าใจในปัญหา สามารถดำเนินการสังเกต รวบรวมข้อมูล ตามขั้นตอนของกระบวนการแสวงหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ นำไปสู่การสรุปความรู้ในเนื้อหาบทเรียนและเข้าใจความสัมพันธ์ต่อเนื่องของบทเรียน

วิธีการที่จะช่วยแก้ปัญหาดังกล่าวข้างต้นได้แนวทางหนึ่ง อันเนื่องจากนักเรียนขาดความรู้ความเข้าใจ หลักการพื้นฐานตลอดจนความคิดรวบยอดและทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ก็คือการสร้างและพัฒนาอุปกรณ์มาทดแทน การได้มาซึ่งอุปกรณ์ทดแทนนอกจากจะช่วยให้มีอุปกรณ์เพียงพอในการเรียนการสอนแล้วยังช่วยให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้อย่างกว้างขวาง

ลึกซึ้งยิ่งขึ้น อันจะช่วยให้เกิดความเข้าใจบทเรียน ตลอดจนมองเห็นคุณค่าวัสดุในท้องถิ่นอีกด้วย (Sharma, 1982, pp.262-263)

จากการศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุ (Mechanical Properties) พวกโลหะเมื่อออกแรงดึงเส้นลวดโลหะ แรงดึงซึ่งกระทำในแนวตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัดของเส้นลวด เรียกว่า ความเค้น และขณะที่ออกแรงดึงเส้นลวด เส้นลวดจะยืดออก ซึ่งอัตราส่วนระหว่างความยาวที่เพิ่มขึ้นกับความยาวเดิม เรียกว่า ความเครียด ภายในขีดจำกัดสภาพยืดหยุ่นอัตราส่วนระหว่างความเค้นและความเครียดของวัสดุจะมีค่าคงตัวเสมอและเป็นค่าคงตัวประจำสำหรับวัสดุหนึ่ง ๆ เรียกว่า ค่ามอดูลัสของยัง (Young's modulus) หรือมอดูลัสของสภาพยืดหยุ่น (modulus of elasticity) เป็นค่าที่บอกระดับความแข็งแกร่งของวัสดุ มีประโยชน์ใช้ในการคำนวณพฤติกรรมในการรับแรงของวัสดุ

ในการจัดการเรียนการสอนหลักสูตรฟิสิกส์ระดับชั้นมัธยมศึกษาช่วงชั้นที่ 4 มีการศึกษาเกี่ยวกับความเค้นดึงและความเครียดดึงของวัสดุพวกโลหะ ซึ่งผู้เรียนจะเกิดการเรียนรู้และเข้าใจคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุพวกโลหะได้จากการทดลองและโดยทั่วไปการทดลองศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นดึงและความเครียดดึงจะนำไปสู่การหาค่ามอดูลัสของยังของวัสดุพวกโลหะ ประกอบกับการทดลองที่จะนำไปสู่การหาค่ามอดูลัสของยังของวัสดุพวกโลหะสามารถหาได้โดยศึกษาผลของความยาวที่เพิ่มขึ้นของวัสดุเมื่อเพิ่มแรงกระทำต่อวัสดุนั้น แต่ผลของความยาวที่เพิ่มขึ้นของวัสดุเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยซึ่งอาจจะทำให้เกิดความผิดพลาดในการวัดค่าได้ การวัดค่าความยาวที่เพิ่มขึ้นของวัสดุเมื่อเพิ่มแรงกระทำ ในทางอ้อมโดยใช้เทคนิคการสะท้อนของแสงเข้ามาช่วยในการทดลองจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าจะแก้ไขความผิดพลาดในการวัดให้น้อยลง การวิจัยนี้ได้นำความรู้ทางฟิสิกส์ คือ การหาค่ามอดูลัสของยังและสมบัติของแสงมาบูรณาการเข้าด้วยกัน เพื่อนำมาประยุกต์พัฒนาชุดทดลองการหาค่ามอดูลัสของยังที่เหมาะสมกับบทเรียนและนำชุดทดลองมาใช้ประกอบการเรียนการสอนในห้องปฏิบัติการของโรงเรียนได้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาชุดทดลองเพื่อหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะโดยใช้เทคนิคทางแสง
2. เพื่อหาประสิทธิภาพชุดทดลองเพื่อหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะโดยใช้เทคนิคทางแสงกับโลหะที่ทราบค่ามอดูลัสของยังมาตรฐาน
3. เพื่อทดลองหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะชนิดต่าง ๆ จากชุดทดลอง

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. ได้ชุดทดลองสำหรับใช้สอนหรือสาธิตเรื่องการหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะชนิดต่าง ๆ

2. ได้เรียนรู้การวัดปริมาณทางฟิสิกส์ที่มีค่าน้อย โดยนำเทคนิคทางแสงเข้ามาช่วยแทนการวัดค่าโดยตรงที่ยุ่งยากกว่าและผิดพลาดได้มาก

3. สามารถนำชุดทดลองไปใช้เป็นสื่อนวัตกรรมในการจัดการเรียนการสอนในห้องปฏิบัติการโรงเรียนได้

ขอบเขตของการวิจัย

1. การพัฒนาชุดทดลองเพื่อหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะโดยใช้เทคนิคทางแสงใช้อุปกรณ์อย่างง่าย

2. ทดสอบปรับเทียบหาค่าความถูกต้องของชุดทดลองจากลวดโลหะที่ทราบค่ามาตรฐาน 2 ชนิด คือ ลวดทองเหลืองและลวดเหล็ก

3. ทดสอบหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะที่ไม่ทราบค่ามาตรฐานที่มีในท้องตลาดทั่วไป 2 ชนิด คือ ลวดทองแดงและลวดสเตนเลส

4. ตรวจสอบความเหมาะสมของชุดทดลอง คู่มือปฏิบัติการ และคู่มือปฏิบัติการสำหรับครูกับเนื้อหา โดยหาค่าดัชนีความสอดคล้อง IOC จากดุลพินิจของผู้เชี่ยวชาญ

5. ตรวจสอบความเหมาะสมของชุดทดลองกับเนื้อหา จากความคิดเห็นของนักเรียนโดยใช้มาตราส่วนประมาณค่าตามวิธีการของลิเคอร์ท

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. ชุดทดลองเพื่อหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะโดยใช้เทคนิคทางแสง หมายถึง ชุดทดลองที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการทดลองหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะชนิดต่าง ๆ

2. ใบความรู้ หมายถึง เอกสารแสดงเนื้อหาที่สำคัญที่ใช้ประกอบการเรียนเรื่อง สภาพสมดุลและสภาพยืดหยุ่น สำหรับนักเรียน

3. ใบงานการทดลอง หมายถึง เอกสารที่บอกแนวทางและแสดงรายละเอียดเกี่ยวกับชุดทดลองและขั้นตอนการหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะโดยใช้เทคนิคทางแสง ประกอบด้วย วัตถุประสงค์ อุปกรณ์การทดลอง วิธีการทดลอง ตารางบันทึกผลการทดลอง อภิปรายและสรุปผลการทดลอง

4. คู่มือปฏิบัติการ หมายถึง เอกสารที่ให้ผู้เรียนใช้ประกอบการทดลองเรื่อง การหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะโดยใช้เทคนิคทางแสง ประกอบด้วยข้อแนะนำการใช้คู่มือ ใบความรู้ และใบงานการทดลอง

5. คู่มือปฏิบัติการสำหรับครู หมายถึง เอกสารที่ให้ครูใช้ประกอบการสอนการทดลองเรื่อง การหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะโดยใช้เทคนิคทางแสง ประกอบด้วยข้อเสนอแนะการใช้คู่มือครู ใบความรู้ ใบงานการทดลองและตัวอย่างการบันทึกผลการทดลอง

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการทำวิจัยครั้งนี้ ผู้ทำการวิจัยได้ศึกษาค้นคว้าเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับชุดทดลองเรื่อง การหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะโดยใช้เทคนิคทางแสง ในหัวข้อต่าง ๆ ดังนี้

1. ความเค้น
2. ความเครียด
3. มอดูลัสของยัง
4. การสะท้อนแสง
5. การออกแบบและการสร้างชุดทดลอง
6. การสอนแบบทดลอง
7. การประเมินชุดทดลอง
8. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ความเค้น

ความเค้น (Stress) หมายถึง แรงต้านทานภายในเนื้อวัสดุที่มีต่อแรงภายนอกที่มากระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ แต่เนื่องจากความไม่เหมาะสมทางปฏิบัติ และความยากในการวัดหาค่านี้ เราจึงมักจะพูดถึงความเค้นในรูปของแรงภายนอกที่มากระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ด้วยเหตุผลที่ว่าแรงกระทำภายนอกมีความสมดุลกับแรงต้านทานภายใน การหาค่าความเค้นสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\sigma = \frac{F}{A} \tag{2-1}$$

เมื่อ σ คือ ความเค้น (N/m^2)

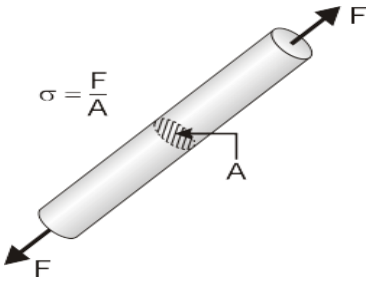
F คือ แรงภายนอกที่มากระทำต่อวัสดุ (N)

A คือ พื้นที่ภาคตัดขวางที่แรงกระทำ (m^2)

ความเค้น มีหน่วยเป็นพาสคาล (Pascal) ย่อเป็น Pa โดย 1 Pa = 1 N/m^2 หน่วยของความเค้นเหมือนหน่วยของความดัน พาสคาลเป็นหน่วยที่มีขนาดเล็ก เช่น ความเค้นดึงของสายเคเบิลเหล็กเท่ากับ 10^8 Pa และอีกหน่วยที่นิยมใช้ คือ psi ซึ่ง 1 psi = 6.89×10^3 Pa

ความเค้นที่เกิดจากแรงดึง เรียกว่า ความเค้นดึง

ความเค้นแรงดึง (Tensile Stress) เกิดขึ้นเมื่อมีแรงดึงมากระทำตั้งฉากกับพื้นที่ภาคตัดขวาง โดยพยายามจะแยกเนื้อวัสดุให้แยกขาดออกจากกัน ดังภาพที่ 2-1



ภาพที่ 2-1 แรงดึงกระทำกับวัตถุ

(http://people.virginia.edu/-pjm8f/engr162/beam/stress_and_strain.htm)

2. ความเครียด

ความเครียด (Strain) คือ การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุ (Deformation) เมื่อมีแรงภายนอกมากระทำ (เกิดความเค้น) การเปลี่ยนรูปของวัสดุนี้เป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ภายในเนื้อวัสดุ ซึ่งสามารถแบ่งเป็น 2 ชนิดใหญ่ ๆ คือ

1. การเปลี่ยนรูปแบบอิลาสติกหรือความเครียดแบบคืนรูป (Elastic Deformation or Elastic Strain) เป็นการเปลี่ยนรูปในลักษณะที่เมื่อปลดแรงกระทำ อะตอมซึ่งเคลื่อนไหวเนื่องจากผลของความเค้นจะเคลื่อนกลับเข้าตำแหน่งเดิม ทำให้วัสดุคงรูปร่างเดิมไว้ได้ เช่น พวกยางยืด สปริง ถ้าเราดึงมันแล้วปล่อยมันจะกลับไปมีขนาดเท่าเดิม

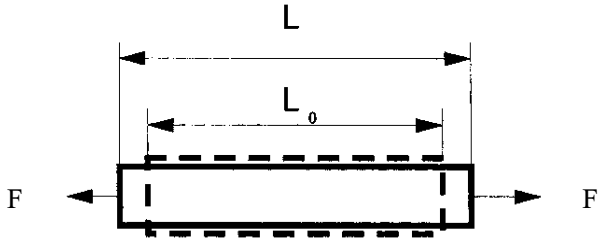
2. การเปลี่ยนรูปแบบพลาสติกหรือความเครียดแบบคงรูป (Plastic Deformation or Plastic Strain) เป็นการเปลี่ยนรูปที่ถึงแม้ว่าจะปลดแรงกระทำนั้นออกแล้ววัสดุก็ยังคงรูปร่างตามที่ถูกเปลี่ยนไปนั้น โดยอะตอมที่เคลื่อนที่ไปแล้วจะไม่กลับไปตำแหน่งเดิม

วัสดุทุกชนิดจะมีพฤติกรรมการเปลี่ยนรูปทั้งสองชนิดนี้ขึ้นอยู่กับแรงที่มากระทำหรือความเค้นว่ามีมากน้อยเพียงใด หากไม่เกินพิกัดการคืนรูป (Elastic Limit) แล้ววัสดุนั้นก็จะมีพฤติกรรมคืนรูปแบบยืดหยุ่น (Elastic Behavior) แต่ถ้าความเค้นเกินกว่าพิกัดการคืนรูปแล้ววัสดุก็จะเกิดการเปลี่ยนรูปแบบถาวรหรือแบบพลาสติก (Plastic Deformation)

นอกจากความเครียดทั้ง 2 ชนิดนี้แล้ว ยังมีความเครียดอีกประเภทหนึ่งซึ่งพบในวัสดุประเภทโพลีเมอร์ เช่น พลาสติก เรียกว่า ความเครียดกึ่งยืดหยุ่นจะมีลักษณะที่เมื่อปราศจากแรงกระทำ วัสดุจะมีการคืนรูป แต่จะไม่กลับไปจนมีลักษณะเหมือนเดิม

การวัดและคำนวณหาค่าความเครียด

1. แบบเส้นตรง ความเครียดที่วัดได้จะเรียกว่า ความเครียดเชิงเส้น (Linear Strain) จะใช้ได้เมื่อแรงที่มากระทำมีลักษณะเป็นแรงดึงหรือแรงกด ดังภาพที่ 2-2



ภาพที่ 2-2 แสดงแรงที่มากระทำต่อวัสดุทำให้เกิดความเครียดเชิงเส้น (Linear Strain)
(http://dc378.4shared.com/doc/-mm62_Z6/preview.html)

ค่าของความเครียดจะเท่ากับความยาวที่เปลี่ยนไปต่อความยาวเดิม ดังสมการที่ (2-2)

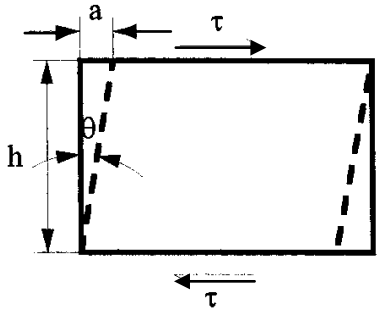
$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \qquad (2\text{-}2)$$

เมื่อ ε คือ ความเครียดเชิงเส้น ไม่มีหน่วย

ΔL คือ ความยาวที่เปลี่ยนไปของวัสดุ (m)

L_0 คือ ความยาวเดิมของวัสดุ (m)

2. แบบเฉือน ความเครียดที่วัดได้จะเรียกว่า ความเครียดเฉือน (Shear Strain) ใช้กับกรณีแรงที่กระทำมีลักษณะเป็นแรงเฉือน (τ) ดังภาพที่ 2-3



ภาพที่ 2-3 แสดงแรงที่มากระทำต่อวัสดุทำให้เกิดวัสดุเกิดความเครียดเฉือน (Shear Strain)
(http://dc378.4shared.com/doc/-mm62_Z6/preview.html)

ค่าของความเครียดจะเท่ากับระยะที่เคลื่อนที่ไปต่อระยะห่างระหว่างระนาบ ดังสมการที่ (2-3)

$$\gamma = \frac{a}{h} \tag{2-3}$$

เมื่อ γ คือ $\tan\theta$; $\tan\theta \approx \theta$ ในกรณีที่ θ เป็นมุมเล็ก ๆ

a คือ ระยะที่เคลื่อนที่ไป (m)

h คือ ระยะห่างระหว่างระนาบ (m)

θ คือ มุมที่เปลี่ยนไป (rd)

เนื่องจากความเครียดเป็นอัตราส่วนระหว่างความยาวที่เปลี่ยนไปกับความยาวเดิม ซึ่งมีหน่วยเดียวกัน ความเครียดจึงไม่มีหน่วย

3. มอดูลัสของยัง (Young's Modulus)

เมื่อมีแรงกระทำต่อวัตถุ เช่น ลวดโลหะ จะทำให้เกิดความเค้นและความเครียดในลวด โดยความเครียดที่เกิดขึ้นจะแปรผันโดยตรงกับความเค้นนั้น เมื่อขนาดของแรงดึงไม่เกินขีดจำกัดของความยืดหยุ่นและจะเป็นค่าคงตัวประจำสำหรับวัสดุหนึ่ง ๆ ค่านี้เรียกว่า ค่ามอดูลัสของยัง (Young's Modulus) แทนด้วยสัญลักษณ์ Y

Thomas Young นักฟิสิกส์ชาวอังกฤษที่มีผลงานเป็นที่รู้จักมากมาย เขาค้นพบว่า "ภายในขีดจำกัดสภาพยืดหยุ่น อัตราส่วนระหว่างความเค้นและความเครียดของวัตถุชนิดหนึ่ง ๆ จะมีค่าคงตัวเสมอ" และพบว่า ความเครียดที่เกิดขึ้นแปรผันตรงกับความเค้น ทั้งนี้เมื่อขนาดของแรงดึงไม่เกินขีดจำกัดของการยืดหยุ่น สามารถเขียนความสัมพันธ์เป็นสมการ ได้ว่า

$$\text{มอดูลัสของยัง} = \frac{\text{ความเค้นตามยาว}}{\text{ความเครียดตามยาว}}$$

$$Y = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

$$Y = \frac{FL_0}{A(\Delta L)} \tag{2-4}$$

กรณีของเส้นลวดโลหะยาว L_0 มีเส้นผ่านศูนย์กลาง D และมีความยาวเพิ่มขึ้น ΔL เมื่อถูกดึงด้วยแรงที่เกิดจากน้ำหนักมวล m จะได้สมการที่ (2-4) ดังนี้

$$Y = \frac{mgL_0}{\pi(\frac{D}{2})^2 \Delta L}$$

$$Y = \frac{4mgL_0}{\pi D^2 (\Delta L)} \quad (2\text{-}5)$$

จากสมการที่ (2-4) สามารถจัดรูปได้เป็น

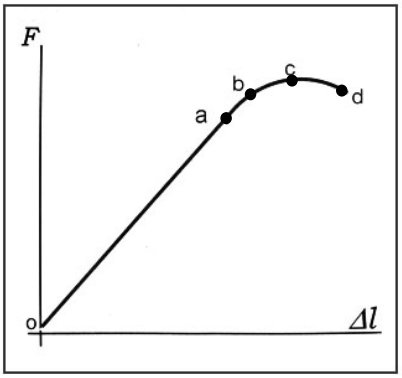
$$F = \frac{YA(\Delta L)}{L_0} \quad (2\text{-}6)$$

ค่า $\frac{YA}{L_0}$ เป็นค่าคงที่ แทนด้วย k และแทน ΔL ด้วย x ลงในสมการที่ (2-6) จะได้

$$F = kx \quad (2\text{-}7)$$

นั่นก็คือ กฎของฮุก (Hooke's Law) ซึ่งได้กล่าวว่า ระยะยืดของวัตถุจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงที่ใช้ยืดวัตถุนั้น โดยวัตถุจะยืดได้ไม่เกินจุดจำกัดของสัดส่วน ถ้าหากวัตถุยืดเกินไปจากจุดนี้ก็จะไม่เข้าสู่ ขีดจำกัดสภาพยืดหยุ่น วัตถุนั้นจะหยุดการยืดหยุ่นและไม่สามารถคืนสู่สภาพเดิมได้อีก

เมื่อนำวัสดุบางชนิด เช่น ลวดเหล็ก ลวดทองแดง หรือแก้วที่เป็นแท่ง มายึดปลายข้างหนึ่ง จากนั้นออกแรงดึงปลายข้างหนึ่ง จะพบว่า ความยาวของเส้นวัตถุจะยืดออกและส่วนที่ยืดออกแปรผันตรงกับขนาดของแรงดึงเมื่อแรงยังอยู่ในของเขตหนึ่ง เมื่อเพิ่มแรงดึงต่อไปเรื่อย ๆ จะพบว่าความยาวของเส้นวัตถุที่ยืดออกจะไม่แปรผันตรงกับขนาดของแรงดึงอีกต่อไป ดังภาพที่ 2-4



ภาพที่ 2-4 กราฟระหว่างแรงดึงกับความยาวของลวดโลหะที่เพิ่มขึ้น

(http://www.vcharkarn.com/lesson/view.php?id=1162)

จากกราฟ จะเห็นว่าในช่วง oa เป็นไปตามกฎของฮุก จุด a ซึ่งเป็นตำแหน่งสุดท้ายที่ความยาวเส้นโลหะยืดออกแปรผันตรงกับขนาดของแรงดึง จุดนี้เรียกว่า ขีดจำกัดการแปรผันตรง (proportional limit) ถ้าออกแรงดึงเส้นโลหะให้ยืดอีกเล็กน้อยจนถึงจุด b เมื่อหยุดออกแรงดึงเส้นโลหะจะกลับไปอยู่สภาพเดิมและความยาวสุดท้ายเท่ากับความยาวเริ่มต้น จุดนี้เรียกว่า ขีดจำกัดสภาพยืดหยุ่น (elastic limit)

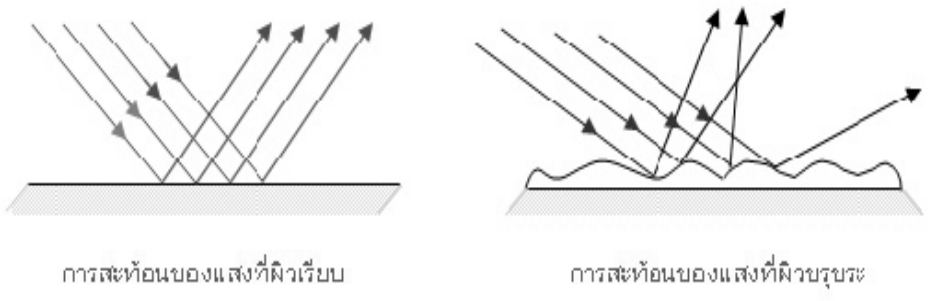
ส่วนช่วงของกราฟตั้งแต่จุด b เป็นต้นไปเส้นโลหะเริ่มเปลี่ยนรูปไปอย่างถาวร และถ้าออกแรงดึงถึงจุด c จุดนี้เรียกว่า จุดคราก (yield point) ซึ่งเป็นจุดที่ความยาวของเส้นโลหะเพิ่มอย่างรวดเร็ว ขณะที่แรงดึงเพิ่มเล็กน้อย เมื่อออกแรงดึงต่อไป จนเลยจุด d เส้นโลหะจะขาดจุดนี้เรียกว่า จุดแตกหัก (breaking point) ช่วง ob เรียกว่า การผิดรูปแบบยืดหยุ่น (elastic deformation) และสภาพของวัตถุในช่วงนี้ เรียกว่า สภาพยืดหยุ่น (elasticity) ซึ่งเป็นสมบัติของวัตถุที่มีการเปลี่ยนรูปร่างเมื่อมีแรงมากระทำ และสามารถกลับสู่รูปเดิมเมื่อหยุดออกแรงกระทำ ช่วง bd เรียกว่า การผิดรูปแบบพลาสติก (plastic deformation) ซึ่งเป็นสมบัติของวัตถุที่เปลี่ยนรูปร่างไปอย่างถาวร โดยวัตถุยังไม่ฉีกขาดหรือแตกหัก วัตถุส่วนใหญ่มีทั้งสภาพยืดหยุ่นและสภาพพลาสติกในตัวเอง โดยมีสภาพยืดหยุ่นเมื่อแรงกระทำมีค่าน้อย และมีสภาพพลาสติกเมื่อแรงกระทำมีค่ามาก วัตถุบางชนิดมีแต่สภาพพลาสติก เช่น ดินน้ำมัน ขนมปัง เป็นต้น

ตารางที่ 2-1 มอดูลัสความยืดหยุ่นของโลหะ (Gere, 2006)

วัสดุ	Modulus of elasticity E, $\times 10^9$ N/m^2
อะลูมิเนียม, 2014, T6	73
อะลูมิเนียม, 6061, T6	70
อะลูมิเนียม, 7075, T6	72
ทองเหลือง	96-100
เงิน	96-120
ทองแดง, ทองแดงผสม	110-120
แก้ว	48-83
นิกเกิล	210
เหล็ก	190-210
ทังสเตน	340-380

4. การสะท้อนแสง

เมื่อแสงเดินทางจากตัวกลางหนึ่งตกกระทบผิวของอีกตัวกลางหนึ่ง แสงจะเกิดการสะท้อนขึ้นกลับมาในตัวกลางเดิม โดยแสงที่สะท้อนออกมาจะเปลี่ยนแปลงตามพื้นผิว โดยถ้าพื้นผิวเรียบแสงสะท้อนจะเป็นระเบียบ แต่ถ้าผิวขรุขระแสงสะท้อนจะกระจัดกระจายไม่เป็นระเบียบ ดังภาพที่ 2-5

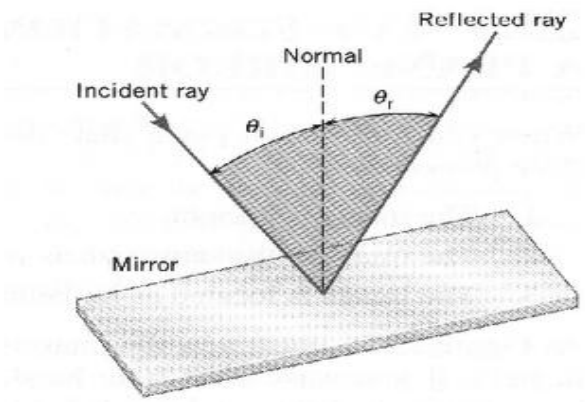


ภาพที่ 2-5 เปรียบเทียบการสะท้อนของแสงของวัตถุที่มีผิวเรียบและผิวขรุขระ
(http://poy-des.blogspot.com/2011/01/2.html)

กฎการสะท้อนของแสง (Law of reflection)

1. มุมตกกระทบมีค่าเท่ากับมุมสะท้อน $(\theta_i = \theta_r)$

2. รังสีตกกระทบ (Incident ray) เส้นปกติ (Normal) และรังสีสะท้อน (Reflected ray) จะอยู่ในระนาบเดียวกัน



ภาพที่ 2-6 การสะท้อนของแสงบนกระจกเงาราบ

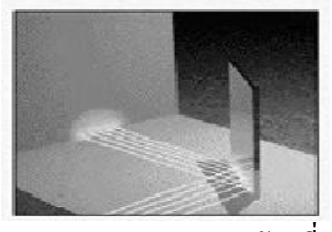
(http://poy-des.blogspot.com/2011/01/2.html)

มุมตกกระทบ (Angle of Incidence) คือ มุมที่รังสีตกกระทบ (incident ray) ทำกับเส้นปกติ (normal line) ของผิวสะท้อน

มุมสะท้อน (Angle of Reflection) คือ มุมที่รังสีสะท้อน (reflected ray) ทำกับเส้นปกติ (normal line) เมื่อฉายแสงลงบนผิวราบเรียบ เช่น กระจกเงาราบ แสงที่สะท้อนออกมาจะเป็นไปตามกฎการสะท้อนของแสง จะได้

$$\text{มุมตกกระทบ}(\theta_i) = \text{มุมสะท้อน}(\theta_r) \qquad (2\text{-}8)$$

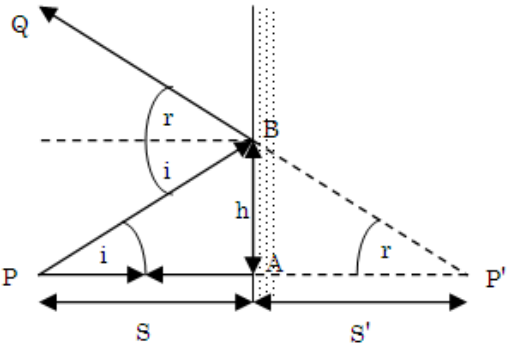
การเกิดภาพเนื่องจากการสะท้อนที่ผิวของกระจกเงาราบ



ภาพที่ 2-7 แนวลำแสงจากการกระทบวัตถุที่กระจกเงาราบ

(http://jirapan13199.blogspot.com)

การเขียนภาพที่เกิดจากการสะท้อนบนกระจกเงาราบ โดยใช้รังสีของแสงจะอาศัยการสะท้อนของแสง เมื่อวัตถุเป็นจุดวางอยู่หน้ากระจกเงาราบ การหาระยะ P เป็นวัตถุที่เป็นจุด ดังภาพที่ 2-8



ภาพที่ 2-8 การเกิดภาพของจุดเนื่องจากกระจกเงาราบ

(http://www.cpn1.go.th/media/thonburi/lesson/13_LightEquipment/content3.html)

เมื่อให้ PB คือ รังสีจากวัตถุที่ตกกระทบกับกระจกเงาราบและ BQ คือ รังสีสะท้อน ถ้าต่อ QB ไปตัดกับส่วนต่อของ PA ที่จุด P' จะเป็นภาพจุด P

ΔABP $\quad \tan A\hat{P}B = \tan i = \frac{AB}{S}$

$\Delta ABP'$ $\quad \tan A\hat{P}'B = \tan r = \frac{AB}{S'}$

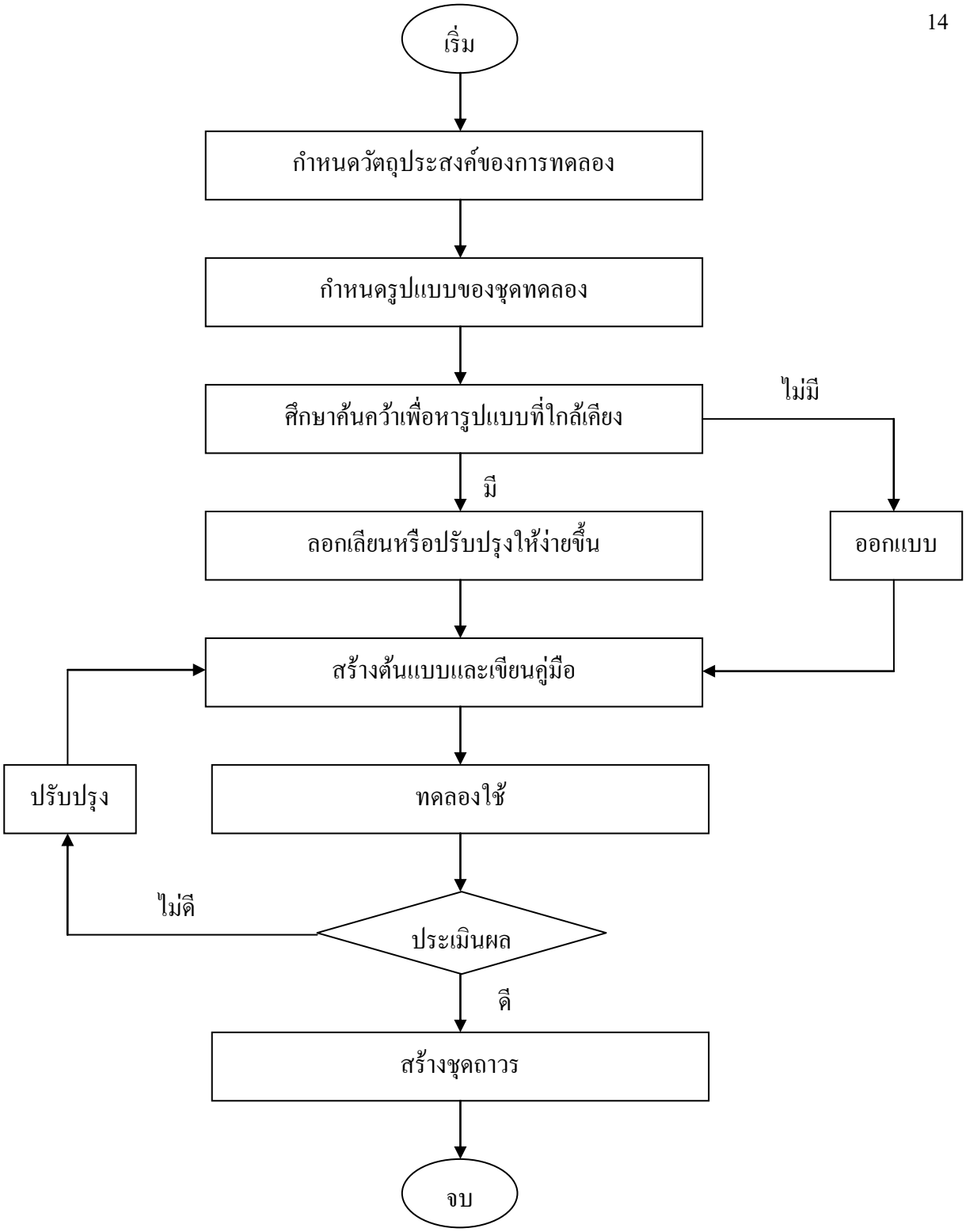
จากกฎการสะท้อนของแสง $\theta_i = \theta_r$; ดังนั้น $i = r$

จะได้ $\quad \frac{AB}{S} = \frac{AB}{S'}$

ดังนั้น $\quad$ ระยะวัตถุ S = ระยะภาพ S'

5. การออกแบบและการสร้างชุดทดลอง

มนต์ชัย เทียนทอง (2530, หน้า 69-71) กล่าวถึง การออกแบบสร้างชุดทดลองเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเป็นสิ่งที่ยุ่งยาก และค่อนข้างละเอียด ผู้สร้างจะต้องพิจารณาองค์ประกอบทุก ๆ ด้านที่เกี่ยวข้อง ประการแรกที่สำคัญ ได้แก่ การวิเคราะห์วัตถุประสงค์ของบทเรียนว่าเนื้อหาหลักต้องการอะไร ผู้เรียนต้องมีกิจกรรมอย่างไรจึงจะแสดงว่าบรรลุตามวัตถุประสงค์ ถ้าต้องการแสดงออกด้วยผลการทดลองค้นคว้า หรือหาความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ ซึ่งจำเป็นต้องใช้ชุดทดลองประกอบ หรือใช้สื่อความหมาย ก็จะต้องสร้างชุดทดลองโดยออกแบบขึ้นเองหรือดัดแปลงแก้ไขตามแบบที่มีอยู่ดังภาพที่ 2-9



ภาพที่ 2-9 ขั้นตอนการออกแบบและสร้างชุดทดลอง

ในการออกแบบสร้างชุดทดลองขึ้นใหม่โดยการพัฒนามาจากแคตตาล็อกหรือจากชุดทดลองอื่น ๆ ที่มีอยู่ ควรพิจารณาองค์ประกอบต่าง ๆ ดังนี้

1. ชุดทดลองสำหรับผู้สอนใช้สาธิตหน้าชั้นเรียนต้องมีขนาดเหมาะสม การแสดงผลเห็นได้ทั่วถึงชัดเจน

2. ความปลอดภัยในการใช้โดยเฉพาะชุดทดลองสำหรับผู้เรียน

3. มีความสะดวกในการใช้งาน ไม่ต้องใช้ประกอบกับอุปกรณ์อื่น ๆ โดยไม่จำเป็น

4. มีโครงสร้างง่ายและใช้วัสดุที่หาได้ทั่วไปเพื่อความสะดวกต่อการซ่อมแซม

5. มีความยืดหยุ่นในการประยุกต์ใช้กับวัตถุประสงค์อื่นได้โดยการเพิ่มรายละเอียดบางส่วน

แนวทางในการออกแบบการสร้างชุดปฏิบัติการใช้ในการสอน มีลำดับขั้นตอนดังนี้ (วัลลภ จันทร์ตระกูล, 2543 , หน้า 110)

1. กำหนดจุดมุ่งหมายในการนำชุดปฏิบัติการไปใช้ในการสอน จากการตัดสินใจที่จะใช้ชุดปฏิบัติการสำหรับการใช้ในการสอนเรื่องใดแล้ว จะทำให้ทราบได้ว่าชุดปฏิบัติการนำไปใช้กับผู้เรียนกลุ่มใดและต้องการทราบรายการวัตถุประสงค์ของเรื่องนั้น เพราะข้อมูลดังกล่าวจะนำมาใช้ในการดำเนินงานออกแบบ เพื่อสร้างชุดปฏิบัติการ เพื่อกำหนดคุณลักษณะของอุปกรณ์ให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของเรื่อง ขั้นตอนนี้อาจกล่าวได้ว่าเป็นขั้นตอนการศึกษาข้อมูลต่าง ๆ เพื่อการออกแบบสร้างชุดปฏิบัติการ เกิดความเป็นจริง สำเร็จผลตามเป้าหมาย ควรศึกษาสภาพในการเรียนการสอน ศึกษาข้อมูลด้านวิชาการในเรื่องนั้นด้วย ในบางครั้งถ้าหากได้มีการพัฒนามาแล้วโดยผู้อื่น ควรที่จะศึกษารายละเอียดต่าง ๆ ด้วย เมื่อศึกษาข้อมูลต่าง ๆ แล้ว จึงนำมาเขียนจุดประสงค์ของอุปกรณ์และจะไม่ระบุรูปร่างทางเทคนิคเฉพาะเจาะจง สุดท้ายตรวจสอบความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของเรื่อง

2. วิเคราะห์และตัดสินใจเลือกชิ้นส่วนของอุปกรณ์ เป้าหมายที่สำคัญ คือ ต้องการหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในการเลือกอุปกรณ์ ได้แก่ ประสิทธิภาพในการทำงาน ขนาด รูปร่าง การบำรุงรักษา ความคงทน ราคา เป็นต้น

3. การสร้างต้นแบบและตรวจสอบการตัดสินใจเลือกอุปกรณ์และชิ้นส่วน แล้วมาร่างเป็นภาพประกอบคร่าว ๆ หรือร่างเป็นแบบง่าย ๆ ก่อน จากนั้นจึงทำการสร้างต้นแบบ ในขั้นตอนนี้อาจมีการทดสอบ หรือทดลองกลไกในหน้าที่ของอุปกรณ์บางอย่าง เพื่อให้การสร้างต้นแบบประสบผลสำเร็จ อุปกรณ์สามารถทำงานได้ตามต้องการ

4. การสร้างต้นแบบ ในกรณีที่ออกแบบสร้างเพียงชิ้นเดียวไม่จำเป็นต้องสร้างต้นแบบ แต่หากจะทำการผลิตหรือต้องการเก็บข้อมูลต่าง ๆ เพื่อเป็นประโยชน์ในการดำเนินการ

งานเขียนแบบนับว่ามีความสำคัญอย่างมาก แบบงานจะเป็นข้อมูลสำหรับดำเนินการผลิตหรือการสร้าง ดังนั้นแบบงานจะต้องเป็นแบบแยกชิ้นเดี่ยวที่มีข้อมูลอย่างครบถ้วนสำหรับช่างที่จะทำการผลิตได้ งานเขียนแบบจะต้องมีการกำหนดเป็น 4 กลุ่ม คือ แบบรวม แบบประกอบกลุ่มหลัก แบบประกอบกลุ่มย่อยและแบบชิ้นเดี่ยว การเขียนแบบมีความสำคัญต่อการกำหนดราคา การวางแผนการผลิต และเก็บข้อมูลทางด้านชิ้นส่วนวัสดุของหน่วยงาน

5. อุปกรณ์ที่ออกแบบสร้างโดยทั่วไปต้องเตรียมเอกสารประกอบ หรือคู่มือการใช้งานเพื่อผู้ใช้จะได้ใช้อุปกรณ์ได้อย่างถูกต้องปลอดภัยและสอดคล้องตามวัตถุประสงค์ในการออกแบบสร้างอุปกรณ์นั้น โดยเฉพาะกลุ่มที่ออกแบบเพื่อใช้ในการเรียนการสอนต้องมีเอกสารประกอบสำหรับใช้ในการเรียนการสอน เอกสารประกอบการศึกษา ทดลอง แบบฝึกหัดและแบบทดสอบ เป็นต้น

6. ใบงานเป็นใบสั่งงานให้กับผู้เรียน เพื่อเป็นแนวทางในการปฏิบัติ ซึ่งจะบอกลำดับขั้นในการทดลองและแนวทางที่ใช้ในการค้นคว้าเพิ่มเติมในการปฏิบัติการ นับเป็นสื่อชนิดหนึ่ง ดังนั้นจะพบว่าใบงานมีความสำคัญต่อการเรียนการสอนภาคปฏิบัติอย่างมากและสิ่งที่จะต้องมีไว้ในใบงานมีดังนี้

6.1 วัตถุประสงค์ของการปฏิบัติที่ชัดเจน

6.2 มีรายการเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ต้องใช้ในการปฏิบัติ

6.3 มีลำดับขั้นตอนการทำงานที่ถูกต้อง

6.4 มีวงจรที่ใช้ในการปฏิบัติ

6.5 มีข้อควรระวังในการทำงาน

6.6 คำถามที่กระตุ้นความคิดของผู้เรียน

7. วิเคราะห์เนื้อหาวิชาปฏิบัติโดยศึกษาเพื่อวางโครงร่างลำดับความสัมพันธ์และแบ่งระดับความยาก – ง่ายของเนื้อหาทำการออกแบบสื่อการเรียนการสอนซึ่งศึกษาจากตำรา เอกสาร การสัมมนา ปรึกษาอาจารย์ที่ปรึกษา

8. การทดลองจะถูกนำไปใช้ในสถานศึกษาโดยผู้วิจัยเพื่อค้นหาข้อบกพร่องต่าง ๆ เช่น ความถูกต้อง ความเที่ยงตรง ความยาก ความซับซ้อน ความทนทาน ความสะดวกในการลอกเลียนขึ้นมาใหม่ เป็นต้น

9. การปรับปรุงข้อมูลและประสบการณ์ที่ได้จากการทดลองที่กล่าวมาข้างต้น จะถูกนำมาใช้ในการปรับปรุงชุดทดลองและใบงานที่มีคุณภาพจนเป็นที่ยอมรับ

สำหรับแนวทางในการออกแบบชุดสื่อการเรียนการสอนอย่างมีประสิทธิภาพประกอบด้วยกระบวนการ 5 ขั้นตอน (สุรัตน์ ไทยตรง , 2533 , หน้า 66 - 67) ดังนี้

1. กำหนดขอบข่ายเนื้อหาวิชา
2. การกำหนดเนื้อหาและวัตถุประสงค์
3. การออกแบบและสร้างชุดสื่อการเรียนการสอน
4. การทดลองใช้
5. การปรับปรุง

เครื่องมือและอุปกรณ์ หมายถึง เครื่องมือ เครื่องจักร เครื่องมือวัดและวัสดุอุปกรณ์อื่น ๆ ที่ใช้ในการทดลอง

จากการศึกษาเอกสารและข้อมูลในการออกแบบการสร้างชุดทดลอง ได้ข้อมูลและหลักการออกแบบที่เป็นแนวทางในการปฏิบัติดังนี้

1. กำหนดจุดประสงค์
2. วิเคราะห์ชุดทดลอง
3. การสร้างต้นฉบับ
4. เตรียมเอกสาร – คู่มือการใช้
5. ใบทดลอง – ขั้นตอนการทดลอง
6. วิเคราะห์ปัญหา – แบบทดสอบ
7. ทดสอบใช้ชุดทดลอง
8. ปรับปรุงชุดทดลอง
9. นำชุดทดลองไปใช้งานจริง
10. ประเมินผลในแต่ละส่วน

6. การสอนแบบทดลอง

ลออ การุณยะวานิช และคณะ (2529, หน้า 42) ได้ให้ความหมายของวิธีการสอนแบบทดลองว่าเป็นการสอนที่ทำให้เกิดประสบการณ์ใหม่ ๆ และข้อเท็จจริงจากการสอบสวนและทดลองนั่นเอง วิธีนี้ผู้เรียนจะเป็นผู้ปฏิบัติการทดลองในห้องเรียนปฏิบัติการ ซึ่งไม่เหมือนกันกับวิธีการสอนแบบสาธิต ที่ผู้สอนเท่านั้นจะดำเนินการทดลองในขณะที่ผู้เรียนเป็นผู้เฝ้าดู

วิธีการสอนแบบทดลอง (Laboratory Method) คือ การสอนที่ทำให้เกิดประสบการณ์ตรงเกี่ยวกับสิ่งที่ต้องนำไปปฏิบัติ หรือข้อเท็จจริงจากทฤษฎีได้มีผู้ค้นพบมาแล้ว ผู้เรียนก็ทำการทดลองตามเนื้อหา ทฤษฎีที่ได้เรียนมาเพื่อนำผลสัมฤทธิ์ของการเรียนรู้ การทดลองปฏิบัติทดลองในแต่ละเนื้อหาทำการสรุปผลการวิเคราะห์ถึงข้อเท็จจริงตามทฤษฎีโดยวิธีการสอบสวน ค้นคว้า และปฏิบัติการทดลอง วิธีการสอนแบบทดลองนี้ผู้สอนต้องเตรียมพร้อมในเรื่องของเครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ พร้อมทั้งคู่มือในการฝึกทดลองแต่ละขั้นตอน โดยระบุขั้นตอนการทำงานอย่างเป็นลำดับชัดเจน จนกระทั่งผู้เรียนสามารถปฏิบัติได้ด้วยตนเองได้ การสอนแบบนี้จะทำให้ผู้เรียนได้มีโอกาสทำการทดลองได้อย่างทั่วถึง เพื่อที่จะได้ศึกษาข้อเท็จจริงด้วยตนเอง

ความมุ่งหมายของการสอนแบบทดลอง พอสรุปได้ดังนี้

1. เพื่อพัฒนาทักษะในการใช้เครื่องมือต่าง ๆ
2. เพื่อให้ผู้เรียนได้รับประสบการณ์ตรง
3. เพื่อประยุกต์หลักการที่ใช้ในห้องทดลองกับงานจริงในภาคสนามได้
4. เพื่อพัฒนาความสามารถของผู้เรียน ในการรวบรวมความสัมพันธ์ของความคิดหลักการและความรู้ต่าง ๆ เข้าด้วยกัน เพื่อทำให้ผู้เรียนมองภาพรวมในเนื้อหาของวิชานั้น

วิธีดำเนินการโดยทั่วไปของการทดลองหรือการปฏิบัติการทดลอง ประกอบด้วย

1. ผู้สอนกำหนดการทดลอง เพื่อให้สอดคล้องกับเนื้อหา และหลักการที่บรรยายในชั้นเรียนโดยแบ่งเนื้อหาออกเป็นตอน ๆ หรือเป็นเรื่อง ๆ แล้วแต่เนื้อหา
2. จัดทำคู่มือการทดลอง (Laboratory Manual) ให้กับผู้เรียน ซึ่งภายในประกอบด้วยจุดมุ่งหมาย เครื่องมือและอุปกรณ์ แนวทางปฏิบัติ รวมทั้งคำถาม ปัญหาหรือสิ่งอื่น ๆ ที่เกิดขึ้นในการทดลองแล้วแจกผู้เรียนให้อ่านล่วงหน้า
3. ผู้สอนและผู้ควบคุมห้องทดลอง จัดเตรียมอุปกรณ์เครื่องมืออย่างเป็นระเบียบเป็นขั้นตอนและมีมากพอกับจำนวนผู้เรียน
4. ผู้เรียนดำเนินการทดลองตามคำแนะนำของผู้สอนหรือผู้ควบคุมห้องทดลองตามลำดับขั้นตอนที่วางไว้โดยชัดเจน เป็นกลุ่มหรือเป็นรายบุคคล แล้วแต่ความเหมาะสม

5. ผู้เรียนเขียนรายงานและข้อคิดเห็นตามแนวทางผู้สอนแนะนำ หรือบ่งไว้ในรายงาน

6. อภิปรายร่วมกันถึงผลการทดลอง และวิธีการทดลองที่ได้ทำเสร็จสิ้น รวมทั้งข้อคิดเห็นที่สัมพันธ์กับการทดลองที่ผ่านไปแล้วและเตรียมการเพื่อการทดลองครั้งใหม่

7. การประเมินชุดทดลอง

แนวทางในการประเมินคุณภาพของสื่อการสอนโดยทั่ว ๆ ไป พอสรุปได้ดังนี้ (พิสิฐ เมธาภัทร และธีระพล เมธีกุล, 2531, หน้า 171-173)

1. ประสิทธิภาพในการสื่อความหมาย (ด้านวิชาการ)
   - 1.1 ด้านวัตถุประสงค์
     - 1.1.1 สื่อครอบคลุมวัตถุประสงค์
     - 1.1.2 สื่อเหมาะกับระดับความยากง่ายและวัตถุประสงค์
   - 1.2 ด้านเนื้อหา
     - 1.2.1 เนื้อหาวิชาถูกต้องไม่มีจุดผิด
     - 1.2.2 เนื้อหาวิชาแยกย่อยได้
     - 1.2.3 เนื้อหาวิชาเรียงลำดับเป็นตรรก (Logic)
   - 1.3 ด้านประสิทธิภาพและประสิทธิผลในการสื่อความหมาย
     - 1.3.1 บรรลุเป้าหมายตามวัตถุประสงค์
     - 1.3.2 สามารถลดปริมาณการให้เนื้อหาแบบเลื่อยลอย ให้มีความหมายและเป้าหมายมากขึ้น
     - 1.3.3 สามารถลดเวลาในการสื่อความหมายให้เข้าใจได้ดีและสั้นลง
     - 1.3.4 ช่วยเพิ่มกิจกรรมในการเรียนการสอนให้ผู้เรียนกระตือรือร้นมากขึ้น
     - 1.3.5 ดึงดูดความสนใจของผู้เรียนได้ดีขึ้น
2. องค์ประกอบที่เกี่ยวกับคน
   - 2.1 ด้านผู้เรียน
     - 2.1.1 สื่อเหมาะสมกับจำนวนผู้เรียน
     - 2.1.2 สื่อเหมาะกับระดับการเรียนรู้ของผู้เรียน
   - 2.2 ด้านผู้สอน
     - 2.2.1 สื่อไม่จำเป็นต้องอาศัยความสามารถพิเศษในการใช้สอย
     - 2.2.2 สื่อที่ใช้เหมาะกับระดับการเรียนรู้ของผู้เรียน

3. องค์ประกอบเกี่ยวกับความพร้อมและการนำไปใช้

3.1 ด้านวัสดุและอุปกรณ์

3.1.1 ใช้วัสดุราคาสมควรแก่ความจำเป็น

3.1.2 ใช้วัสดุที่หาได้ในท้องถิ่น

3.1.3 อุปกรณ์ที่ใช้ประกอบส่วนใหญ่ หาได้ตามวิทยาลัยทั่วไป

3.2 ด้านเวลา

3.2.1 เวลาที่ใช้ในการผลิตไม่มากนัก

3.2.2 เวลาที่ใช้ในการแสดงสื่อนั้นไม่มากเกินไป

3.3 ด้านการใช้งาน

3.3.1 สามารถนำไปใช้งานได้ง่าย

3.3.2 ไม่ยุ่งยากในการเตรียมงาน

3.3.3 ไม่ต้องมีอุปกรณ์ช่วยพิเศษอื่น ๆ ขณะนำไปใช้งาน

8. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มนต์ชัย เทียนทอง (2530, หน้า 67) กล่าวถึงชุดทดลอง (Experiment Set) เป็นอุปกรณ์ช่วยสอนที่ใช้ประกอบการสอนเพื่อแสดงเนื้อหาที่เป็นกฎ สูตร หรือทฤษฎีที่กำหนดไว้แล้ว หรือใช้เพื่อทดลองหาความสัมพันธ์สร้างกฎเกณฑ์ขึ้นใหม่ โดยแสดงผลให้เห็นจริงได้ในรูปของค่าที่แสดงความร้อน แสง เสียงหรือปฏิกิริยาอื่น ๆ ปัจจุบันได้มีการใช้ชุดทดลองในลักษณะของการสาธิตหน้าชั้นเรียนหรือเป็นชุดฝึกสำหรับการเรียนรายบุคคลกันแพร่หลาย โดยเฉพาะการเรียนการสอนวิชาประลอง (Laboratory) แม้แต่การเรียนวิชาปกติในชั้นเรียนก็ตาม เนื่องจากผู้สอนได้เล็งเห็นประโยชน์ที่แท้จริงของชุดทดลองที่มีต่อการเรียนการสอนว่า ทำให้การเรียนรู้เห็นจริงได้ นอกจากนั้นยังทำให้ผู้เรียนมีกิจกรรมร่วมในบทเรียนค่อนข้างสูงด้วย

เรวัฒน์ เหล่าไพบูลย์, จินตนา เหล่าไพบูลย์ และสมบัติ ปาทาคำ (2546) ได้หาค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นของวัสดุโลหะที่ใช้ในงานวิศวกรรมโดยใช้คลื่นเสียงอุลตร้าโซนิคความถี่ 4 MHz เพื่อหาค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นของวัสดุตามมาตรฐาน โดยเปรียบเทียบกับการทดสอบแรงดึงตามมาตรฐาน มอก. 244 เล่ม 5 จากการเปรียบเทียบผลการทดสอบปรากฏว่าได้ค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นของวัสดุใกล้เคียงกัน

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2553) สำหรับการทดลองวัดค่ามอดูลัสของยังในห้องปฏิบัติการโรงเรียน อุปกรณ์ประกอบด้วยแผ่นไม้เจาะรูที่ขอบให้หมุดหรือตะปูสวมได้หลวม ๆ และหมุนได้ มีไม้ขันสกรูยึดประกบปลายข้างหนึ่งของลวดโลหะ

ให้ลวดพันตะปูตัวแรกหนึ่งรอบ แล้วพาดตะปูอีกตัวหนึ่งห้อยขอสำหรับถ่วงด้วยนอต ติดเข็มหรือหลอดกาแฟที่ตะปูตัวแรก เมื่อถ่วงนอตที่ปลายลวด ลวดยืดเล็กน้อยทำให้ตะปูที่พันลวดหมุนเล็กน้อยปลายเข็มจะเลื่อน ทำการบันทึกระยะที่เข็มเบนกับจำนวนนอตต่าง ๆ ที่เพิ่มและลดลง เขียนกราฟระหว่างความเค้นดึงและความเครียดดึงแล้วนำมาหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะจากการทดลองพบว่า ความคลาดเคลื่อนส่วนใหญ่เกิดจากการวัดระยะที่เข็มเบี่ยงไปบนสเกล

Graf (2003) ทดลองหาค่ามอดูลัสของยังโดยใช้วงล้อเป็นสเกลวัด โดยออกแบบยึดปลายลวดข้างหนึ่งกับแหวนยึด นำลวดทดลองคล้องผ่านตัวยึดที่ติดกับสเกลวัด จากนั้นเพิ่มตุ้มน้ำหนักกับเส้นลวดเริ่มต้นที่ 50 กรัม จัดให้เข็มชี้ไปที่ตำแหน่งศูนย์บนสเกลวัด ทำการเพิ่มตุ้มน้ำหนักทีละค่า บันทึกผลการทดลอง นำค่าระยะยืดของลวดที่อ่านได้จากสเกลมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะยืดของลวดกับน้ำหนักที่เพิ่มและคำนวณหาค่ามอดูลัสของยัง ซึ่งวิธีดังกล่าวข้างต้นอาจเกิดความคลาดเคลื่อนจากการวัดได้มาก

Wolff - Michael Roth (1994, pp. 197 - 223) ที่ศึกษาการใช้กิจกรรมการทดลอง (Physics Laboratory) ในโรงเรียนมัธยม ซึ่งผลจากงานวิจัยของ Wolff แสดงให้เห็นว่าผู้เรียนที่มีส่วนร่วมในการเรียน โดยการทำกิจกรรมการทดลองจะมีประสิทธิภาพในการเรียนเพิ่มมากขึ้น เพราะการทดลอง เป็นกิจกรรมที่ช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจหลักการทางฟิสิกส์มากขึ้น เนื่องจากได้เห็นและลงมือปฏิบัติการด้วยตนเอง

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการสร้างชุดทดลองเพื่อหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะโดยใช้เทคนิคทางแสง ซึ่งผู้วิจัยได้แบ่งการดำเนินงานวิจัยนี้ออกเป็น 4 ส่วน โดยมีรายละเอียดและขั้นตอนการดำเนินการวิจัยในแต่ละส่วนดังนี้

<u>ส่วนที่ 1</u> การพัฒนาชุดทดลองเพื่อหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะโดยใช้เทคนิคทางแสงโดยทดสอบความถูกต้องของชุดทดลองโดยใช้ลวดทองเหลืองมาตรฐานที่ทราบค่ามอดูลัสของยัง

<u>ส่วนที่ 2</u> การทดลองหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะจากชุดทดลองที่พัฒนาขึ้นโดยแบ่งเป็น 2 ตอนดังนี้

ตอนที่ 1 การทดลองหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะด้วยชุดทดลองที่พัฒนาขึ้นโดยใช้ลวดโลหะที่ทราบค่ามอดูลัสของยังมาตรฐาน ได้แก่ ลวดเหล็ก และนำค่ามาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน โดยใช้ร้อยละความคลาดเคลื่อน

ตอนที่ 2 การทดลองหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะที่ไม่ทราบค่ามอดูลัสของยังมาตรฐานด้วยชุดทดลองที่พัฒนาขึ้นโดยใช้ลวดโลหะ 2 ชนิด ได้แก่ ลวดทองแดงและลวดสเตนเลส

<u>ส่วนที่ 3</u> การจัดทำเอกสารประกอบชุดทดลอง ประกอบด้วยคู่มือปฏิบัติการและคู่มือปฏิบัติการสำหรับครู เพื่อใช้ประกอบการเรียนการสอนปฏิบัติการเรื่อง การหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะโดยใช้เทคนิคทางแสง

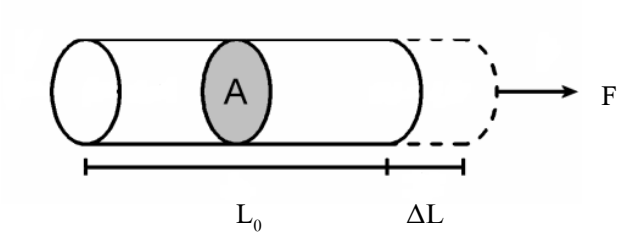
<u>ส่วนที่ 4</u> การประเมินชุดทดลองที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัย แบ่งออกเป็น 2 ตอนคือ

ตอนที่ 1 การวิเคราะห์โดยค่าดัชนีความสอดคล้อง IOC ด้านประสิทธิภาพชุดทดลอง การออกแบบชุดทดลอง และความเหมาะสมของคู่มือปฏิบัติการสำหรับครูกับเนื้อหาจากดุลยพินิจของผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 คน

ตอนที่ 2 การวิเคราะห์โดยใช้มาตราส่วนประมาณค่าความเหมาะสมของชุดทดลองกับเนื้อหาจากความคิดเห็นของนักเรียนที่เป็นกลุ่มตัวอย่างที่ได้จากความสมัครใจ

ส่วนที่ 1 การพัฒนาชุดทดลอง

ในการหาค่ามอดูลัสของยังของวัตถุชนิดต่าง ๆ ค่ามอดูลัสของยังเป็นค่าที่บอกถึงระดับความแข็งแกร่งของวัตถุ สามารถนำมาใช้คำนวณหาพฤติกรรมในการรับแรงของวัตถุ เช่น สามารถใช้ในการคาดคะเนระยะยืดของลวดในขณะรับแรงดึง หรือคำนวณระดับแรงดันที่กดลงบนแท่งวัตถุแล้วทำให้แท่งวัตถุยวบหักลง จากภาพที่ 3-1 วัตถุที่มีสภาพยืดหยุ่นจะเปลี่ยนรูปร่างไปจากเดิมเมื่อมีแรงมากระทำและกลับคืนสู่สภาพเดิมเมื่อแรงที่กระทำลดลงเป็นศูนย์ วัตถุที่เป็นเส้น เช่น เส้นลวดโลหะ จะมีความยาวเพิ่มขึ้นเมื่อมีแรงมาดึงและลดลงเมื่อลดค่าแรงดึง ความยาวที่เพิ่มขึ้นเมื่อวัตถุถูกแรงกระทำเกิดขึ้นน้อย การวัดหาความยาวที่เพิ่มขึ้นมีโอกาสผิดพลาดได้



ภาพที่ 3-1 แสดงแรงกระทำต่อวัตถุที่เป็นเส้นทำให้วัตถุมีความยาวเพิ่มขึ้น

เมื่อ ΔL คือ ความยาวที่เพิ่มขึ้นของเส้นลวด (m)
L_0 คือ ความยาวเดิมของเส้นลวด (m)
F คือ แรงที่ดึงเส้นลวด (N)
A คือ พื้นที่ภาคตัดขวางของเส้นลวด (m^2)

ถ้าแรงที่ดึงเส้นลวดมีค่าไม่เกินขีดจำกัดของฮุก (Hooke limit) ความยาวของเส้นลวดที่เพิ่มขึ้นต่อหนึ่งหน่วยความยาวเดิมจะมีค่าแปรตามแรงที่ดึงเส้นลวดต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ภาคตัดขวางของเส้นลวด นั่นคือ

$$\Delta L/L_0 \ \alpha \ F/A \qquad (3\text{-}1)$$

ปริมาณ $\Delta L/L_0$ เรียกว่า ความเครียดดึง (tensile strain) ส่วน F/A เรียกว่า ความเค้นดึง(tensile stress) นั่นคือ สำหรับวัตถุที่เป็นเส้น อัตราส่วนของความเค้นดึงต่อ

ความเครียดดึงมีค่าคงที่ ค่านี้เรียกว่ามอดูลัสของยัง (Young's modulus) แทนด้วยสัญลักษณ์ Y ซึ่งเขียนได้เป็น

$$Y = \frac{F/A}{\Delta L / L_0}$$

$$Y = \frac{FL_0}{A(\Delta L)} \tag{3-2}$$

กรณีของเส้นลวดยาว L_0 มีเส้นผ่านศูนย์กลาง D และมีความยาวเพิ่มขึ้น ΔL เมื่อถูกดึงด้วยแรงที่เกิดจากน้ำหนักของมวล m จะได้สมการที่ (3-2) เป็น

$$Y = \frac{mgL_0}{\pi(\frac{D}{2})^2(\Delta L)}$$

$$Y = \frac{4mgL_0}{\pi D^2(\Delta L)} \tag{3-3}$$

เมื่อเพิ่มแรงที่ดึงเส้นลวดที่เกิดจากน้ำหนักของมวล m จะทำให้ความยาวของเส้นลวดเพิ่มขึ้น ΔL และความยาวส่วนที่เพิ่มขึ้นแปรผันตรงกับขนาดของแรงดึงเมื่อแรงยังอยู่ในขอบเขตหนึ่ง ตามจริงข้อนี้เรียกว่า กฎของฮุก (Hooke's Law)

ดังนั้น เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่ดึงเส้นลวดที่เกิดจากน้ำหนักของมวล m กับความยาวของเส้นลวดที่เพิ่มขึ้น ΔL มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงโดยมีความยาวเส้นลวด L_0 และเส้นผ่านศูนย์กลางของลวด D คงที่ ให้แกนนอนคือขนาดของมวล m ที่เพิ่มขึ้น แกนตั้งคือความยาวของเส้นลวดที่เพิ่มขึ้นเมื่อถูกแรงกระทำ นำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์จะได้

$$\text{slope} = \frac{\Delta L}{m} \tag{3-4}$$

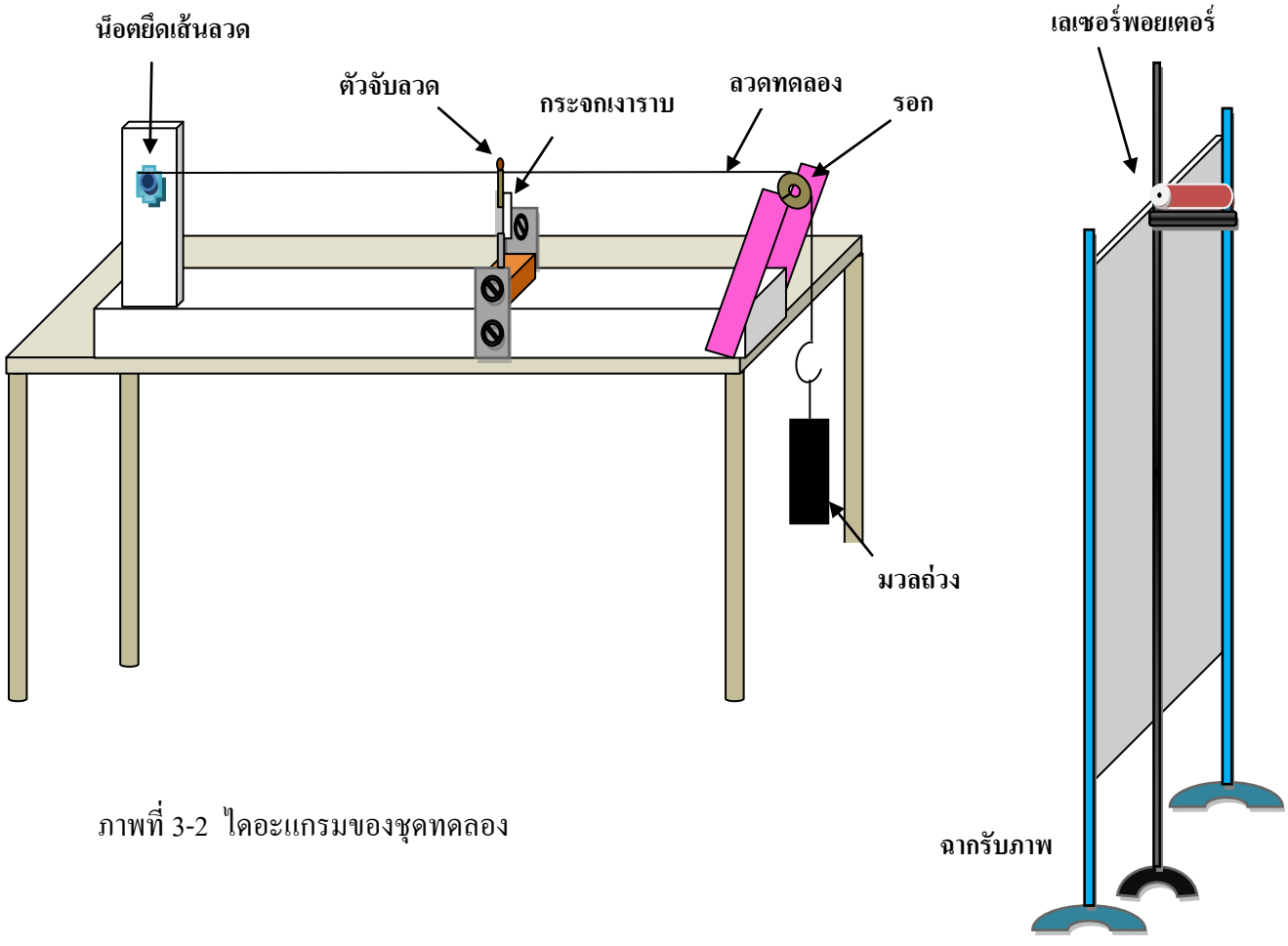
ดังนั้นจากสมการที่ (3-4) สามารถหาค่ามอดูลัสของยังได้ด้วยสมการที่ (3-5) และหาค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนของชุดทดลอง (%Error) ดังสมการที่ (3-6)

$$Y=\frac{4gL_0}{\pi D^2(slope)} \tag{3-5}$$

$$\text{ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อน} = \frac{|\text{ค่าจากการทดลอง} - \text{ค่ามาตรฐาน}|}{\text{ค่ามาตรฐาน}} \times 100\% \tag{3-6}$$

ในการหาความยาวของเส้นลวดที่เพิ่มขึ้น ΔL ความยาวของเส้นลวดที่เพิ่มขึ้นเมื่อถูกแรงกระทำจะเกิดขึ้นน้อยมากซึ่งมีโอกาสผิดพลาดในการวัดได้ จึงมีการประยุกต์นำหลักการทางแสงมาช่วย นั่นคือการสะท้อนของแสงผ่านกระจกเงาราบ จากนั้นหาความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของเส้นลวดที่เพิ่มขึ้นกับระยะที่ปรากฏจุดของแสงเลเซอร์บนฉากรับภาพ

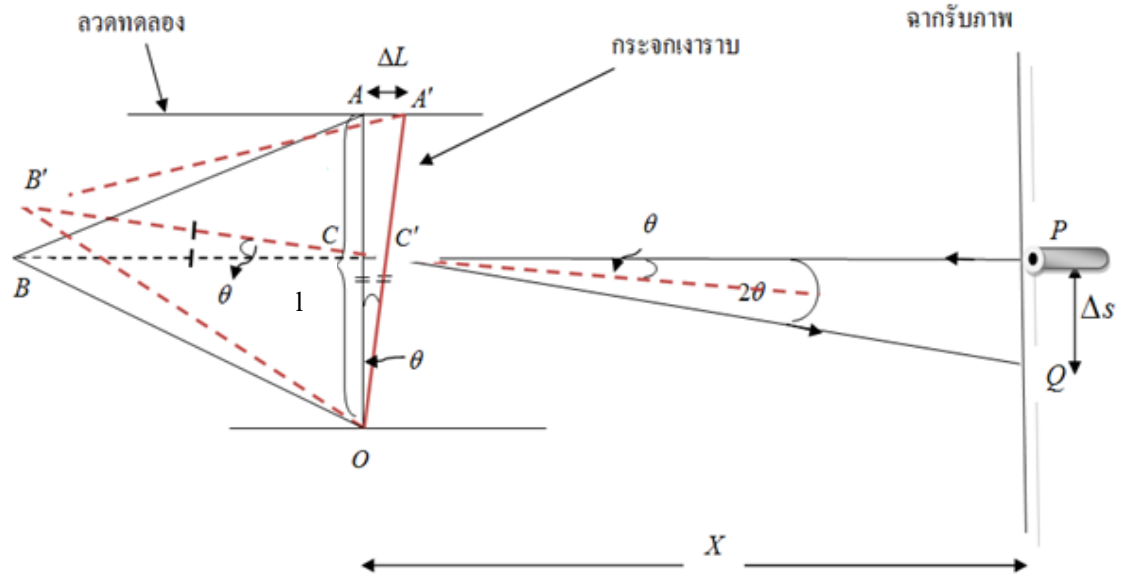
ในการพัฒนาชุดทดลองเพื่อหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะโดยใช้เทคนิคทางแสง ไดอะแกรมของชุดทดลองที่สร้างขึ้นเป็นดังภาพที่ 3-2 อุปกรณ์ประกอบด้วย แหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์พอยเตอร์ กระจกเงาราบ ตัวจับลวด ลวดทดลอง รอก น็อตยึดลวด ฉากรับภาพ มวลถ่วง กระดาษกราฟ และฉากรับภาพ



ภาพที่ 3-2 ไดอะแกรมของชุดทดลอง

การคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของเส้นลวดที่เพิ่มขึ้นกับระยะที่ปรากฏจุดของแสงเลเซอร์บนฉากรับภาพตามหลักทางคณิตศาสตร์ หาได้ดังนี้

เมื่อเริ่มต้นลวดทดลองมีความยาว L_0 ถูกแรงภายนอกกระทำในแนวตั้งฉากกับพื้นที่ภาคตัดขวาง ซึ่งก็คือแรงเนื่องจากน้ำหนักเมื่อเพิ่มมวลถ่วง เริ่มต้นใส่มวลปรับลวดทดลองให้ตึง นำลวดทดลองยึดกับตัวยึดกระจกที่ติดด้านหลังกระจกเงาราบ ติดตั้งกระจกเงาราบอยู่ห่างจากฉากเป็นระยะ X ให้แสงเลเซอร์ตกกระทบกระจกเงาราบ และสะท้อนไปที่ฉากที่จุด P เมื่อเพิ่มมวลถ่วงในห่วงโลหะ ทำให้ลวดทดลองเกิดขยายตัวมีระยะยืดออกจากเดิมเป็น ΔL ทำให้กระจกเงาราบเบนเป็นมุม θ แสงสะท้อนจากกระจกเงาราบบนฉากเบนจากแนวเดิมเป็นระยะ Δs ดังภาพที่ 3-3



ภาพที่ 3-3 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะยืดของลวดกับภาพที่ปรากฏบนฉากรับภาพ

จากภาพที่ 3-3

กำหนดให้ $l=OA=OA'$ คือ ระยะจากจุดหมุนของกระจกมายังเส้นลวดโลหะ

จุด C,C' คือ จุดที่เลเซอร์ตกกระทบบนกระจกเงาราบ

พิจารณา ΔBCO และ $\Delta B'C'O$

1. $CO = C'O$
2. $B\hat{C}O = B'\hat{C}'O = 90°$ (เส้นปกติ (Normal) เป็นเส้นตรงที่ลากตั้งฉากกับผิวระนาบกระจก)
3. $BC = B'C'$ (กำหนด)

จะได้ $\Delta BCO \cong \Delta B'C'O$ (ความสัมพันธ์สามเหลี่ยมคล้ายแบบด้าน-มุม-ด้าน)

ดังนั้น $B\hat{C}'B' = C\hat{O}C' = \theta$

จากนิยาม $\theta = \dfrac{\text{ระยะทางตามส่วนโค้ง}}{\text{ความยาวรัศมีของวงกลม}}$

พิจารณา $\Delta COC'$ และ $\Delta AOA'$

1. $A\hat{O}A' = C\hat{O}C'$ (มุมร่วมของสามเหลี่ยม)
2. $O\hat{C}C' = O\hat{A}A'$
3. $O\hat{C}'C = O\hat{A}'A$

จะได้ $\Delta COC' \cong \Delta AOA'$ (ความสัมพันธ์สามเหลี่ยมคล้าย)

ดังนั้น $\dfrac{OC}{OA} = \dfrac{OC'}{OA'} = \dfrac{CC'}{AA'}$

ให้ระยะ $AA' = \Delta L$ และ $OA = l$

จะได้ $\theta = \dfrac{CC'}{OC} = \dfrac{AA'}{OA} = \dfrac{\Delta L}{l}$ (3-7)

จาก $B\hat{C}'B' = C\hat{O}C' = \theta$

$B\hat{C}'B' = \dfrac{P\hat{C}'Q}{2} = \theta$ (เส้นตรง 2 เส้นตัดกันมุมตรงข้ามมีขนาดเท่ากัน)

พิจารณ $\Delta PC'Q = 2\theta$

$\tan 2\theta = \dfrac{\Delta s}{X}$; $\tan 2\theta \approx 2\theta$

$2\theta = \dfrac{\Delta s}{X}$

$\theta = \dfrac{\Delta s}{2X}$ (3-8)

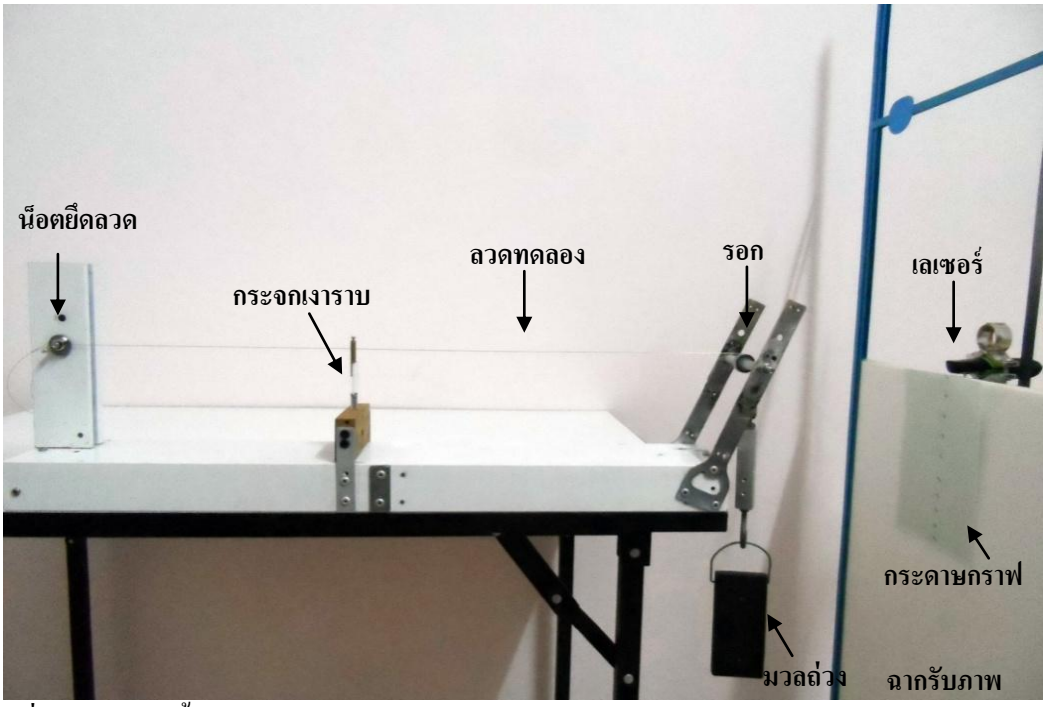
นำสมการที่ (3-7) = สมการที่ (3-8) จะได้

$\dfrac{\Delta L}{l} = \dfrac{\Delta s}{2X}$

$\Delta L = \dfrac{\Delta s \times l}{2X}$ (3-9)

จากนั้นนำ ΔL ที่ได้ไปแทนค่าหา $\text{slope} = \dfrac{\Delta L}{m}$ และหาค่ามอดูลัสของยังในสมการที่ (3-5)

ในการพัฒนาชุดทดลองหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะโดยใช้เทคนิคทางแสง จัดตั้งชุดทดลองให้กระจกเงาราบตั้งฉากกับแนวราบ ยึดปลายข้างหนึ่งลวดทดลองกับน็อตยึดลวด ส่วนปลายอีกข้างคล้องผ่านรอกและติดตะขอใส่มวลถ่วง จากนั้นติดตั้งแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ พอยเตอร์หลังฉากรับภาพ ให้แสงเลเซอร์ตกกระทบกระจกเงาราบและสะท้อนกลับในแนวเดียวกัน เมื่อเพิ่มมวลถ่วงระยะปรากฏจุดของแสงเลเซอร์บนฉากรับภาพจะเปลี่ยนแปลง ในการทดลองสามารถจัดตั้งชุดลองได้ดังภาพที่ 3-4



ภาพที่ 3-4 การจัดตั้งชุดทดลอง

การทดสอบชุดทดลอง

การทดสอบชุดทดลองทำโดยใช้ลวดทองเหลืองมาตรฐานที่ทราบค่ามอดูลัสของยังมาทดสอบหาระยะระหว่างกระจกเงาราบถึงฉากที่เหมาะสม 4 ระยะ ได้แก่ 1.0 1.5 2.0 และ 2.5 m โดยนำค่ามาเปรียบเทียบกับค่ามอดูลัสของยังมาตรฐาน พร้อมทั้งหาร้อยละความคลาดเคลื่อนของชุดทดลอง ซึ่งทำการทดลอง 10 ครั้งและนำผลทดลอง 5 ครั้งมาพิจารณา

อุปกรณ์ในการวิจัย

1. ชุดทดลองหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะโดยใช้เทคนิคทางแสง

2. อุปกรณ์ประกอบชุดทดลอง ได้แก่ ไม้เมตร เครื่องวัดระดับน้ำ Clamp ยึดชุดทดลอง และเครื่องคิดเลขแบบวิทยาศาสตร์

3. ลวดโลหะชนิดต่าง ๆ เช่น ลวดทองเหลือง ลวดเหล็ก ลวดทองแดง และลวดสเตนเลส

ขั้นตอนการทดลองในการวิจัย

1. จัดชุดทดลองตามภาพที่ 3-4 ใช้ลวดทองเหลืองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.0×10^{-4} m ความยาวลวดเริ่มต้น 0.66 m โดยยึดปลายลวดทองเหลืองข้างหนึ่งกับน็อตยึด และปลายอีกข้างหนึ่งยึดกับห่วงโลหะสำหรับใส่มวลถ่วง

2. ปรับลวดทองเหลืองให้ตึง โดยใส่มวลถ่วง 0.5 kg ปรับกระจกเงาราบให้ตั้งฉากกับแนวระดับและหมุนตัวยึดกระจกกับเส้นลวดให้แน่น

3. วัดระยะระหว่างจุดหมุนของกระจกเงาราบกับลวดทองเหลือง บันทึกเป็นค่า l

4. ติดตั้งฉากรับภาพและวัดระยะระหว่างกระจกเงาราบถึงฉากรับภาพ 4 ระยะ ได้แก่ ระยะ 1.0 1.5 2.0 และ 2.5 m และเริ่มต้นทำการทดลองที่ระยะ 1.0 m บันทึกเป็นค่า X

5. ติดตั้งแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์พอยเตอร์หลังฉากรับภาพ ให้แสงเลเซอร์พอยเตอร์กระทบกระจกเงาราบและสะท้อนกลับยังตำแหน่งเดิม ติดกระดาษกราฟบนฉากรับภาพ บันทึกตำแหน่งที่แสงเลเซอร์สะท้อนกลับเป็นตำแหน่งเริ่มต้น

6. ทำการเพิ่มมวลถ่วงครั้งละ 0.5 kg จนถึง 3.5 kg พร้อมกับขีดเส้นใต้แสงเลเซอร์บนฉากทุก ๆ ค่าที่เพิ่มมวลถ่วง

7. ปฏิบัติเช่นเดียวกับข้อ 6 แต่เปลี่ยนจากการเพิ่มมวลถ่วงเป็นการลดมวลถ่วงที่ละ 0.5 kg พร้อมกับขีดเส้นใต้แสงเลเซอร์บนฉากทุก ๆ ค่าที่ลดมวลถ่วง

8. นำกระดาษกราฟที่ปรากฏจุดแสงเลเซอร์ มาวัดระยะห่างระหว่างจุดที่ขีดเส้นใต้ขณะที่เพิ่มและลดมวลถ่วง หาค่าเฉลี่ยและบันทึกเป็น Δs

9. นำ Δs ที่ได้แทนค่าในสมการที่ (3-9) หาความยาวของลวดทองเหลืองที่เพิ่มขึ้นของมวลถ่วงแต่ละค่า

10. นำค่าที่ได้จากการทดลองมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของลวดทองเหลืองที่เพิ่มขึ้นและมวลถ่วง โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excell ตามรูปของสมการเชิงเส้น $y = mx + c$ ให้แกนตั้งเป็นความยาวของลวดทองเหลืองและแกนนอนเป็นมวลถ่วง

11. นำความชันของกราฟมาคำนวณค่ามอดูลัสของยังของลวดทองเหลืองตามสมการที่ (3-5)

12. เปรียบเทียบค่ามอดูลัสของยังของลวดทองเหลืองที่ได้จากการทดลองกับค่ามาตรฐาน และหาร้อยละความคลาดเคลื่อนจากการทดลองตามสมการที่ (3-6)

13. ทำการทดลองดังข้อ 5 - ข้อ 12 โดยเปลี่ยนระยะห่างระหว่างฉากรับภาพกับกระจกเงาราบไปที่ระยะ 1.5 2.0 และ 2.5 m แล้วนำค่ามอดูลัสของยังของลวดทองเหลืองที่ระยะต่าง ๆ มาเปรียบเทียบ

หมายเหตุ ค่ามาตรฐานของมอดูลัสของยังของลวดทองเหลืองเท่ากับ 0.96×10^{11} N/m^2 (Gere, 2006)

ส่วนที่ 2 การทดลองหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะโดยชุดทดลองที่พัฒนาขึ้น

การทดลองหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะแบ่งออกเป็น 2 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 การทดลองหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะที่ทราบค่ามอดูลัสของยังมาตรฐานด้วยชุดทดลองที่พัฒนาขึ้น ได้แก่ ลวดเหล็ก และนำไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน ดังนี้

1. จัดชุดทดลองตามภาพที่ 3-4 ใช้ลวดเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.0×10^{-4} m ความยาวลวดเริ่มต้น 0.66 m โดยยึดปลายลวดเหล็กข้างหนึ่งกับน็อตยึด และปลายอีกข้างหนึ่งยึดกับห่วงโลหะสำหรับใส่มวลถ่วง

2. ปรับลวดเหล็กให้ตึง โดยใส่มวลถ่วงเริ่มต้น 3.5 kg ปรับกระจกเงาราบให้ตั้งฉากกับแนวระดับและหมุนตัวยึดกระจกกับเส้นลวดให้แน่น

3. วัดระยะห่างระหว่างจุดหมุนของกระจกเงาราบกับลวดเหล็ก บันทึกเป็นค่า l

4. ติดตั้งฉากรับภาพและวัดระยะห่างระหว่างกระจกเงาราบถึงฉากรับภาพที่ระยะ 2.0 m บันทึกเป็นค่า X

5. ติดตั้งแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์พอยเตอร์หลังฉากรับภาพ ให้แสงเลเซอร์พอยเตอร์กระทบกระจกเงาราบและสะท้อนกลับยังตำแหน่งเดิม ติดกระดาษกราฟบนฉากรับภาพ บันทึกตำแหน่งที่แสงเลเซอร์สะท้อนกลับเป็นตำแหน่งเริ่มต้น

6. ทำการเพิ่มมวลถ่วงทีละ 0.5 kg จนถึง 6.5 kg พร้อมกับขีดเส้นใต้แสงเลเซอร์บนฉากทุก ๆ ค่าที่เพิ่มมวลถ่วง

7. ปฏิบัติเช่นเดียวกับข้อ 6 แต่เปลี่ยนจากการเพิ่มมวลถ่วงเป็นการลดมวลถ่วงที่ละ0.5 kg พร้อมกับขีดเส้นใต้แสงเลเซอร์บนฉากทุก ๆ ค่าที่ลดมวลถ่วง

8. นำกระดาษกราฟที่ปรากฏจุดแสงเลเซอร์ มาวัดระยะห่างระหว่างจุดที่ขีดเส้นใต้ขณะที่เพิ่มและลดมวลถ่วง หาค่าเฉลี่ยและบันทึกเป็น Δs

9. นำ Δs ที่ได้แทนค่าในสมการที่ (3-9) หาความยาวลวดเหล็กที่เพิ่มขึ้นของมวลถ่วงแต่ละค่า

10. นำค่าที่ได้จากการทดลองมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของลวดเหล็กที่เพิ่มขึ้นและมวลถ่วง โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excell ตามรูปของสมการเชิงเส้น $y = mx + c$ ให้แกนตั้งเป็นความยาวของลวดเหล็ก และแกนนอนเป็นมวลถ่วง

11. นำความชันของกราฟมาคำนวณค่ามอดูลัสของยังของลวดเหล็กตามสมการที่ (3-5)

12. เปรียบเทียบค่ามอดูลัสของยังของลวดเหล็กที่ได้จากการทดลองกับค่ามาตรฐานแล้วหาร้อยละความคลาดเคลื่อนจากการทดลองตามสมการที่ (3-6)

หมายเหตุ ค่ามาตรฐานของมอดูลัสของยังของลวดเหล็กเท่ากับ 2.10×10^{11} N/m^2 (Farag, 2008)

<u>ตอนที่ 2</u> การทดลองหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะที่ไม่ทราบค่ามอดูลัสของยังมาตรฐานด้วยชุดทดลองที่พัฒนาขึ้น โดยใช้ลวดโลหะ 2 ชนิดได้แก่ ลวดทองแดงและลวดสเตนเลส ดังนี้

1. จัดชุดทดลองตามภาพที่ 3-4 ใช้ลวดทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.0×10^{-4} m ความยาวลวดเริ่มต้น 0.66 m ยึดปลายลวดข้างหนึ่งกับน็อตยึด และปลายอีกข้างหนึ่งยึดกับห่วงโลหะสำหรับใส่มวลถ่วง

2. ปรับลวดโลหะให้ตึง โดยใส่มวลถ่วงเริ่มต้น 3.5 kg ปรับกระจกเงาราบให้ตั้งฉากกับแนวระดับและหมุนตัวยึดกระจกกับเส้นลวดให้แน่น

3. วัดระยะห่างระหว่างจุดหมุนของกระจกเงาราบกับลวดโลหะ บันทึกเป็นค่า l

4. ติดตั้งฉากรับภาพและวัดระยะห่างระหว่างกระจกเงาราบถึงฉากรับภาพที่ระยะ 2.0 m บันทึกเป็นค่า X

5. ติดตั้งเลเซอร์พอยเตอร์หลังฉากรับภาพ ให้แสงเลเซอร์พอยเตอร์ตกกระทบกระจกเงาราบและสะท้อนกลับยังตำแหน่งเดิม ติดกระดาษกราฟบนฉากรับภาพ บันทึกตำแหน่งที่แสงเลเซอร์สะท้อนกลับเป็นตำแหน่งเริ่มต้น

6. ทำการเพิ่มมวลถ่วงครั้งละ 0.5 kg จนถึง 6.5 kg พร้อมกับขีดเส้นใต้แสงเลเซอร์บนฉากทุก ๆ ค่าที่เพิ่มมวลถ่วง

7. ปฏิบัติเช่นเดียวกับข้อ 6 แต่เปลี่ยนจากการเพิ่มมวลถ่วงเป็นการลดมวลถ่วงที่ละ 0.5 kg พร้อมกับขีดเส้นใต้แสงเลเซอร์บนฉากทุก ๆ ค่าที่ลดมวลถ่วง

8. นำกระดาษกราฟที่ปรากฏจุดแสงเลเซอร์ มาวัดระยะห่างระหว่างจุดที่ขีดเส้นใต้ขณะที่เพิ่มและลดมวลถ่วง หาค่าเฉลี่ยและบันทึกเป็น Δs

9. นำ Δs ที่ได้ แทนค่าในสมการที่ (3-9) หาความยาวลวดโลหะที่เพิ่มขึ้นของมวลถ่วงแต่ละค่า

10. นำค่าที่ได้จากการทดลองมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของลวดโลหะที่เพิ่มขึ้นและมวลถ่วง โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excell ตามรูปของสมการเชิงเส้น $y = mx + c$ ให้แกนตั้งเป็นความยาวของลวดโลหะ และแกนนอนเป็นมวลถ่วง

11. นำความชันของกราฟมาคำนวณค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะตามสมการที่ (3-5)

12. ทำการทดลองเช่นเดียวกันตั้งแต่ข้อที่ 1 - ข้อที่ 11 แต่เปลี่ยนเป็นลวดสเตนเลสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.0×10^{-4} m ความยาวเริ่มต้น 0.66 m

ส่วนที่ 3 การจัดทำเอกสารประกอบชุดทดลอง

ผู้วิจัยได้จัดทำเอกสารประกอบชุดทดลองคือ คู่มือปฏิบัติการและคู่มือปฏิบัติการสำหรับครู ดังนี้

1. คู่มือปฏิบัติการ เป็นเอกสารที่ให้ผู้เรียนใช้ประกอบการทดลองเรื่อง การหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะโดยใช้เทคนิคทางแสง ประกอบด้วยรายละเอียดดังนี้

   1.1 ข้อแนะนำการใช้คู่มือ

   1.2 ใบความรู้

   1.3 ใบงานการทดลอง

2. คู่มือปฏิบัติการสำหรับครู เป็นเอกสารที่ให้ครูผู้สอนใช้ประกอบการสอนปฏิบัติการเรื่อง การหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะโดยใช้เทคนิคทางแสง ประกอบด้วยรายละเอียดดังนี้

   2.1 ข้อแนะนำในการใช้คู่มือครู

   2.2 แผนการจัดการเรียนรู้

2.3 ใบความรู้

2.4 ใบงานการทดลอง

2.5 ตัวอย่างการบันทึกผลการทดลองและการจัดกระทำข้อมูลจากการทดลอง

ส่วนที่ 4 การประเมินชุดทดลอง

การประเมินชุดทดลองที่สร้างขึ้นแบ่งเป็น 2 ตอนดังนี้

ตอนที่ 1 ตรวจสอบความเหมาะสมของชุดทดลองโดยใช้ดุลยพินิจของผู้เชี่ยวชาญ

การวิเคราะห์แบบประเมินจากผู้เชี่ยวชาญ ส่วนนี้เป็นการประเมินจากแบบสอบถามความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญที่มีต่อชุดทดลองการหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะโดยใช้เทคนิคทางแสง โดยการวิเคราะห์ค่าดัชนีความสอดคล้อง IOC 3 ด้าน คือ ด้านประสิทธิภาพของชุดทดลอง ด้านการออกแบบพัฒนาชุดทดลอง และด้านความเหมาะสมของคู่มือปฏิบัติการสำหรับครู โดยหาค่าดัชนีความสอดคล้อง IOC ระหว่างเครื่องมือที่สร้างขึ้นกับแบบประเมินโดยใช้ดุลยพินิจของผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 คน ซึ่งมีสมการในการหาค่าดัชนีความสอดคล้อง ดังนี้

$$IOC = \frac{\Sigma R}{N}$$

เมื่อ IOC คือ ค่าดัชนีความสอดคล้อง

ΣR คือ ผลรวมของคะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญทุกคน

N คือ จำนวนผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด

โดยให้คะแนนระดับความสอดคล้องด้านประสิทธิภาพของชุดทดลอง ด้านการออกแบบชุดทดลอง และด้านความเหมาะสมของคู่มือปฏิบัติการสำหรับครูกับเนื้อหา ดังนี้

+1 เมื่อแน่ใจว่าชุดทดลองมีความเหมาะสมและสอดคล้องกับเนื้อหา

0 เมื่อไม่แน่ใจว่าชุดทดลองมีความเหมาะสมและสอดคล้องกับเนื้อหา

-1 เมื่อแน่ใจว่าชุดทดลองไม่มีความเหมาะสมและสอดคล้องกับเนื้อหา

ค่า IOC ในแต่ละข้อต้องไม่ต่ำกว่า 0.5 (สุวิมล ติรกานันท์, 2546, หน้า 139-140)

<u>กลุ่มตัวอย่าง</u>

ผู้เชี่ยวชาญที่มีประสบการณ์ในการสอนวิชาวิทยาศาสตร์/ ฟิสิกส์ และผู้ที่มีความชำนาญในด้านวิทยาศาสตร์ศึกษา จำนวน 5 คน

ตอนที่ 2 ตรวจสอบความเหมาะสมของชุดทดลองโดยใช้ความคิดเห็นของนักเรียน

ตรวจสอบความเหมาะสมของชุดทดลองกับเนื้อหาจากความคิดเห็นของนักเรียนที่มีต่อชุดทดลองการหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะโดยใช้เทคนิคทางแสง โดยการวิเคราะห์มาตราส่วนประมาณค่าตามวิธีการของลิเคอร์ท 5 ระดับโดยใช้เกณฑ์การให้คะแนนและแปลความหมายดังนี้ (สุวิมล ติรกานันท์, 2546, หน้า 155)

เกณฑ์การให้คะแนน

คะแนน 5 หมายถึง เห็นด้วยอย่างยิ่ง

คะแนน 4 หมายถึง เห็นด้วย

คะแนน 3 หมายถึง ไม่แน่ใจ

คะแนน 2 หมายถึง ไม่เห็นด้วย

คะแนน 1 หมายถึง ไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง

เกณฑ์การแปลความหมาย

4.51 - 5.00 หมายถึง มีความเห็นอยู่ในระดับเห็นด้วยอย่างยิ่ง

3.51 - 4.50 หมายถึง มีความเห็นอยู่ในระดับเห็นด้วย

2.51 - 3.50 หมายถึง มีความเห็นอยู่ในระดับไม่แน่ใจ

1.51 - 2.50 หมายถึง มีความเห็นอยู่ในระดับไม่เห็นด้วย

1.00 - 1.50 หมายถึง มีความเห็นอยู่ในระดับไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง

<u>ประชากร</u>

นักเรียนที่กำลังศึกษาอยู่ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ของโรงเรียนสองพี่น้องวิทยาสายวิทย์ – คณิต แผนการเรียนปกติ ตำบลบางตาเถร อำเภอสองพี่น้อง จังหวัดสุพรรณบุรี ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2556 จำนวน 120 คน

<u>กลุ่มตัวอย่าง</u>

กลุ่มตัวอย่างที่ศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ได้จากนักเรียนที่เข้าร่วมเป็นกลุ่มตัวอย่างทดลองตามความสมัครใจจำนวน 30 คน คิดเป็นร้อยละ 25 ของประชากร มาจากวิธีกำหนดกลุ่มตัวอย่างโดยใช้เกณฑ์ค่าร้อยละของประชากรในหลักร้อยจะใช้กลุ่มตัวอย่างร้อยละ 15-30 ของประชากร (วาโร เพ็งสวัสดิ์, 2551, หน้า 187-188)

บทที่ 4

ผลการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยแบ่งผลการวิจัยออกเป็น 3 ส่วนโดยมีรายละเอียดดังนี้

ส่วนที่ 1 ผลการพัฒนาชุดทดลองเพื่อหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะโดยใช้เทคนิคทางแสง โดยทดสอบความถูกต้องของชุดทดลองโดยใช้ลวดทองเหลืองมาตรฐานที่ทราบค่ามอดูลัสของยัง

ส่วนที่ 2 ผลการทดลองหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะจากชุดทดลองที่พัฒนาขึ้น โดยแบ่งเป็น 2 ตอนดังนี้

ตอนที่ 1 การทดลองหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะที่ทราบค่ามอดูลัสของยังมาตรฐาน ได้แก่ ลวดเหล็ก

ตอนที่ 2 การทดลองหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะที่ไม่ทราบค่ามอดูลัสของยังมาตรฐาน ได้แก่ ลวดทองแดงและลวดสเตนเลส

ส่วนที่ 3 ผลการประเมินชุดทดลองที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัย แบ่งออกเป็น 2 ตอนคือ

ตอนที่ 1 การวิเคราะห์ค่าดัชนีความสอดคล้อง IOC ประสิทธิภาพของชุดทดลอง การออกแบบชุดทดลอง และความเหมาะสมของคู่มือปฏิบัติการสำหรับครูกับเนื้อหาจากดุลยพินิจของผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 คน

ตอนที่ 2 การวิเคราะห์มาตราส่วนประมาณค่าความเหมาะสมของชุดทดลองกับเนื้อหา จากความคิดเห็นของนักเรียนที่เป็นกลุ่มตัวอย่าง

ส่วนที่ 1 ผลการพัฒนาชุดทดลองหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะโดยใช้เทคนิคทางแสง

ในการพัฒนาชุดทดลองการหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะโดยใช้เทคนิคทางแสง ผู้วิจัยได้ออกแบบพัฒนาชุดทดลอง โดยกำหนดให้แรงที่ดึงเส้นลวดเป็นแรงเนื่องจากน้ำหนักของมวลถ่วงที่เพิ่มและลด ภายในขีดจำกัดสภาพยืดหยุ่นแรงที่ดึงเส้นลวดทำให้ความยาวของเส้นลวดเพิ่มขึ้นต่อหนึ่งหน่วยความยาวเดิมและมีค่าแปรตามแรงที่ดึงเส้นลวดต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ภาคตัดขวางของเส้นลวด เขียนความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ (4-1)

$$\Delta L/L_0 \ \alpha \ F/A \qquad (4\text{-}1)$$

เมื่อ F คือ แรงที่ดึงเส้นลวด (N)

A คือ พื้นที่ภาคตัดขวางของเส้นลวด (m^2)

L_0 คือ ความยาวเดิมของเส้นลวด (m)

ΔL คือ ความยาวที่เพิ่มขึ้นของเส้นลวด (m)

อัตราส่วนระหว่าง F/A ต่อ $\Delta L/L_0$ เรียกว่า มอดูลัสของยัง เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ Y ดังนั้นค่ามอดูลัสของยังสามารถหาได้ดังสมการที่ (4-2)

$$Y = \frac{F/A}{\Delta L/L_0}$$

$$Y = \frac{FL_0}{A(\Delta L)} \qquad (4\text{-}2)$$

กรณีของเส้นลวดยาว L_0 มีเส้นผ่านศูนย์กลาง D และมีความยาวเพิ่มขึ้น ΔL เมื่อถูกดึงด้วยแรงที่เกิดจากน้ำหนักของมวล m จะได้สมการที่ (4-2) เป็น

$$Y = \frac{mgL_0}{\pi(\frac{D}{2})^2(\Delta L)}$$

$$Y = \frac{4mgL_0}{\pi D^2(\Delta L)} \qquad (4\text{-}3)$$

ในการหาความยาวของเส้นลวดที่เพิ่มขึ้น ΔL จะนำเทคนิคการสะท้อนแสงผ่านกระจกเงาราบเข้ามาช่วย ซึ่งมีความสัมพันธ์กับระยะที่ปรากฏจุดของแสงเลเซอร์บนฉากรับภาพตามหลักทางคณิตศาสตร์ และจากความสัมพันธ์ของแรงที่ดึงเส้นลวดที่เกิดจากน้ำหนักของมวล m กับความยาวของเส้นลวดที่เพิ่มขึ้น ΔL มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง โดยมีความยาวเส้นลวด L_0 และเส้นผ่านศูนย์กลางของลวด D คงที่ ให้แกนนอนคือ ขนาดของมวลที่เพิ่มขึ้น แกนตั้งคือ ระยะยืดของเส้นลวดเมื่อถูกแรงกระทำ ความชันของกราฟหาได้ดังสมการที่ (4-4)

$$\text{slope} = \frac{\Delta L}{m} \tag{4-4}$$

ดังนั้นจากสมการที่ (4-3) เมื่อแทนค่าความชันของกราฟจากสมการที่ (4-4) สามารถหาค่ามอดูลัสของยังได้ดังสมการที่ (4-5) และหาค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนของชุดทดลอง (%Error) ได้จากสมการที่ (4-6)

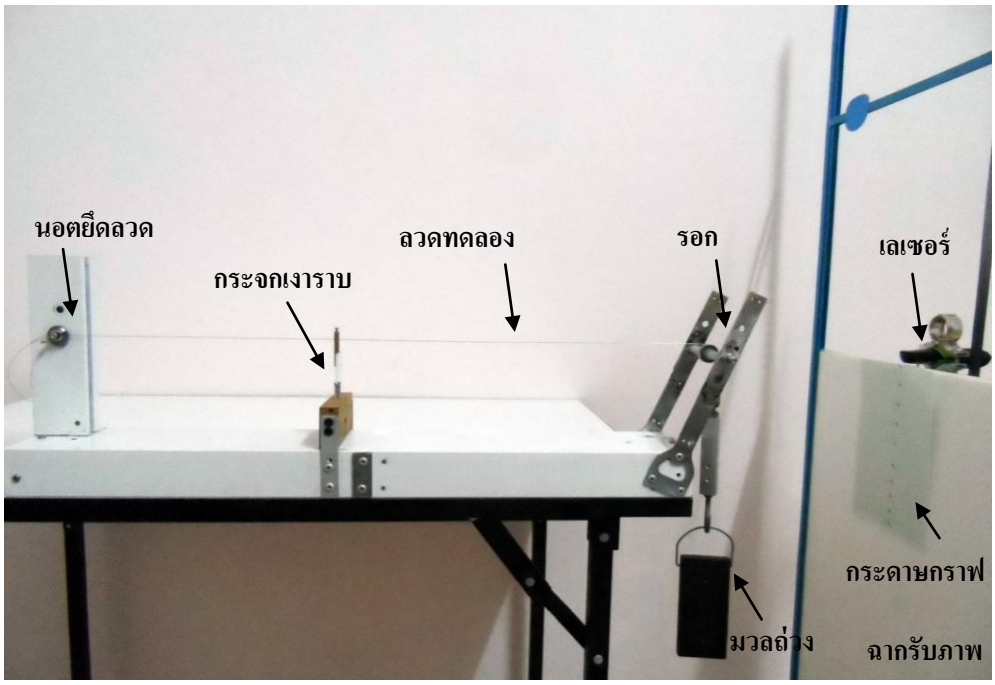
$$Y = \frac{4gL_0}{\pi D^2(\text{slope})} \tag{4-5}$$

$$\text{ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อน} = \frac{\left|\text{ค่าจากการทดลอง} - \text{ค่ามาตรฐาน}\right|}{\text{ค่ามาตรฐาน}} \times 100\% \tag{4-6}$$

ลักษณะของชุดทดลองที่พัฒนาขึ้น

ชุดทดลองที่พัฒนาขึ้นแสดงในภาพที่ 4-1 ประกอบด้วย

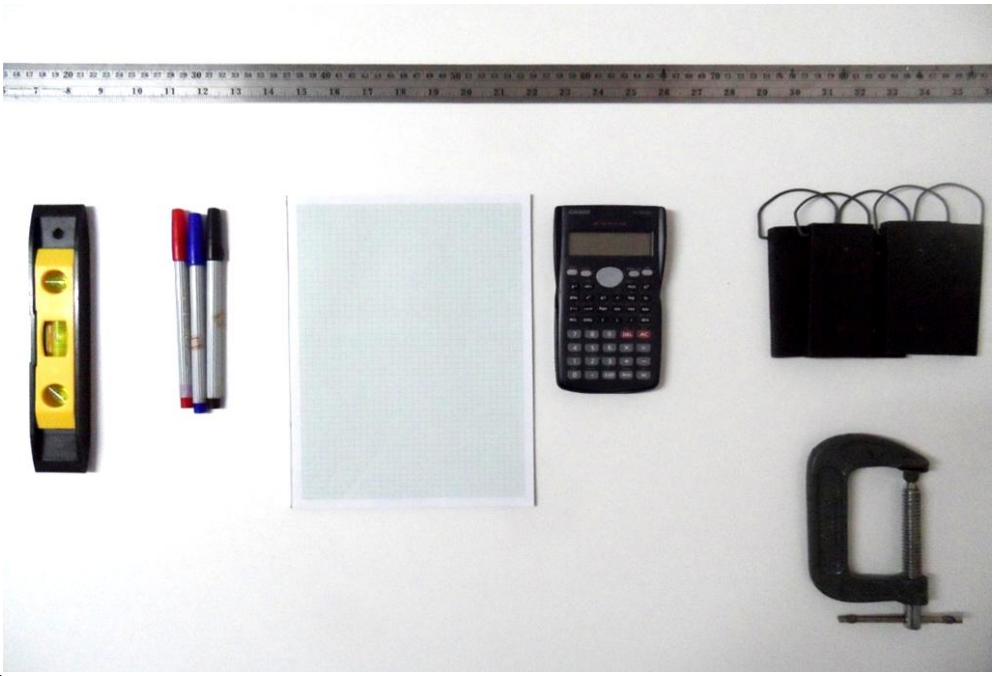
1. แหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์พอยเตอร์
2. กระจกเงาราบ
3. ฉากรับภาพ
4. รอก
5. เส้นลวดโลหะทดลอง
6. กระดาษกราฟ
7. มวลถ่วง



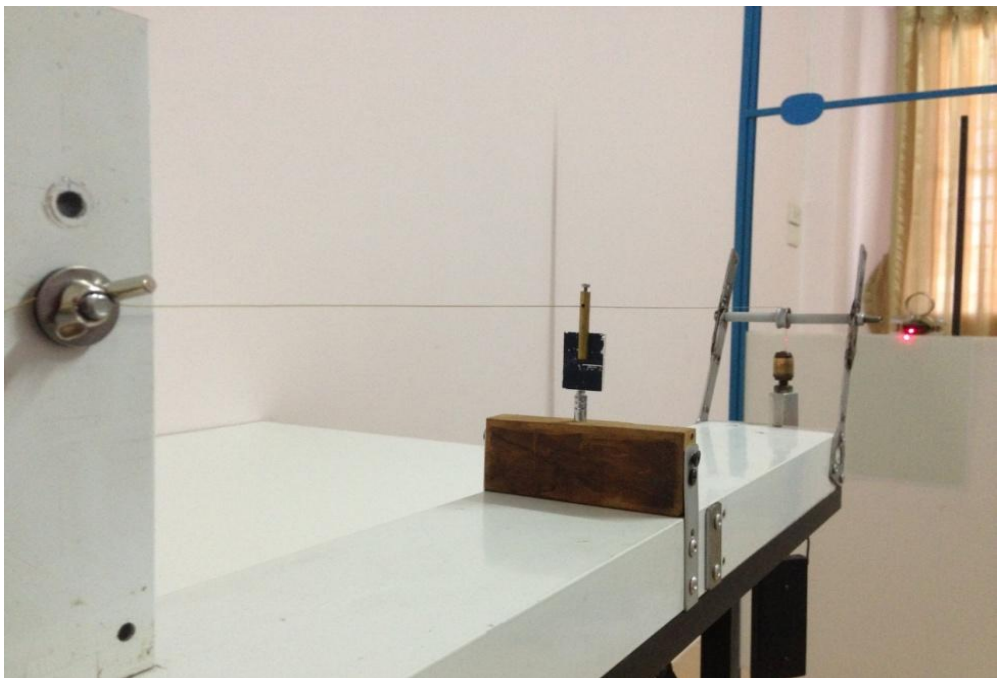
ภาพที่ 4-1 ชุดทดลองที่พัฒนาขึ้น

ภาพที่ 4-2 อุปกรณ์ประกอบชุดทดลอง แหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์พอยเตอร์

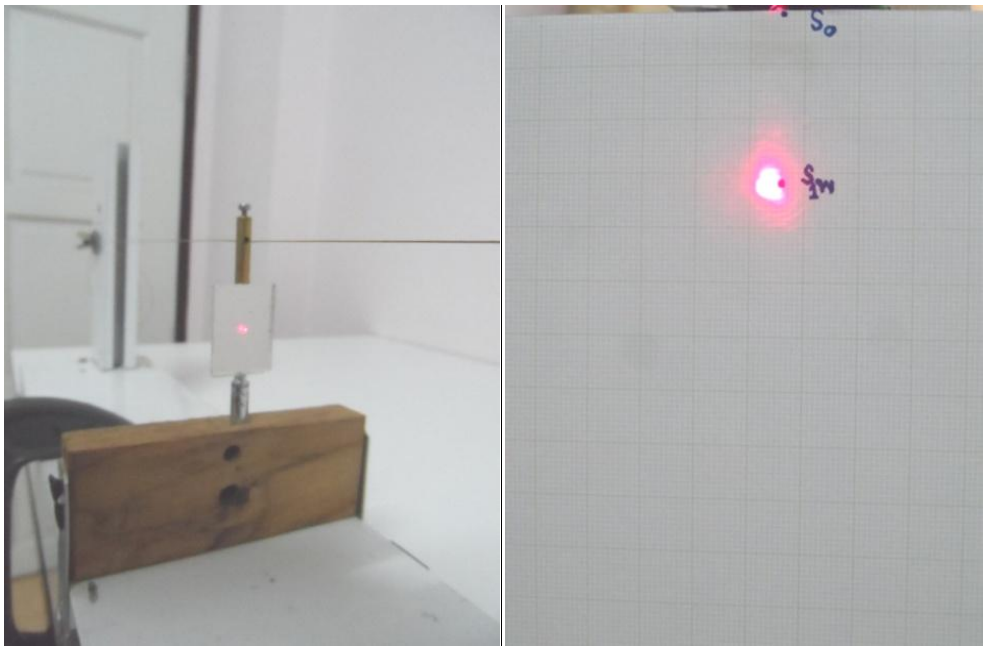
ภาพที่ 4-3 อุปกรณ์ประกอบชุดทดลอง ลวดโลหะทดสอบชนิดต่างๆ



ภาพที่ 4-4 อุปกรณ์ประกอบชุดทดลอง



ภาพที่ 4-5 การทดสอบชุดทดลองโดยใช้ลวดทองเหลือง ให้แสงเลเซอร์ตกกระทบกระจกเงาราบ



ภาพที่ 4-6 การทดสอบชุดทดลอง ทำเครื่องหมายแสดงจุดที่แสงเลเซอร์ปรากฏบนแผ่นกราฟ

ผลการทดสอบความถูกต้องของชุดทดลองจากการหาระยะระหว่างกระจกเงาราบถึงฉาก (X) ที่เหมาะสม

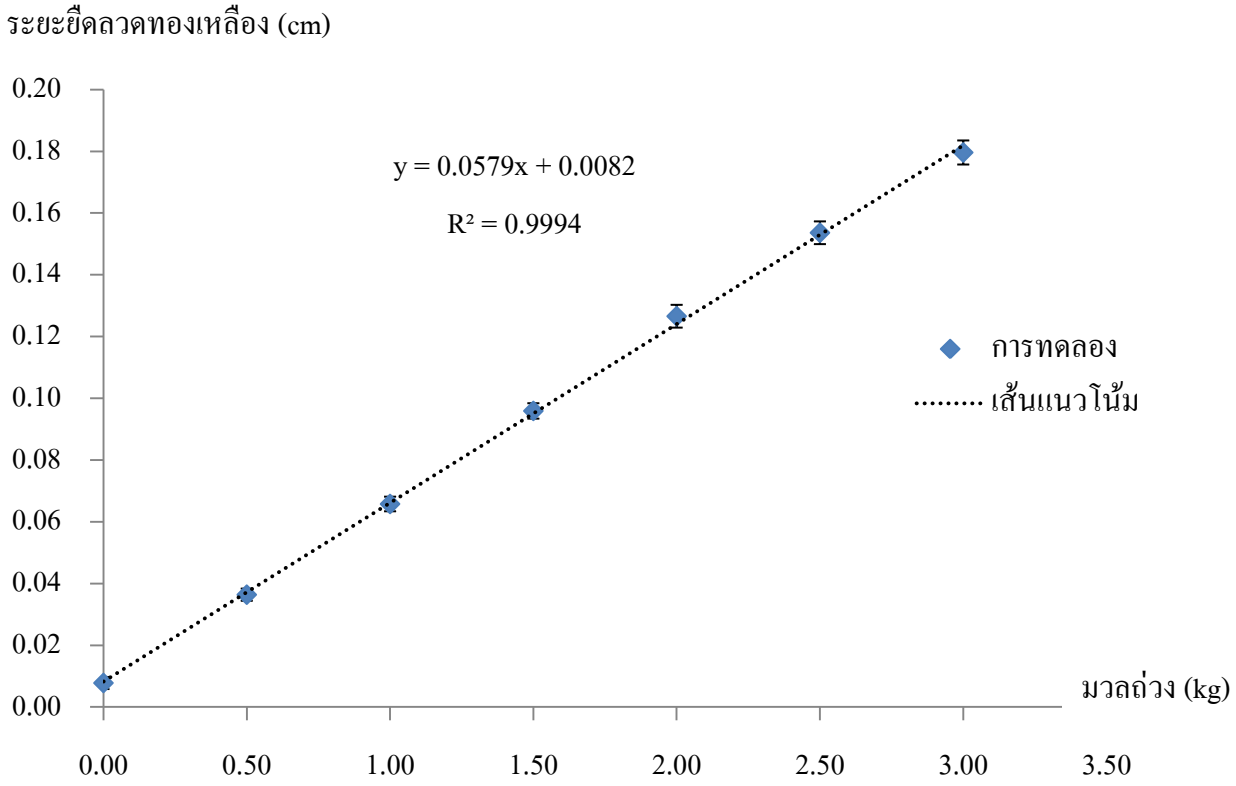
การทดสอบชุดทดลองหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะโดยใช้เทคนิคทางแสง ทดสอบกับลวดทองเหลืองเส้นผ่านศูนย์กลางลวด 4.0×10^{-4} m ความยาวลวดทองเหลือง 0.66 m ระยะจากจุดหมุนของกระจกเงาราบถึงลวดทองเหลืองเท่ากับ 4.4×10^{-2} m ทดสอบหาระยะระหว่างกระจกเงาราบถึงฉากที่เหมาะสม 4 ระยะ ได้แก่ 1.0 1.5 2.0 และ 2.5 m แล้วเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน พร้อมทั้งหาร้อยละความคลาดเคลื่อนของชุดทดลอง ซึ่งทำการทดลอง 10 ครั้ง และนำผลทดลอง 5 ครั้งมาพิจารณา

ผลการทดสอบชุดทดลองหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะโดยใช้เทคนิคทางแสง เมื่อให้ระยะระหว่างกระจกเงาราบถึงฉากที่ 1.0 m การทดลองทำการใส่มวลถ่วงเริ่มต้นที่ 0.5 kg เพื่อปรับให้ลวดทองเหลืองตึง ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะยืดของลวดทองเหลืองกับมวลถ่วง ที่ระยะ 1.0 m

มวลถ่วง (kg)	ระยะยืดลวดทองเหลือง (cm)						SD.
	1	2	3	4	5	เฉลี่ย	
0	0.0066	0.0049	0.0088	0.0093	0.0093	0.0078	0.0020
0.5	0.0363	0.0335	0.0357	0.0379	0.0385	0.0364	0.0020
1.0	0.0654	0.0632	0.0638	0.0682	0.0682	0.0658	0.0024
1.5	0.0951	0.0929	0.0946	0.0979	0.0990	0.0959	0.0025
2.0	0.1248	0.1215	0.1265	0.1309	0.1292	0.1266	0.0037
2.5	0.1523	0.1479	0.1545	0.1567	0.1567	0.1536	0.0037
3.0	0.1771	0.1743	0.1804	0.1826	0.1837	0.1796	0.0039

จากตารางที่ 4-1 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะยืดของลวดทองเหลืองกับมวลถ่วง ที่ระยะ 1.0 m เมื่อนำความสัมพันธ์ของระยะยืดของลวดทองเหลืองกับมวลถ่วงมาเขียนกราฟ ให้แกนนอน คือ มวลถ่วง แกนตั้งคือ ระยะยืดของลวดทองเหลืองจะได้ความสัมพันธ์ดังภาพที่ 4-7



ภาพที่ 4-7 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะยืดของลวดทองเหลืองกับมวลถ่วง ที่ระยะ 1.0 m

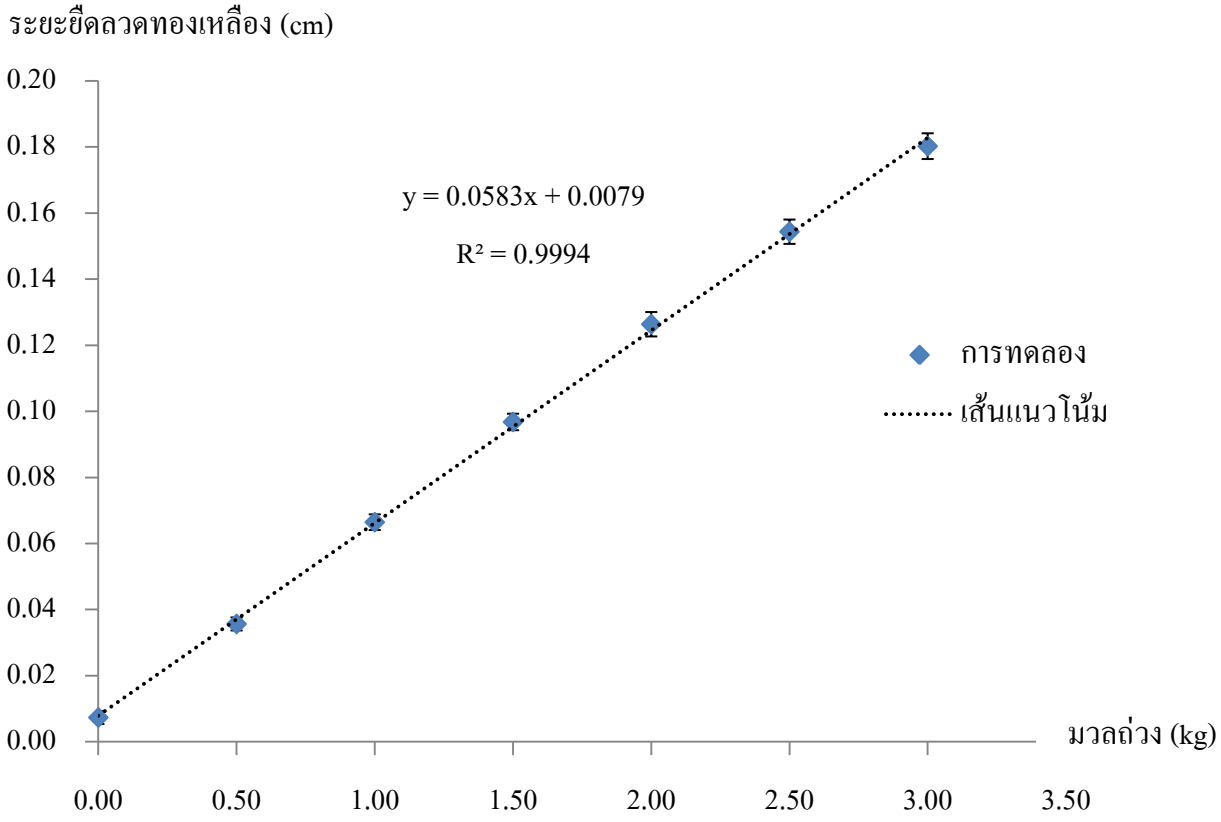
จากภาพที่ 4-7 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะยืดของลวดทองเหลืองกับมวลถ่วง ที่ระยะ 1.0 m พบว่าเป็นลักษณะเชิงเส้นโดยมีสมการเป็น $y = 0.0579x + 0.0082$ ซึ่งมีความชันเท่ากับ 0.0579 cm/kg เมื่อนำค่าความชันไปแทนค่าในสมการที่ (4-5) ได้ค่ามอดูลัสของยังของลวดทองเหลืองมีค่าเท่ากับ $(0.890 \pm 0.0029) \times 10^{11}$ N/m^2 นำมาเปรียบเทียบกับค่ามอดูลัสของยังของลวดทองเหลืองมาตรฐาน คือ 0.96×10^{11} N/m^2 พบว่ามีความคลาดเคลื่อนร้อยละ 7.30 และจากกราฟพบว่า ค่า R-Squared (R^2) = 0.9994 หมายความว่า การเปลี่ยนแปลงมวลถ่วงสามารถอธิบายการแปรเปลี่ยนของระยะยืดลวดทองเหลืองที่เปลี่ยนไปได้ 99.94% หรือบอกได้ว่าสมการนี้มีความถูกต้อง 99.94%

ผลการทดสอบชุดทดลองหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะโดยใช้เทคนิคทางแสง เมื่อให้ระยะระหว่างกระจกเงาราบถึงฉากที่ 1.5 m การทดลองทำการใส่มวลถ่วงเริ่มต้นที่ 0.5 kg เพื่อปรับให้ลวดทองเหลืองตึง ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-2 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะยืดของลวดทองเหลืองกับมวลถ่วง ที่ระยะ 1.5 m

มวลถ่วง (kg)	ระยะยืดลวดทองเหลือง (cm)						SD.
	1	2	3	4	5	เฉลี่ย	
0	0.0080	0.0066	0.0103	0.0044	0.0073	0.0073	0.0021
0.5	0.0381	0.0319	0.0389	0.0341	0.0352	0.0356	0.0029
1.0	0.0689	0.0634	0.0708	0.0638	0.0653	0.0664	0.0033
1.5	0.0997	0.0931	0.1012	0.0946	0.0953	0.0968	0.0035
2.0	0.1283	0.1247	0.1313	0.1228	0.1247	0.1264	0.0034
2.5	0.1562	0.1536	0.1595	0.1507	0.1518	0.1544	0.0035
3.0	0.1833	0.1793	0.1852	0.1764	0.1771	0.1803	0.0039

จากตารางที่ 4-2 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะยืดของลวดทองเหลืองกับมวลถ่วง ที่ระยะ 1.5 m นำความสัมพันธ์ของระยะยืดของลวดทองเหลืองกับมวลถ่วงมาเขียนกราฟ ให้แกนนอนคือมวลถ่วง แกนตั้งคือ ระยะยืดของลวดทองเหลืองจะได้ความสัมพันธ์ดังภาพที่ 4-8



ภาพที่ 4-8 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะยืดของลวดทองเหลืองกับมวลถ่วง ที่ระยะ 1.5 m

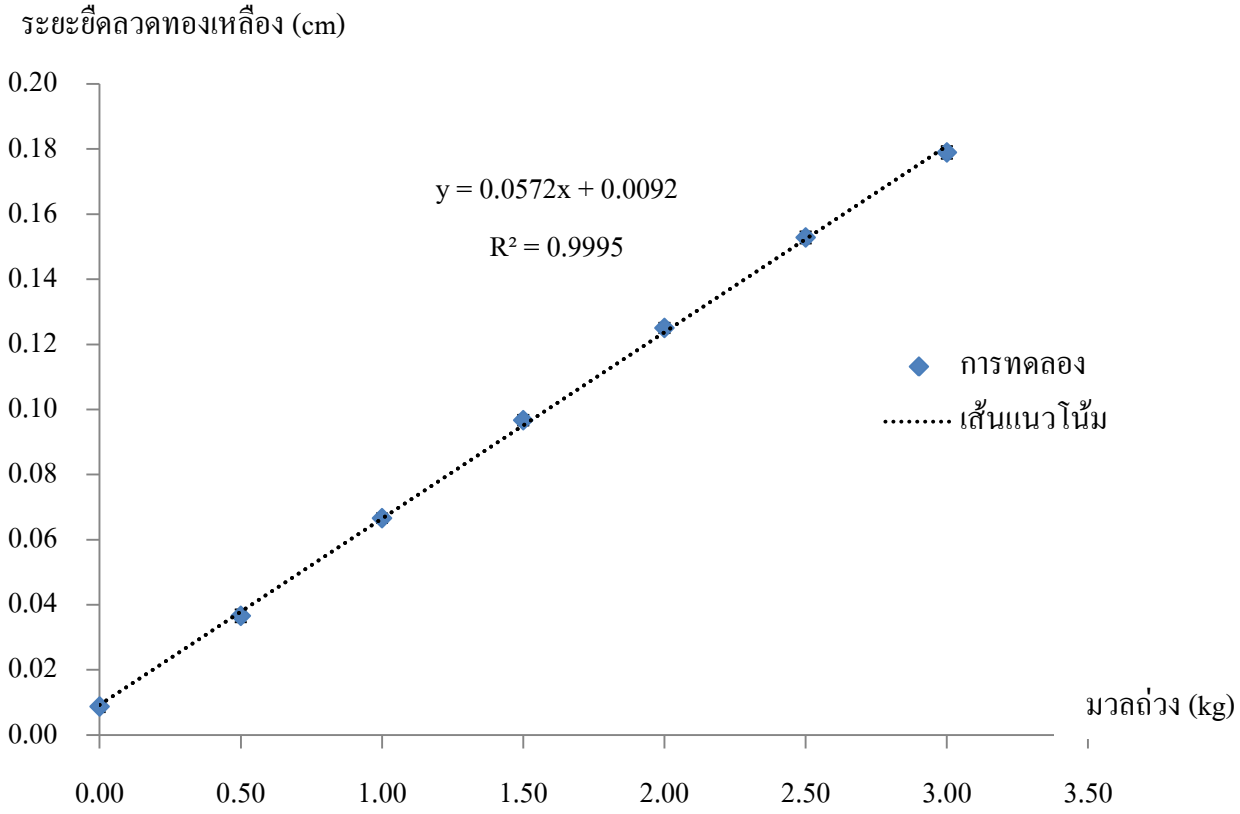
จากภาพที่ 4-8 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะยืดของลวดทองเหลืองกับมวลถ่วง ที่ระยะ 1.5 m พบว่าเป็นลักษณะเชิงเส้นโดยมีสมการเป็น $y = 0.0583x + 0.0079$ ซึ่งมีความชันเท่ากับ 0.0583 cm/kg เมื่อนำค่าความชันไปแทนค่าในสมการที่ (4-5) ได้ค่ามอดูลัสของยังของลวดทองเหลืองมีค่าเท่ากับ $(0.884 \pm 0.0032) \times 10^{11}$ N/m^2 นำมาเปรียบเทียบกับค่ามอดูลัสของยังของลวดทองเหลืองมาตรฐาน คือ 0.96×10^{11} N/m^2 พบว่ามีความคลาดเคลื่อนร้อยละ 7.94 และจากกราฟพบว่า ค่า R-Squared (R^2) = 0.9994 หมายความว่า การเปลี่ยนแปลงมวลถ่วงสามารถอธิบายการแปรเปลี่ยนของระยะยืดลวดทองเหลืองที่เปลี่ยนไปได้ 99.94% หรือบอกได้ว่าสมการนี้มีความถูกต้อง 99.94%

ผลการทดสอบชุดทดลองหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะโดยใช้เทคนิคทางแสง เมื่อให้ระยะระหว่างกระจกเงาราบถึงฉากที่ 2.0 m การทดลองทำการใส่มวลถ่วงเริ่มต้นที่ 0.5 kg เพื่อปรับให้ลวดทองเหลืองตึง ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-3 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะยืดของลวดทองเหลืองกับมวลถ่วง ที่ระยะ 2.0 m

มวลถ่วง (kg)	ระยะยืดลวดทองเหลือง (cm)						SD.
	1	2	3	4	5	เฉลี่ย	
0	0.0080	0.0107	0.0099	0.0063	0.0088	0.0087	0.0017
0.5	0.0368	0.0388	0.0379	0.0338	0.0357	0.0366	0.0020
1.0	0.0657	0.0685	0.0676	0.0649	0.0663	0.0666	0.0014
1.5	0.0971	0.0982	0.0982	0.0949	0.0951	0.0967	0.0016
2.0	0.1254	0.1259	0.1270	0.1232	0.1237	0.1250	0.0016
2.5	0.1518	0.1545	0.1551	0.1510	0.1518	0.1528	0.0018
3.0	0.1776	0.1807	0.1812	0.1768	0.1785	0.1790	0.0019

จากตารางที่ 4-3 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะยืดของลวดทองเหลืองกับมวลถ่วง ที่ระยะ 2.0 m นำความสัมพันธ์ของระยะยืดของลวดทองเหลืองกับมวลถ่วงมาเขียนกราฟ ให้แกนนอนคือมวลถ่วง แกนตั้งคือ ระยะยืดของลวดทองเหลืองจะได้ความสัมพันธ์ดังภาพที่ 4-9



ภาพที่ 4-9 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะยืดของลวดทองเหลืองกับมวลถ่วง ที่ระยะ 2.0 m

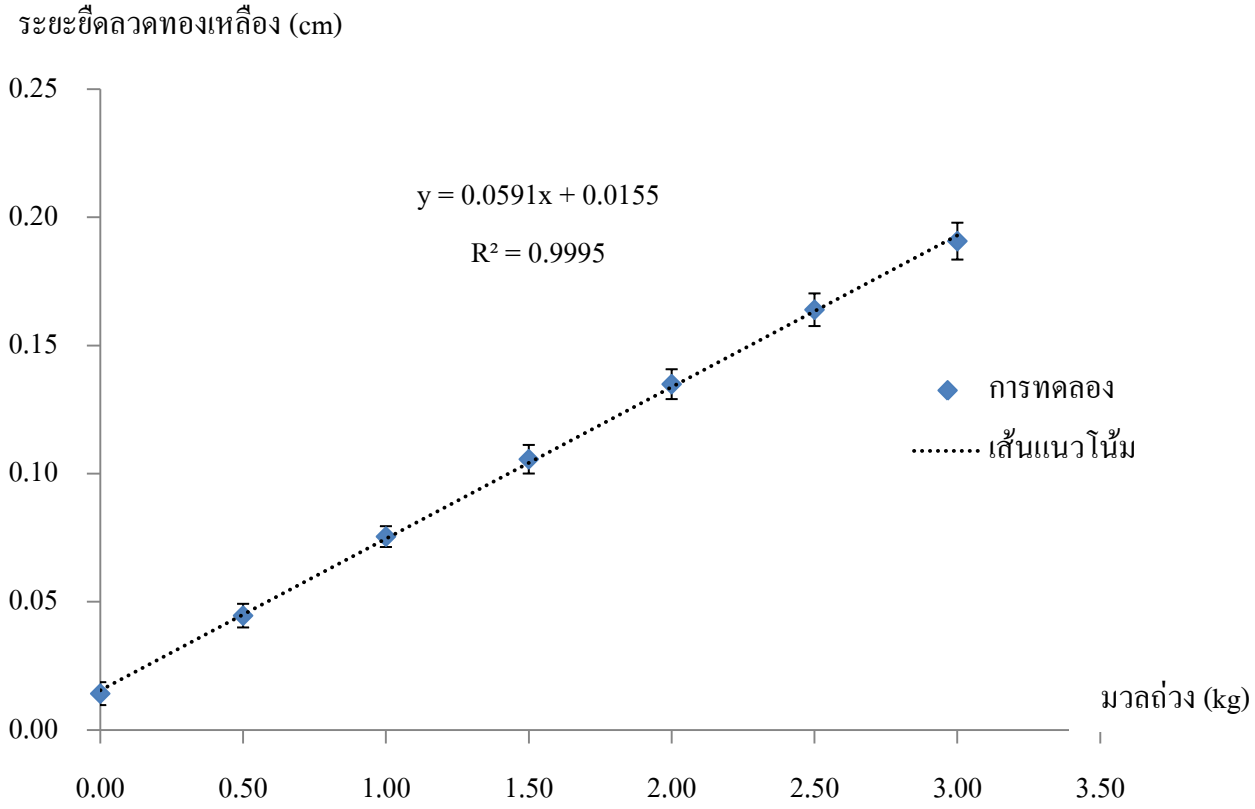
จากภาพที่ 4-9 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะยืดของลวดทองเหลืองกับมวลถ่วง ที่ระยะ 2.0 m พบว่าเป็นลักษณะเชิงเส้นโดยมีสมการเป็น $y = 0.0572x + 0.0092$ ซึ่งมีความชันเท่ากับ 0.0572 cm/kg เมื่อนำค่าความชันไปแทนค่าในสมการที่ (4-5) ได้ค่ามอดูลัสของยังของลวดทองเหลืองมีค่าเท่ากับ $(0.901 \pm 0.0017) \times 10^{11}$ N/m^2 นำมาเปรียบเทียบกับค่ามอดูลัสของยังของลวดทองเหลืองมาตรฐาน คือ 0.96×10^{11} N/m^2 พบว่ามีความคลาดเคลื่อนร้อยละ 6.17 และจากกราฟพบว่า ค่า R-Squared (R^2) = 0.9995 หมายความว่า การเปลี่ยนแปลงมวลถ่วงสามารถอธิบายการแปรเปลี่ยนของระยะยืดลวดทองเหลืองที่เปลี่ยนไปได้ 99.95% หรือบอกได้ว่าสมการนี้มีความถูกต้อง 99.95%

ผลการทดสอบชุดทดลองหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะโดยใช้เทคนิคทางแสง เมื่อให้ระยะระหว่างกระจกเงาราบถึงฉากที่ 2.5 m การทดลองทำการใส่มวลถ่วงเริ่มต้นที่ 0.5 kg เพื่อปรับให้ลวดทองเหลืองตึง ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4-4 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะยืดของลวดทองเหลืองกับมวลถ่วง ที่ระยะ 2.5 m

มวลถ่วง (kg)	ระยะยืดลวดทองเหลือง (cm)						SD.
	1	2	3	4	5	เฉลี่ย	
0	0.0213	0.0134	0.0147	0.0123	0.0092	0.0142	0.0045
0.5	0.0510	0.0429	0.0475	0.0422	0.0394	0.0446	0.0046
1.0	0.0818	0.0750	0.0757	0.0741	0.0706	0.0754	0.0041
1.5	0.1142	0.1030	0.1074	0.1041	0.0994	0.1056	0.0056
2.0	0.1448	0.1327	0.1338	0.1338	0.1294	0.1349	0.0058
2.5	0.1738	0.1602	0.1663	0.1619	0.1575	0.1639	0.0064
3.0	0.0213	0.0134	0.0147	0.0123	0.0092	0.1907	0.0072

จากตารางที่ 4-4 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะยืดของลวดทองเหลืองกับมวลถ่วง ที่ระยะ 2.5 m นำความสัมพันธ์ของระยะยืดของลวดทองเหลืองกับมวลถ่วงมาเขียนกราฟ ให้แกนนอนคือมวลถ่วง แกนตั้งคือ ระยะยืดของลวดทองเหลืองจะได้ความสัมพันธ์ดังภาพที่ 4-10



ภาพที่ 4-10 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะยืดของลวดทองเหลืองกับมวลถ่วง ที่ระยะ 2.5 m

จากภาพที่ 4-10 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะยืดของลวดทองเหลืองกับมวลถ่วง ที่ระยะ 2.5 m พบว่าเป็นลักษณะเชิงเส้นโดยมีสมการเป็น $y = 0.0591x + 0.0155$ ซึ่งมีความชันเท่ากับ 0.0591 cm/kg เมื่อนำค่าความชันไปแทนค่าในสมการที่ (4-5) ได้ค่ามอดูลัสของยังของลวดทองเหลืองมีค่าเท่ากับ $(0.872 \pm 0.0054) \times 10^{11}$ N/m^2 นำมาเปรียบเทียบกับค่ามอดูลัสของยังของลวดทองเหลืองมาตรฐาน คือ 0.96×10^{11} N/m^2 พบว่ามีความคลาดเคลื่อนร้อยละ 9.19 และจากกราฟพบว่า ค่า R-Squared (R^2) = 0.9995 หมายความว่า การเปลี่ยนแปลงมวลถ่วงสามารถอธิบายการแปรเปลี่ยนของระยะยืดลวดทองเหลืองที่เปลี่ยนไปได้ 99.95% หรือบอกได้ว่าสมการนี้มีความถูกต้อง 99.95%

จากผลการทดสอบชุดทดลองพบว่า ระยะระหว่างกระจกเงาราบถึงฉากที่ 2.0 m ให้ค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด โดยค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนมีค่าเท่ากับ 6.17 ส่วนระยะระหว่างกระจกเงาราบถึงฉาก (X) ที่ระยะ 1.0 1.5 และ 2.5 m มีค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 7.30 7.94 และ 9.19 ตามลำดับ ทั้งนี้ความคลาดเคลื่อนจากการทดลองมีค่าสูงเนื่องจาก ระยะระหว่าง

กระจกเงาราบถึงฉาก (X) น้อยทำให้จุดเลเซอร์ที่ปรากฏบนฉากมีระยะห่างระหว่างจุดน้อย การวัดระยะห่างระหว่างจุดเลเซอร์ที่ปรากฏเกิดความคลาดเคลื่อนได้และระยะระหว่างกระจกเงาราบถึงฉาก (X) มาก ทำให้หาศูนย์กลางของจุดเลเซอร์ได้ยากทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้เช่นกัน จากผลการทดสอบชุดทดลองถ้าระยะระหว่างกระจกเงาราบถึงฉาก (X) ที่ระยะ 2.0 m ได้ผลการทดลองใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานมากที่สุด ดังนั้นระยะระหว่างกระจกเงาราบถึงฉาก (X) ที่ระยะ 2.0 m มีความเหมาะสมกับชุดทดลองนี้

<u>ส่วนที่ 2</u> ผลการทดลองหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะจากชุดทดลองที่พัฒนาขึ้น โดยแบ่งเป็น 2 ตอนดังนี้

<u>ตอนที่ 1</u> การทดลองหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะที่ทราบค่ามอดูลัสของยังมาตรฐาน ได้แก่ ลวดเหล็ก

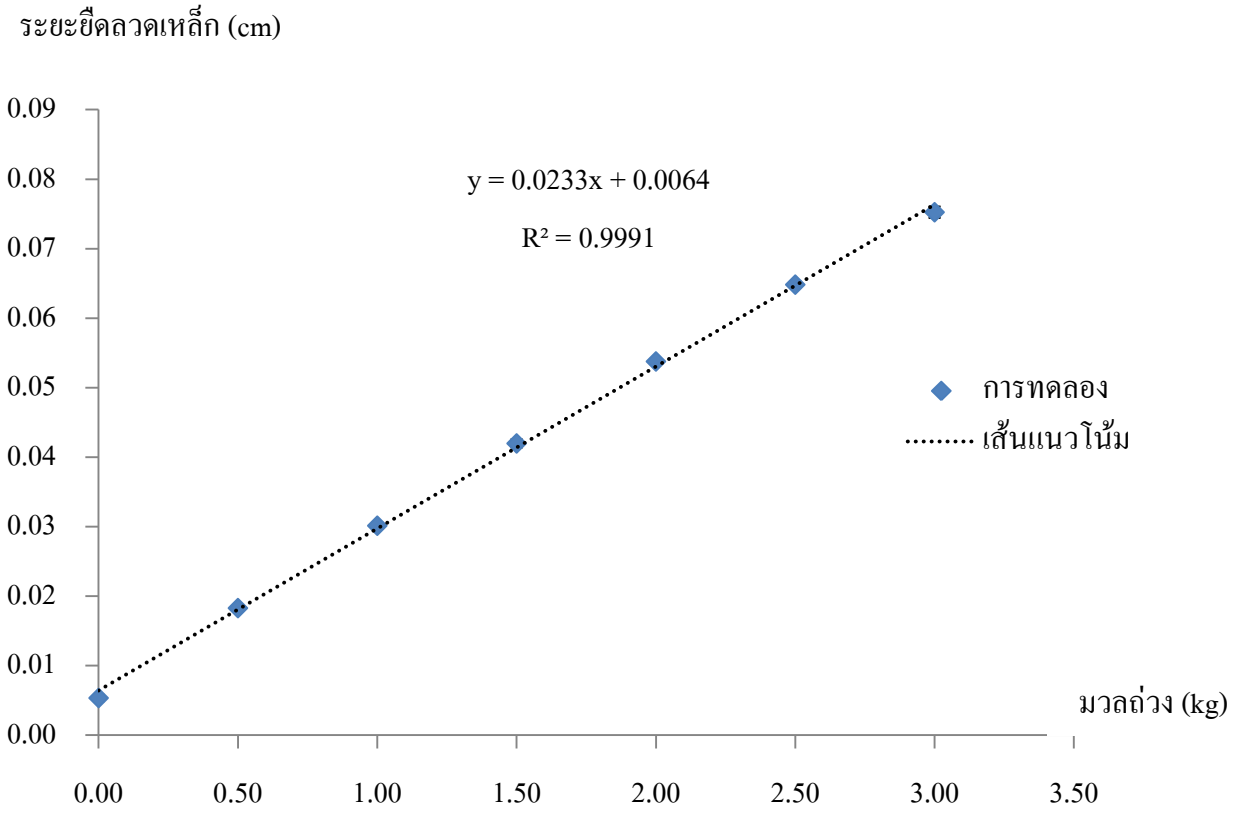
การทดลองทดสอบกับลวดเหล็กเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.0×10^{-4} m ความยาวเริ่มต้น 0.66 m ระยะจากจุดหมุนของกระจกถึงลวดเหล็กเท่ากับ 4.4×10^{-2} m และให้ระยะระหว่างกระจกเงาราบถึงฉากที่ 2.0 m ทำการทดลอง 10 ครั้ง นำผลทดลอง 5 ครั้งมาพิจารณาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน พร้อมทั้งหาร้อยละความคลาดเคลื่อนของชุดทดลอง

ผลการทดสอบชุดทดลองหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะโดยใช้เทคนิคทางแสง เพื่อหาค่ามอดูลัสของยังของลวดเหล็ก ทำการทดลองโดยใส่มวลถ่วงเริ่มต้นที่ 3.5 kg เพื่อปรับให้ลวดเหล็กตึง ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4-5

ตารางที่ 4-5 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะยืดของลวดเหล็กกับมวลถ่วง

มวลถ่วง (kg)	ระยะยืดลวดเหล็ก (cm)						SD.
	1	2	3	4	5	เฉลี่ย	
0	0.0049	0.0049	0.0052	0.0058	0.0058	0.0053	0.0005
0.5	0.0179	0.0181	0.0182	0.0184	0.0187	0.0183	0.0003
1.0	0.0297	0.0297	0.0302	0.0302	0.0308	0.0301	0.0005
1.5	0.0412	0.0415	0.0421	0.0424	0.0426	0.0420	0.0006
2.0	0.0533	0.0536	0.0536	0.0539	0.0544	0.0538	0.0004
2.5	0.0643	0.0646	0.0646	0.0652	0.0654	0.0648	0.0005
3.0	0.0748	0.0742	0.0754	0.0754	0.0764	0.0752	0.0008

จากตารางที่ 4-5 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะยืดของลวดเหล็กกับมวลถ่วง ที่ระยะ 2.0 m เมื่อนำความสัมพันธ์ของระยะยืดของลวดเหล็กกับมวลถ่วงมาเขียนกราฟ ให้แกนนอนคือ มวลถ่วง แกนตั้งคือ ระยะยืดของลวดเหล็กได้ความสัมพันธ์ ดังภาพที่ 4-11



ภาพที่ 4-11 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะยืดของลวดเหล็กกับมวลถ่วง

จากภาพที่ 4-11 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะยืดของลวดเหล็กกับมวลถ่วง โดยระยะระหว่างกระจกเงาราบถึงฉาก (X) เท่ากับ 2.0 m พบว่าเป็นลักษณะเชิงเส้นโดยมีสมการเป็น $y = 0.0233x + 0.0064$ ซึ่งมีความชันเท่ากับ 0.0233 cm/kg เมื่อนำค่าความชันไปแทนค่าในสมการที่ (4-5) ได้ค่ามอดูลัสของยังของลวดเหล็กมีค่าเท่ากับ $(2.210 \pm 0.0005) \times 10^{11}$ N/m^2 นำมาเปรียบเทียบกับค่ามอดูลัสของยังของลวดเหล็กมาตรฐาน คือ 2.10×10^{11} N/m^2 พบว่ามีความคลาดเคลื่อนร้อยละ 5.30 และจากกราฟพบว่า ค่า R-Squared (R^2) = 0.9991 หมายความว่า การเปลี่ยนแปลงมวลถ่วงสามารถอธิบายการแปรเปลี่ยนของระยะยืดลวดเหล็กที่เปลี่ยนไปได้ 99.91% หรือบอกได้ว่าสมการนี้มีความถูกต้อง 99.91%

<u>ตอนที่ 2</u> การทดลองหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะที่ไม่ทราบค่ามอดูลัสของยังมาตรฐาน ได้แก่ ลวดทองแดงและลวดสเตนเลส

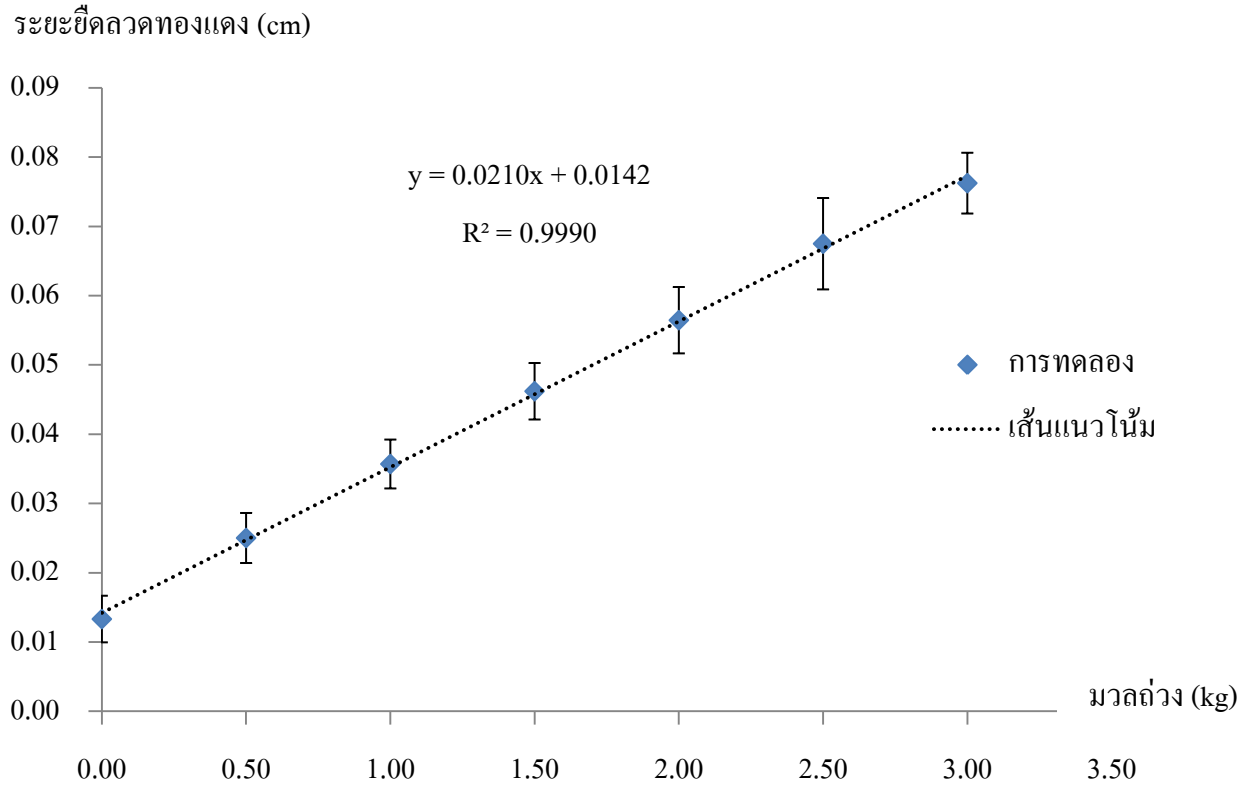
การทดลองทดสอบกับลวดทองแดงและลวดสเตนเลสเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.0×10^{-4} m และ 6.0×10^{-4} m ตามลำดับ ความยาวลวดเริ่มต้น 0.66 m ระยะจากจุดหมุนของกระจกเงาราบถึงลวดเท่ากับ 4.4×10^{-2} m ระยะห่างระหว่างกระจกเงาราบถึงฉาก 2.0 m ทำการทดลอง 10 ครั้ง และนำผลการทดลอง 5 ครั้งมาพิจารณา

ผลการทดลองหาค่ามอดูลัสของยังของลวดทองแดงจากชุดทดลองที่สร้างขึ้น โดยทำการใส่มวลถ่วงเริ่มต้นที่ 3.5 kg เพื่อปรับให้ลวดทองแดงตึง ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4-6

ตารางที่ 4-6 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะยืดของลวดทองแดงกับมวลถ่วง

มวลถ่วง (kg)	ระยะยืดลวดทองแดง (cm)						SD.
	1	2	3	4	5	เฉลี่ย	
0	0.0151	0.0116	0.0182	0.0096	0.0121	0.0133	0.0034
0.5	0.0264	0.0228	0.0305	0.0212	0.0242	0.0250	0.0036
1.0	0.0374	0.0335	0.0410	0.0322	0.0344	0.0357	0.0035
1.5	0.0487	0.0434	0.0520	0.0421	0.0448	0.0462	0.0041
2.0	0.0594	0.0533	0.0632	0.0514	0.0550	0.0565	0.0048
2.5	0.0698	0.0635	0.0778	0.0610	0.0654	0.0675	0.0066
3.0	0.0803	0.0732	0.0814	0.0715	0.0748	0.0762	0.0044

จากตารางที่ 4-6 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะยืดของลวดทองแดงกับมวลถ่วง ที่ระยะ 2.0 m เมื่อนำความสัมพันธ์ของระยะยืดของลวดทองแดงกับมวลถ่วงมาเขียนกราฟให้แกนนอนคือมวลถ่วง แกนตั้งคือ ระยะยืดของลวดทองแดงได้ความสัมพันธ์ดังภาพที่ 4-12



ภาพที่ 4-12 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะยืดของลวดทองแดงกับมวลถ่วง

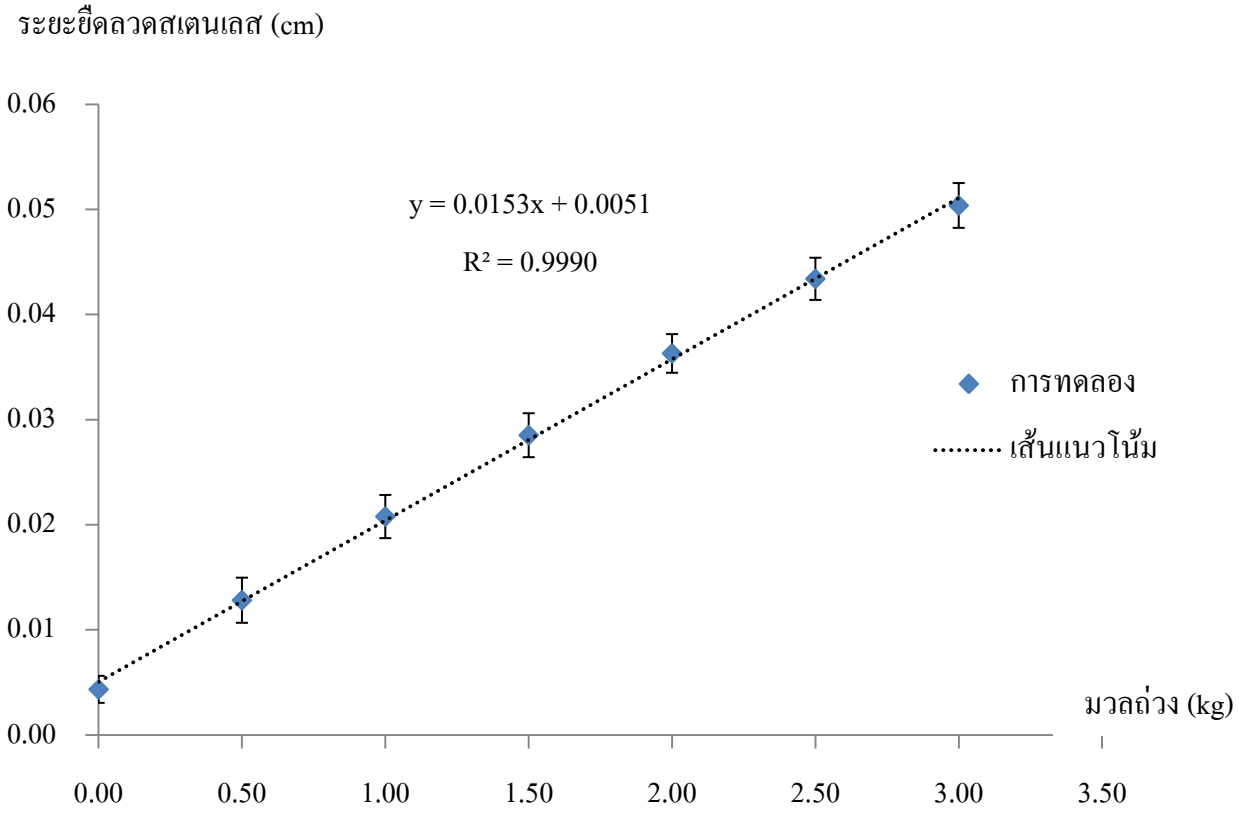
จากภาพที่ 4-12 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะยืดของลวดทองแดงกับมวลถ่วง ที่ระยะ 2.0 m พบว่าเป็นลักษณะเชิงเส้นโดยมีสมการเป็น $y = 0.0210x + 0.0142$ ซึ่งมีความชันเท่ากับ 0.0210 cm/kg เมื่อนำค่าความชันไปแทนค่าในสมการที่ (4-5) ได้ค่ามอดูลัสของยังของลวดทองแดงมีค่าเท่ากับ $(1.57 \pm 0.0043) \times 10^{11}$ N/m^2 และจากกราฟพบว่า ค่า R-Squared (R^2) = 0.9990 หมายความว่าการเปลี่ยนแปลงมวลถ่วงสามารถอธิบายการแปรเปลี่ยนของระยะยืดลวดทองแดงที่เปลี่ยนไปได้ 99.90% หรือบอกได้ว่าสมการนี้มีความถูกต้อง 99.90%

ผลการทดลองหาค่ามอดูลัสของยังของลวดสเตนเลสจากชุดทดลองที่สร้างขึ้น โดยทำการใส่มวลถ่วงเริ่มต้นที่ 3.5 kg เพื่อปรับให้ลวดสเตนเลสตึง ทำการทดลอง 10 ครั้ง และนำผลการทดลอง 5 ครั้งมาพิจารณา ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4-7

ตารางที่ 4-7 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะยืดของลวดสเตนเลสกับมวลถ่วง

มวลถ่วง (kg)	ระยะยืดลวดสเตนเลส (cm)						SD.
	1	2	3	4	5	เฉลี่ย	
0	0.0030	0.0047	0.0052	0.0058	0.0030	0.0043	0.0013
0.5	0.0116	0.0143	0.0143	0.0143	0.0096	0.0128	0.0021
1.0	0.0198	0.0220	0.0222	0.0223	0.0176	0.0208	0.0021
1.5	0.0270	0.0299	0.0299	0.0302	0.0256	0.0285	0.0021
2.0	0.0349	0.0374	0.0374	0.0380	0.0338	0.0363	0.0018
2.5	0.0418	0.0446	0.0448	0.0451	0.0407	0.0434	0.0020
3.0	0.0490	0.0517	0.0517	0.0522	0.0473	0.0504	0.0021

จากตารางที่ 4-7 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะยืดของลวดสเตนเลสกับมวลถ่วง ที่ระยะ 2.0 m เมื่อนำความสัมพันธ์ของระยะยืดของลวดสเตนเลสกับมวลถ่วง มาเขียนกราฟให้แกนนอนคือมวลถ่วง แกนตั้งคือ ระยะยืดของลวดสเตนเลสได้ความสัมพันธ์ดังภาพที่ 4-13



ภาพที่ 4-13 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะยืดของลวดสเตนเลสกับมวลถ่วง

จากภาพที่ 4-13 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะยืดของลวดสเตนเลสกับมวลถ่วง ที่ระยะ 2.0 m พบว่าเป็นลักษณะเชิงเส้นโดยมีสมการเป็น $y = 0.0153x + 0.0051$ ซึ่งมีความชันเท่ากับ 0.0153 cm/kg เมื่อนำค่าความชันไปแทนค่าในสมการที่ (4-5) ได้ค่ามอดูลัสของยังของลวดสเตนเลสมีค่าเท่ากับ $(1.49 \pm 0.0019) \times 10^{11}$ N/m^2 และจากกราฟพบว่า ค่า R-Squared (R^2) = 0.9990 หมายความว่า การเปลี่ยนแปลงมวลถ่วงสามารถอธิบายการแปรเปลี่ยนของระยะยืดลวดสเตนเลสที่เปลี่ยนไปได้ 99.90% หรือบอกได้ว่าสมการนี้มีความถูกต้อง 99.90%

ส่วนที่ 3 ผลการประเมินชุดทดลอง

ผู้วิจัยทำการตรวจสอบความเหมาะสมของชุดทดลองกับเนื้อหาโดยแบ่งเป็น 2 ตอนดังนี้

ตอนที่ 1 การวิเคราะห์ค่าดัชนีความสอดคล้อง IOC ด้านประสิทธิภาพของชุดทดลอง การออกแบบชุดทดลอง และความเหมาะสมของคู่มือปฏิบัติการสำหรับครูกับเนื้อหาจากผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 คน

ตอนที่ 2 การวิเคราะห์มาตราส่วนประมาณค่าความเหมาะสมของชุดทดลองกับเนื้อหาจากความคิดเห็นของนักเรียนที่เป็นกลุ่มตัวอย่างที่ได้มาจากความสมัครใจ

ผู้วิจัยจะนำเสนอผลการตรวจสอบความเหมาะสมของชุดทดลองในแต่ละตอนดังนี้

ตอนที่ 1 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพโดยใช้ดุลยพินิจของผู้เชี่ยวชาญ

ผู้วิจัยได้เก็บรวบรวมแบบสอบถามความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญที่มีต่อชุดทดลองเพื่อหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะโดยใช้เทคนิคทางแสง โดยวิเคราะห์ค่าดัชนีความสอดคล้อง IOC 3 ด้านคือ ด้านประสิทธิภาพของชุดทดลอง ด้านการออกแบบชุดทดลองและด้านความเหมาะสมของคู่มือปฏิบัติการสำหรับครู จากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 คน ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 4-8 ผลการวิเคราะห์ค่าดัชนีความสอดคล้อง IOC ความเหมาะสมของชุดทดลองจากผู้เชี่ยวชาญ

รายการความคิดเห็น	ความคิดเห็นผู้เชี่ยวชาญ					IOC
	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	คนที่ 4	คนที่ 5	
ก. ด้านประสิทธิภาพของชุดทดลอง	1	1	1	1	1	1
ข. ด้านการออกแบบชุดทดลอง	1	1	1	0.75	1	0.95
ค. ด้านความเหมาะสมของคู่มือปฏิบัติการสำหรับครู	1	1	1	1	1	1
ผลการวิเคราะห์ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญที่มีต่อชุดทดลองทั้ง 3 ด้าน						0.98

จากตารางที่ 4-8 แสดงให้เห็นว่าความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญที่มีต่อชุดทดลองเพื่อหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะโดยใช้เทคนิคทางแสง ในด้านประสิทธิภาพของชุดทดลองมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1 ในด้านการออกแบบชุดทดลองมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.95 และในด้านความเหมาะสมของคู่มือปฏิบัติการสำหรับครูมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1 ซึ่งค่าเฉลี่ยของดัชนี IOC ทั้ง 3 ด้านมากกว่าเกณฑ์ 0.50

สรุปผลการวิเคราะห์ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญที่มีต่อชุดทดลองเพื่อหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะโดยใช้เทคนิคทางแสงทั้ง 3 ด้านเท่ากับ 0.98 ซึ่งสูงกว่า 0.50 ถือว่าชุดทดลองนี้มีความสอดคล้องตามเกณฑ์ IOC

ตอนที่ 2 การวิเคราะห์โดยใช้ความคิดเห็นของนักเรียน

ผู้วิจัยได้เก็บรวบรวมข้อมูลจากแบบประเมินความคิดเห็นของนักเรียนที่มีต่อชุดทดลองเพื่อหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะโดยใช้เทคนิคทางแสง โดยวิเคราะห์มาตราส่วนประมาณค่าตามวิธีการของลิเคอร์ท 5 ระดับ ซึ่งมีประชากรเป็นนักเรียนที่กำลังศึกษาอยู่ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 แผนการเรียนวิทยาศาสตร์ – คณิตศาสตร์ ปีการศึกษา 2556 โรงเรียนสองพี่น้องวิทยา จำนวน 120 คน กลุ่มตัวอย่างที่ศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ได้จากนักเรียนที่เข้าร่วมเป็นกลุ่มตัวอย่างทดลองตามความสมัครใจจำนวน 30 คน คิดเป็นร้อยละ 25 ของประชากร

ตารางที่ 4-9 ผลการวิเคราะห์ความคิดเห็นของนักเรียนที่มีต่อชุดทดลอง

ด้านที่	รายการความคิดเห็น	ค่าเฉลี่ย	ระดับความเห็น
1	ด้านการออกแบบชุดทดลอง	4.44	เห็นด้วย
2	ด้านใบความรู้	4.51	เห็นด้วยอย่างยิ่ง
3	ด้านใบงานการทดลอง	4.59	เห็นด้วยอย่างยิ่ง
ผลการวิเคราะห์ความคิดเห็นของนักเรียนที่มีต่อชุดทดลองทั้ง 3 ด้าน		4.51	เห็นด้วยอย่างยิ่ง

หมายเหตุ รายละเอียดอยู่ในภาคผนวก ก

จากตารางที่ 4-9 แสดงให้เห็นว่าความคิดเห็นของนักเรียนที่มีต่อชุดทดลองเพื่อหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะโดยใช้เทคนิคทางแสง ในด้านการออกแบบชุดทดลองมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.44 แสดงว่านักเรียนเห็นด้วย ในด้านใบความรู้มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.51 แสดงว่านักเรียนเห็นด้วยอย่างยิ่ง และในด้านใบงานการทดลองมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.59 แสดงว่านักเรียนเห็นด้วยอย่างยิ่ง

สรุปผลการวิเคราะห์ความคิดเห็นของนักเรียนที่มีต่อชุดทดลองเพื่อหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะโดยใช้เทคนิคทางแสงทั้ง 3 ด้านเท่ากับ 4.51 ซึ่งแสดงว่านักเรียนเห็นด้วยอย่างยิ่งกับชุดทดลองนี้

บทที่ 5

อภิปรายและสรุปผล

การวิจัยการพัฒนาชุดทดลองเพื่อหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะโดยใช้เทคนิคทางแสง มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างชุดทดลองเพื่อหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะโดยใช้เทคนิคทางแสงหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะตัวอย่างและตรวจสอบความเหมาะสมของชุดทดลอง โดยมีรายละเอียดการอภิปรายผล สรุปผล และข้อเสนอแนะต่าง ๆ ดังนี้

อภิปรายผล

1. จากการพัฒนาชุดทดลองเพื่อหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะโดยใช้เทคนิคทางแสง ได้ชุดทดลองที่หาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะ โดยการหาความยาวของลวดโลหะที่เพิ่มขึ้นเมื่อลวดโลหะถูกแรงภายนอกกระทำจากการเพิ่มมวลถ่วง จะอาศัยหลักการสะท้อนของแสงผ่านกระจกเงาราบมาช่วย จากนั้นหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะความยาวของลวดโลหะที่เพิ่มขึ้นกับระยะที่ปรากฏจุดของแสงบนฉากรับภาพ การคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะความยาวของเส้นลวดที่เพิ่มขึ้นกับระยะที่เกิดการเบนของแสงบนฉากรับภาพเป็นไปตามหลักรูปสามเหลี่ยมคล้ายทางคณิตศาสตร์ เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่ดึงลวดโลหะที่เกิดจากน้ำหนักของมวลถ่วงกับความยาวของเส้นลวดที่เพิ่มขึ้น นำค่าความชันของกราฟมาแทนเพื่อหาค่ามอดูลัสของยังได้ด้วยสมการ

$$Y = \frac{4gL_0}{(slope)\pi D^2}$$

ชุดทดลองที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ได้แก่ ส่วนของตัวชุดทดลอง ชุดทดลองมีแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์พอยเตอร์ กระจกเงาราบ ตัวยึดลวดทดลองกับกระจกเงาราบ ฉากรับภาพรอก มวลถ่วง 0.5 kg ต่อก้อน ขณะทดลองเพิ่มมวลครั้งละ 0.5 kg ในส่วนของวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ร่วมกับชุดทดลอง ได้แก่ ไม้เมตร เครื่องวัดระดับน้ำ Clamp ยึดชุดทดลองและเครื่องคิดเลขแบบดิจิตอล ซึ่งมีคู่มือการใช้ชุดทดลองเพื่อหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะโดยใช้เทคนิคทางแสงประกอบการใช้งาน

2. จากผลการทดสอบชุดทดลองโดยใช้ลวดทองเหลือง ในการทดสอบหาระยะที่เหมาะสมของระยะระหว่างกระจกเงาราบถึงฉากรับภาพ (X) ที่ระยะต่าง ๆ กัน คือ 1.0 1.5 2.0 และ 2.5 m ได้ค่ามอดูลัสของยังของลวดทองเหลืองเท่ากับ 0.890×10^{11} N/m^2 0.884×10^{11} N/m^2 0.901×10^{11} N/m^2 และ 0.872×10^{11} N/m^2 ตามลำดับ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน พบว่ามีความคลาดเคลื่อนร้อยละ 7.30 7.94 6.17 และ 9.19 ตามลำดับ จากผลการทดลองเมื่อให้ระยะระหว่างกระจกเงาราบถึงฉากรับภาพ (X) ที่ระยะ 2.5 m พบว่ามีความคลาดเคลื่อนสูง เนื่องจากระยะระหว่างกระจกเงาราบถึงฉากรับภาพมาก ทำให้หาศูนย์กลางของจุดเลเซอร์ได้ยากทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนมาก อีกทั้งระยะระหว่างกระจกเงาราบถึงฉากรับภาพน้อย จุดเลเซอร์ที่ปรากฏบนฉากรับภาพมีระยะห่างระหว่างจุดน้อย การวัดระยะห่างระหว่างจุดเลเซอร์ที่ปรากฏเกิดความคลาดเคลื่อนได้ แต่ระยะระหว่างกระจกเงาราบถึงฉากรับภาพที่ระยะ 2.0 m พบว่าให้ค่าความคลาดเคลื่อนน้อยสุด 6.17

3. ผลการทดลองหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะ 2 กลุ่มคือ ลวดโลหะที่ทราบค่ามอดูลัสของยังมาตรฐานและลวดโลหะที่ไม่ทราบค่ามอดูลัสของยังมาตรฐาน พบว่าลวดโลหะที่ทราบค่ามอดูลัสของยังมาตรฐาน ได้แก่ ลวดเหล็ก ได้ค่ามอดูลัสของยังเท่ากับ 2.21×10^{11} N/m^2 มีความคลาดเคลื่อนร้อยละ 5.30 พบว่าชุดทดลองสามารถใช้ทดลองหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะได้ อย่างไรก็ดีค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะที่ได้จากชุดทดลองนี้อาจมีความคลาดเคลื่อนบ้าง เมื่อนำชุดทดลองนี้ไปใช้ทดลองหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะที่ไม่ทราบค่ามอดูลัสของยังมาตรฐานได้แก่ ลวดทองแดงและลวดสเตนเลส ได้ค่ามอดูลัสของยังเท่ากับ 1.57×10^{11} N/m^2 และ 1.49×10^{11} N/m^2 ตามลำดับ

4. การตรวจสอบความเหมาะสมของชุดทดลอง ผลการวิเคราะห์ค่า IOC จากแบบประเมินของผู้เชี่ยวชาญที่มีต่อชุดทดลอง 5 ท่าน มีระดับค่าเฉลี่ยรวมทั้ง 3 ด้านเท่ากับ 0.98 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ 0.50 (IOC > 0.50) ที่กำหนดไว้ พบว่าผู้เชี่ยวชาญมีความเห็นสอดคล้องกับชุดทดลองที่สร้างขึ้นและได้ให้ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงคู่มือปฏิบัติการเพื่อให้ง่ายต่อการเรียนรู้ของนักเรียนมากยิ่งขึ้น สำหรับผลการประเมินความคิดเห็นของนักเรียนที่เป็นกลุ่มตัวอย่าง โดยใช้มาตราส่วนประมาณค่ามีระดับค่าเฉลี่ยรวมทั้ง 3 ด้านเท่ากับ 4.51 พบว่านักเรียนมีความเห็นในระดับเห็นด้วยอย่างยิ่งกับชุดทดลองที่สร้างขึ้น ชุดทดลองดังกล่าวสามารถนำไปใช้ในการเรียนการสอนได้และมีความเหมาะสมตามทรรศนะของผู้เรียน

สรุปผลการทดลอง

1. ชุดทดลองเพื่อหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะโดยใช้เทคนิคทางแสง มีส่วนประกอบหลักคือ ตัวชุดทดลองและอุปกรณ์ที่ใช้ร่วมกับชุดทดลอง โดยหาระยะยืดของลวดโลหะเมื่อถูกแรงภายนอกกระทำเมื่อเพิ่มมวลถ่วงซึ่งก็คือแรงเนื่องจากน้ำหนัก และอาศัยการสะท้อนของแสงบนกระจกเงาราบ หาความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของลวดโลหะที่เพิ่มขึ้นกับมวลถ่วงที่เพิ่มที่ทำให้เกิดแรงกระทำกับลวดโลหะพบว่ามีความสัมพันธ์เชิงเส้น เมื่อความยาวของลวดโลหะเริ่มต้นและเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดโลหะคงที่ ให้แกนนอนคือ มวลถ่วงที่เพิ่ม แกนตั้งคือ ความยาวของลวดโลหะที่เพิ่มขึ้น หาความชันของกราฟแล้วนำมาหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะได้จากสมการ

$$Y = \frac{4gL_0}{(\text{slope})\pi D^2}$$

2. จากผลการทดสอบชุดทดลองโดยใช้ลวดทองเหลือง ทดสอบหาความเหมาะสมของชุดทดลอง โดยทดสอบหาระยะที่เหมาะสมของระยะระหว่างกระจกเงาราบถึงฉากรับภาพ (X) ที่ระยะต่าง ๆ กัน พบว่าเมื่อระยะระหว่างกระจกเงาราบถึงฉากรับภาพมากขึ้น ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนในการทดลองมาก เนื่องจากจุดปรากฏของแสงเลเซอร์บนฉากรับภาพมีขนาดใหญ่ทำให้หาศูนย์กลางของจุดเลเซอร์ได้ยาก แต่เมื่อลดระยะระหว่างกระจกเงาราบถึงฉากรับภาพลง ยังคงมีค่าความคลาดเคลื่อนมาก เนื่องจากจุดเลเซอร์ที่ปรากฏบนฉากรับภาพมีระยะห่างระหว่างจุดน้อย การวัดระยะห่างระหว่างจุดเลเซอร์ที่ปรากฏเกิดความคลาดเคลื่อนมาก จากการทดลองที่ระยะ 2.0 m เป็นระยะที่เหมาะสมที่สุดของชุดทดลอง เพราะได้ค่าใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานที่สุดโดยมีค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละ 6.17 ดังนั้นระยะระหว่างกระจกเงาราบถึงฉากรับภาพที่ 2.0 m จึงเหมาะสมกับชุดทดลองนี้และนำไปใช้ทดลองหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะ

3. การทดลองหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะที่ทราบค่ามอดูลัสของยังมาตรฐาน ได้แก่ ลวดเหล็ก ได้ค่ามอดูลัสของยังเท่ากับ 2.21×10^{11} N/m^2 มีความคลาดเคลื่อนร้อยละ 5.30 สำหรับลวดโลหะที่ไม่ทราบค่ามอดูลัสของยังมาตรฐานได้แก่ ลวดทองแดง และลวดสเตนเลส ได้ค่ามอดูลัสของยังเท่ากับ 1.57×10^{11} N/m^2 และ 1.49×10^{11} N/m^2 ตามลำดับ

4. ผลการประเมินความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ จากการวิเคราะห์ค่า IOC จากแบบประเมินของผู้เชี่ยวชาญที่มีต่อชุดทดลอง 5 ท่าน มีระดับค่าเฉลี่ยรวมทั้ง 3 ด้านเท่ากับ 0.98 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ 0.50 (IOC > 0.50) ที่กำหนดไว้ สรุปได้ว่าผู้เชี่ยวชาญมีความเห็นสอดคล้องกับชุดทดลองที่สร้างขึ้นและผลการประเมินความคิดเห็นของนักเรียนที่เป็นกลุ่มตัวอย่างจำนวน 30 คน โดยใช้มาตราส่วนประมาณค่ามีระดับค่าเฉลี่ยรวมทั้ง 3 ด้านเท่ากับ 4.51 สรุปได้ว่านักเรียนมีความเห็นในระดับเห็นอย่างยิ่งกับชุดทดลองที่สร้างขึ้น

ข้อเสนอแนะ

1. ในการทดลองลวดโลหะที่นำมาหาค่ามอดูลัสของยัง ควรมีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 0.7 mm เพราะเส้นผ่านศูนย์กลางลวดมากขึ้น แรงที่กระทำให้ลวดเกิดระยะยืดมากขึ้น น็อตยึดลวดโลหะทดลองทนแรงเนื่องจากเพิ่มมวลถ่วงได้ไม่มาก

ข้อควรระวัง

1. ขณะทำการทดลองควรสวมแว่นตาทุกครั้ง เพื่อป้องกันอันตรายจากแสงเลเซอร์และอันตรายที่อาจเกิดขึ้นขณะทำการทดลอง เช่น ลวดโลหะขาด

บรรณานุกรม

พิสิฐ เมธาภัทร และธีระพล เมธีกุล. (2531). *เทคนิควิธีการเรียนการสอนวิชาเทคนิค*.โรงพิมพ์กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

มนต์ชัย เทียนทอง. (2530). *อุปกรณ์ช่วยสอน* . กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

เรวัฒน์ เหล่าไพบูลย์, จินตนา เหล่าไพบูลย์ และสมบัติ ปาคำ.การประยุกต์ใช้คลื่นเสียงอุลตร้าโซนิคในการหาค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นของวัสดุวิศวกรรม.*วารสารวิชาการ ม.อบ. 5 (2) (ก.ค.-ธ.ค.2546),* 1-8.

ลออ การุณยะวนิช. (2529). *วิธีการสอนทั่วไป*. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น .

วัลลภ จันทร์ตระกูล. (2543). *สื่อการเรียนการสอน*. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

วาโร เพ็งสวัสดิ์. (2551). *วิธีวิทยาการวิจัย*. กรุงเทพฯ : สุวีริยาสาส์น.

วีระชาติ สวนไพรินทร์. (2531). *การสอนวิทยาศาสตร์*.กรุงเทพฯ: คณะคุรุศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ. (2553). *หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติม ฟิสิกส์ เล่ม 2.* กรุงเทพฯ : คุรุสภาลาดพร้าว.

สุขุม ศรีธัญรัตน์. (2524). *แบบเรียนฟิสิกส์เล่ม 1* . การสอนชุดวิชาวิทยาศาสตร์หน่วยที่ 8-15. นนทบุรี : สาขาวิชาศึกษาศาสตร์, มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

สุรัตน์ ไทยตรง. (2533). *แนวทางระบบการออกแบบชุดสื่อการเรียนการสอน*. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยศิลปากร.

สุวิมล ติรกานันท์. (2546). *การใช้สถิติในงานวิจัยทางสังคมศาสตร์ : แนวทางสู่การปฏิบัติ*. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Farag, M. M. (2008). *Materials and process selection for engineering design* (2nd ed.). Boca Raton, FL: CRC Press.

Gere, J. M. (2006). *Mechanics of Materials* (6th ed.). Canada: Thomson.

Graf, E. H. (2003). Apparatus for Measuring Young's Modulus. *The Physics Teacher, 41,* 364-367.

Sharma, R.C. (1982). *Modern Science Teaching* (3rded.). Delhi: Neveen Shahdara, D.R. Printing Service.

Woff – Michael Roth. (1994). Experimenting in a constructivist high school physics laboratory. *Journal of Research in Science Teaching, 31*(2), 197 – 223.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

- หนังสือเชิญผู้เชี่ยวชาญประเมินชุดทดลอง
- รายชื่อผู้เชี่ยวชาญ
- แบบประเมินความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ
- แบบสอบถามความคิดเห็นสำหรับผู้เรียน
- การวิเคราะห์ความคิดเห็นจากการประเมินชุดทดลองโดยผู้เชี่ยวชาญ
- การวิเคราะห์ความคิดเห็นจากการประเมินชุดทดลองโดยผู้เรียน

ที่ ศธ ๐๔๒๓๙.๑๙ /๓๘๒

โรงเรียนสองพี่น้องวิทยา
อำเภอสองพี่น้อง
จังหวัดสุพรรณบุรี ๗๒๑๑๐

๑๘ พฤศจิกายน ๒๕๕๖

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์ตรวจสอบผลงานทางวิชาการ

เรียน ดร.ทศพร สมพันธ์

สิ่งที่ส่งมาด้วย ๑. แบบแสดงความคิดเห็นต่อชุดทดลองและเครื่องมือ จำนวน ๑ ชุด

๒. คู่มือการใช้ชุดทดลองและปฏิบัติการ จำนวน ๑ ชุด

ด้วยนางสาวอุษณีย์ อัยรา ตำแหน่ง ครู โรงเรียนสองพี่น้องวิทยา สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา เขต ๙ ได้จัดทำผลงานทางวิชาการเป็นเอกสารประกอบการสอน กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔ เพื่อประกอบการทำวิทยานิพนธ์ ระดับปริญญาโท โรงเรียนสองพี่น้องวิทยา พิจารณาแล้วเห็นว่า ท่านเป็นผู้มีความรู้ ความสามารถ ดังนั้นจึงขอความอนุเคราะห์ท่านในการตรวจสอบผลงานทางวิชาการของ นางสาวอุษณีย์ อัยรา ตามเอกสารที่ส่งมาพร้อมนี้

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา และให้ความอนุเคราะห์ เพื่อประโยชน์ต่อการพัฒนาทางวิชาการของโรงเรียนต่อไป

ขอแสดงความนับถือ

(นายอร่าม มากระจัน)
ผู้อำนวยการโรงเรียนสองพี่น้องวิทยา

โรงเรียนสองพี่น้องวิทยา
โทร.๐๓๕-๔๓๗๐๒๑
โทรสาร. ๐๓๕-๔๓๗๐๒๒
http://www.sn.ac.th

ที่ ศธ ๐๔๒๓๙.๑๙ /๓๘๒

โรงเรียนสองพี่น้องวิทยา
อำเภอสองพี่น้อง
จังหวัดสุพรรณบุรี ๗๒๑๑๐

๑๘ พฤศจิกายน ๒๕๕๖

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์ตรวจสอบผลงานทางวิชาการ

เรียน ดร.ธีรยุทธ ภูเขา

สิ่งที่ส่งมาด้วย ๑. แบบแสดงความคิดเห็นต่อชุดทดลองและเครื่องมือ จำนวน ๑ ชุด
๒. คู่มือการใช้ชุดทดลองและปฏิบัติการ จำนวน ๑ ชุด

ด้วยนางสาวอุษณีย์ อัยรา ตำแหน่ง ครู โรงเรียนสองพี่น้องวิทยา สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา เขต ๙ ได้จัดทำผลงานทางวิชาการเป็นเอกสารประกอบการสอน กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔ เพื่อประกอบการทำวิทยานิพนธ์ ระดับปริญญาโท โรงเรียนสองพี่น้องวิทยา พิจารณาแล้วเห็นว่า ท่านเป็นผู้มีความรู้ ความสามารถ ดังนั้นจึงขอความอนุเคราะห์ท่านในการตรวจสอบผลงานทางวิชาการของ นางสาวอุษณีย์ อัยรา ตามเอกสารที่ส่งมาพร้อมนี้

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา และให้ความอนุเคราะห์ เพื่อประโยชน์ต่อการพัฒนาทางวิชาการของโรงเรียนต่อไป

ขอแสดงความนับถือ

(นายอร่าม มากระจัน)
ผู้อำนวยการโรงเรียนสองพี่น้องวิทยา

โรงเรียนสองพี่น้องวิทยา
โทร.๐๓๕-๔๓๗๐๒๑
โทรสาร. ๐๓๕-๔๓๗๐๒๒
http://www.sn.ac.th

ที่ ศธ ๐๔๒๓๙.๑๙ /๓๘๒

โรงเรียนสองพี่น้องวิทยา
อำเภอสองพี่น้อง
จังหวัดสุพรรณบุรี ๗๒๑๑๐

๑๘ พฤศจิกายน ๒๕๕๖

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์ตรวจสอบผลงานทางวิชาการ

เรียน นางวรลักษณ์ วุฒิราชา

สิ่งที่ส่งมาด้วย ๑. แบบแสดงความคิดเห็นต่อชุดทดลองและเครื่องมือ จำนวน ๑ ชุด
๒. คู่มือการใช้ชุดทดลองและปฏิบัติการ จำนวน ๑ ชุด

ด้วยนางสาวอุษณีย์ อัยรา ตำแหน่ง ครู โรงเรียนสองพี่น้องวิทยา สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา เขต ๙ ได้จัดทำผลงานทางวิชาการเป็นเอกสารประกอบการสอน กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔ เพื่อประกอบการทำวิทยานิพนธ์ ระดับปริญญาโท โรงเรียนสองพี่น้องวิทยา พิจารณาแล้วเห็นว่า ท่านเป็นผู้มีความรู้ ความสามารถ ดังนั้นจึงขอความอนุเคราะห์ท่านในการตรวจสอบผลงานทางวิชาการของ นางสาวอุษณีย์ อัยรา ตามเอกสารที่ส่งมาพร้อมนี้

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา และให้ความอนุเคราะห์ เพื่อประโยชน์ต่อการพัฒนาทางวิชาการของโรงเรียนต่อไป

ขอแสดงความนับถือ

(นายอร่าม มากระจัน)
ผู้อำนวยการโรงเรียนสองพี่น้องวิทยา

โรงเรียนสองพี่น้องวิทยา
โทร.๐๓๕-๔๓๗๐๒๑
โทรสาร. ๐๓๕-๔๓๗๐๒๒
http://www.sn.ac.th

ที่ ศธ ๐๔๒๓๙.๑๙ /๓๘๒

โรงเรียนสองพี่น้องวิทยา
อำเภอสองพี่น้อง
จังหวัดสุพรรณบุรี ๗๒๑๑๐

๑๘ พฤศจิกายน ๒๕๕๖

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์ตรวจสอบผลงานทางวิชาการ
เรียน นายอดิศักดิ์ สารประสิทธิ์
สิ่งที่ส่งมาด้วย ๑. แบบแสดงความคิดเห็นต่อชุดทดลองและเครื่องมือ จำนวน ๑ ชุด
๒. คู่มือการใช้ชุดทดลองและปฏิบัติการ จำนวน ๑ ชุด

ด้วยนางสาวอุษณีย์ อัยรา ตำแหน่ง ครู โรงเรียนสองพี่น้องวิทยา สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา เขต ๙ ได้จัดทำผลงานทางวิชาการเป็นเอกสารประกอบการสอน กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔ เพื่อประกอบการทำวิทยานิพนธ์ ระดับปริญญาโท โรงเรียนสองพี่น้องวิทยา พิจารณาแล้วเห็นว่า ท่านเป็นผู้มีความรู้ ความสามารถ ดังนั้นจึงขอความอนุเคราะห์ท่านในการตรวจสอบผลงานทางวิชาการของ นางสาวอุษณีย์ อัยรา ตามเอกสารที่ส่งมาพร้อมนี้

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา และให้ความอนุเคราะห์ เพื่อประโยชน์ต่อการพัฒนาทางวิชาการของโรงเรียนต่อไป

ขอแสดงความนับถือ

(นายอร่าม มากระจัน)
ผู้อำนวยการโรงเรียนสองพี่น้องวิทยา

โรงเรียนสองพี่น้องวิทยา
โทร.๐๓๕-๔๓๗๐๒๑
โทรสาร. ๐๓๕-๔๓๗๐๒๒
http://www.sn.ac.th

ที่ ศธ ๐๔๒๓๙.๑๙ /๓๘๒

โรงเรียนสองพี่น้องวิทยา
อำเภอสองพี่น้อง
จังหวัดสุพรรณบุรี ๗๒๑๑๐

๑๘ พฤศจิกายน ๒๕๕๖

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์ตรวจสอบผลงานทางวิชาการ

เรียน นางทัศนีย์ ถีระแก้ว

สิ่งที่ส่งมาด้วย ๑. แบบแสดงความคิดเห็นต่อชุดทดลองและเครื่องมือ จำนวน ๑ ชุด
๒. คู่มือการใช้ชุดทดลองและปฏิบัติการ จำนวน ๑ ชุด

ด้วยนางสาวอุษณีย์ อัยรา ตำแหน่ง ครู โรงเรียนสองพี่น้องวิทยา สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา เขต ๙ ได้จัดทำผลงานทางวิชาการเป็นเอกสารประกอบการสอน กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔ เพื่อประกอบการทำวิทยานิพนธ์ ระดับปริญญาโท โรงเรียนสองพี่น้องวิทยา พิจารณาแล้วเห็นว่า ท่านเป็นผู้มีความรู้ ความสามารถ ดังนั้นจึงขอความอนุเคราะห์ท่านในการตรวจสอบผลงานทางวิชาการของ นางสาวอุษณีย์ อัยรา ตามเอกสารที่ส่งมาพร้อมนี้

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา และให้ความอนุเคราะห์ เพื่อประโยชน์ต่อการพัฒนาทางวิชาการของโรงเรียนต่อไป

ขอแสดงความนับถือ

(นายอร่าม มากระจัน)
ผู้อำนวยการโรงเรียนสองพี่น้องวิทยา

โรงเรียนสองพี่น้องวิทยา
โทร.๐๓๕-๔๓๗๐๒๑
โทรสาร. ๐๓๕-๔๓๗๐๒๒
http://www.sn.ac.th

รายชื่อผู้เชี่ยวชาญประเมินชุดทดลองเพื่อหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะโดยใช้เทคนิคทางแสง

1. ดร.ทศพร สมพันธ์ ครูชำนาญการพิเศษ ปร.ด. สาขาฟิสิกส์
โรงเรียนโนนแท่นพิทยาคม อำเภอท่าตูม จ.สุรินทร์
ผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหาวิชา

2. ดร.ธีรยุทธ ภูเขา ศึกษานิเทศชำนาญการพิเศษ ปร.ด. สาขาการวัดและประเมินผล
สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาอุทัยธานี เขต 2
ผู้เชี่ยวชาญด้านการวัดและประเมินผล

3. นางวรลักษณ์ วุฒิราชา ครูชำนาญการพิเศษ สาขาฟิสิกส์
โรงเรียนบรรหารแจ่มใสวิทยา 5 อำเภอสองพี่น้อง จ.สุพรรณบุรี
ผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหาวิชา

4. นายอดิศักดิ์ สารประสิทธิ์ ครูชำนาญการพิเศษ สาขาฟิสิกส์
โรงเรียนบรรหารแจ่มใสวิทยา 3 อำเภอด่านช้าง จ.สุพรรณบุรี
ผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหาวิชา

5. นางทัศนีย์ ถิระแก้ว ครูชำนาญการพิเศษ สาขาวิทยาศาสตร์ทั่วไป
โรงเรียนสองพี่น้องวิทยา อำเภอสองพี่น้อง จ.สุพรรณบุรี
ผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนวิทยาศาสตร์

แบบประเมินความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับ
ชุดทดลองเพื่อหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะโดยใช้เทคนิคทางแสง

แบบประเมินผลชุดนี้ เป็นแบบสอบถามความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับการสร้างชุดทดลองเพื่อหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะโดยใช้เทคนิคทางแสง เพื่อใช้เป็นสื่อการเรียนรู้วิชาฟิสิกส์ระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ในบทเรียนสภาพสมดุลและสภาพยืดหยุ่น เรื่องการหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะชนิดต่าง ๆ

<u>คำชี้แจง</u> แบบประเมินชุดนี้แบ่งออกเป็น 2 ตอน
ตอนที่ 1 ถามความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับประสิทธิภาพการทดลอง การออกแบบชุดทดลองและคู่มือปฏิบัติการสำหรับครู
ตอนที่ 2 ถามความคิดเห็นและข้อเสนอแนะอื่นๆ

ตอนที่ 1 ถามความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับประสิทธิภาพของชุดทดลอง การออกแบบชุดทดลองและความเหมาะสมของคู่มือปฏิบัติการสำหรับครู
<u>คำชี้แจง</u> กรุณาทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องที่ตรงกับความคิดเห็นของท่าน โดยมีระดับค่าคะแนนดังนี้

+1 หมายถึง แน่ใจว่าชุดทดลองนี้สามารถวัดได้ตรงตามวัตถุประสงค์ที่ระบุไว้จริง
0 หมายถึง ไม่แน่ใจว่าชุดทดลองนี้สามารถวัดได้ตรงตามวัตถุประสงค์ที่ระบุไว้จริง
-1 หมายถึง แน่ใจว่าชุดทดลองนี้ไม่สามารถวัดได้ตรงตามวัตถุประสงค์ที่ระบุไว้จริง

ข้อที่	ข้อคำถามความคิดเห็น	ระดับความคิดเห็น		
		+1	0	-1
	ก. ด้านประสิทธิภาพของชุดทดลอง			
1	สามารถทดลองได้ตรงตามวัตถุประสงค์			
2	เหมาะสมกับระดับผู้เรียน			
3	ชุดทดลองสามารถทำให้การเรียนรู้เข้าใจดียิ่งขึ้น			
4	ช่วยให้การอธิบายทางทฤษฎีลดน้อยลง			

ข้อที่	ข้อคำถามความคิดเห็น	ระดับความคิดเห็น		
		+1	0	-1
	ข. ด้านการออกแบบชุดทดลอง			
1	ใช้หลักการตามมาตรฐานสากล			
2	ชุดทดลองมีขนาดเหมาะสม			
3	มีความปลอดภัยในการทดลอง			
4	มีความสะดวกในการบำรุงรักษา			
	ค. ด้านความเหมาะสมของคู่มือปฏิบัติการสำหรับครู			
1	เนื้อหาทางทฤษฎีมีความสัมพันธ์กับชุดทดลอง			
2	ครอบคลุมวัตถุประสงค์เกี่ยวกับหัวข้อในการทดลอง			
3	ภาษาเข้าใจง่าย			
4	เวลาที่ใช้ในการสอนเหมาะสม			

ตอนที่ 2 ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

....

.....

.....

ลงชื่อ.....

(.....)

ตำแหน่ง.....

ผู้เชี่ยวชาญ

แบบประเมินความคิดเห็นของนักเรียน
เกี่ยวกับชุดทดลองเพื่อหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะโดยใช้เทคนิคทางแสง

แบบประเมินชุดนี้ เป็นการสอบถามเพื่อให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นเกี่ยวกับชุดทดลองเพื่อหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะโดยใช้เทคนิคทางแสง

คำชี้แจง แบบประเมินชุดนี้แบ่งออกเป็น 2 ตอน
ตอนที่ 1 ถามความคิดเห็นของนักเรียน เกี่ยวกับชุดทดลอง ใบความรู้และใบงานการทดลอง
ตอนที่ 2 ถามความคิดเห็นและข้อเสนอแนะอื่นๆ

ตอนที่ 1 ถามความคิดเห็นของนักเรียน เกี่ยวกับชุดทดลอง ใบความรู้และใบงานการทดลอง
คำชี้แจง กรุณาทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องที่ตรงกับความคิดเห็นของนักเรียน
โดยมีระดับค่าคะแนน ดังนี้

5 หมายถึง เห็นด้วยอย่างยิ่ง
4 หมายถึง เห็นด้วย
3 หมายถึง ไม่แน่ใจ
2 หมายถึง ไม่เห็นด้วย
1 หมายถึง ไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง

ข้อที่	ข้อคำถามความคิดเห็น	ระดับความคิดเห็น				
		5	4	3	2	1
	ก. ด้านการออกแบบชุดทดลอง					
1	ชุดทดลองติดตั้งง่าย					
2	ชุดทดลองมีความน่าสนใจ					
3	ชุดทดลองมีความสะดวกในการใช้งาน					
4	ชุดทดลองมีความปลอดภัยในการใช้งาน					
5	ชุดทดลองมีความสอดคล้องกับเนื้อหาที่เรียน					
6	ชุดทดลองสามารถช่วยให้การเรียนรู้เข้าใจดียิ่งขึ้น					
7	ความเหมาะสมของเวลาที่ใช้ในการทดลอง					

ข้อที่	ข้อคำถามความคิดเห็น	ระดับความคิดเห็น				
		5	4	3	2	1
	ข. ด้านใบความรู้					
1	ใช้ภาษาเข้าใจง่าย					
2	ลำดับเนื้อหามีความเหมาะสมเข้าใจง่าย					
3	สามารถศึกษาด้วยตนเองได้					
	ค. ด้านใบงานการทดลอง					
1	ลำดับขั้นตอนการทดลองเข้าใจง่าย					
2	ตารางบันทึกผลการทดลองเข้าใจง่าย					
3	คำถามท้ายการทดลองสอดคล้องกับการทดลอง					

ตอนที่ 2 ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อ.....

(.....)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ตารางที่ ก -1 แสดงการวิเคราะห์ความคิดเห็นจากการประเมินชุดทดลองโดยผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่าน

ข้อที่	ข้อคำถามความคิดเห็น	ระดับความคิดเห็น			IOC
		+1	0	-1	
	ก. ด้านประสิทธิภาพการทดลอง				
1	สามารถทดลองได้ตรงตามวัตถุประสงค์	5	0	0	1
2	เหมาะสมกับระดับผู้เรียน	5	0	0	1
3	ชุดทดลองสามารถทำให้การเรียนรู้เข้าใจดียิ่งขึ้น	5	0	0	1
4	ช่วยให้การอธิบายทางทฤษฎีลดน้อยลง	5	0	0	1
	ค่าดัชนีความสอดคล้องเฉลี่ยรวม				**1**
	ข. ด้านการออกแบบ				
1	ใช้หลักการตามมาตรฐานสากล	5	0	0	1
2	ชุดทดลองมีขนาดเหมาะสม	5	0	0	1
3	มีความปลอดภัยในการทดลอง	4	1	0	0.8
4	มีความสะดวกในการบำรุงรักษา	5	0	0	1
	ค่าดัชนีความสอดคล้องเฉลี่ยรวม				**0.95**
	ค. คู่มือปฏิบัติการสำหรับครู				
1	เนื้อหาทางทฤษฎีมีความสัมพันธ์กันกับชุดทดลอง	5	0	0	1
2	ครอบคลุมวัตถุประสงค์เกี่ยวกับหัวข้อในการทดลอง	5	0	0	1
3	ภาษาที่ใช้เข้าใจง่าย	5	0	0	1
4	เวลาที่ใช้ในการสอนเหมาะสม	5	0	0	1
	ค่าดัชนีความสอดคล้องเฉลี่ยรวม				**1**

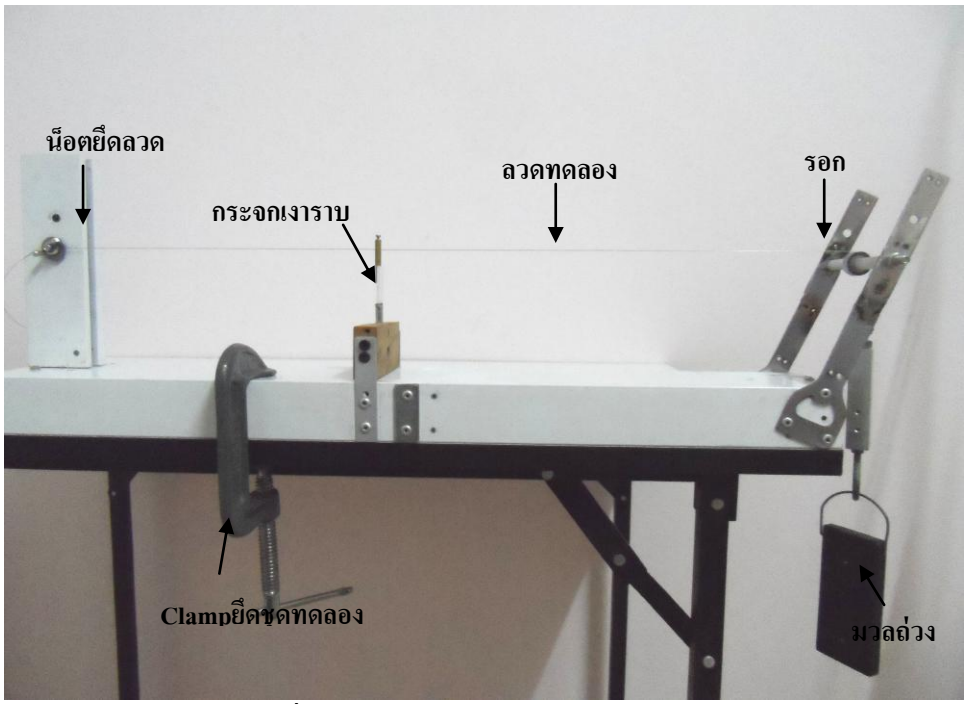
ตารางที่ ก-2 แสดงการวิเคราะห์ความคิดเห็นจากการประเมินชุดทดลองโดยนักเรียน 30 คน

ข้อที่	ข้อคำถามความคิดเห็น	ระดับความคิดเห็น (ร้อยละ)					คะแนนเฉลี่ย	ความเห็น
		5	4	3	2	1		
	ก. ด้านการออกแบบชุดทดลอง							
1	ชุดทดลองติดตั้งง่าย	36.67	63.33	0	0	0	4.37	เห็นด้วย
2	ชุดทดลองมีความน่าสนใจ	56.67	43.33	0.00	0	0	4.58	เห็นด้วยอย่างยิ่ง
3	ชุดทดลองมีความสะดวกในการใช้งาน	30.00	50.00	16.67	0	3.33	4.03	เห็นด้วย
4	ชุดทดลองมีความปลอดภัยในการใช้งาน	53.33	46.67	0	0	0	4.53	เห็นด้วย
5	ชุดทดลองมีความสอดคล้องกับเนื้อหาที่เรียน	83.33	16.67	0	0	0	4.83	เห็นด้วยอย่างยิ่ง
6	ชุดทดลองสามารถช่วยให้การเรียนรู้เข้าใจดียิ่งขึ้น	56.67	43.33	0	0	0	4.57	เห็นด้วยอย่างยิ่ง
7	ความเหมาะสมของเวลาที่ใช้ในการทดลอง	23.33	70.00	6.67	0	0	4.17	เห็นด้วย
	คะแนนเฉลี่ยรวมด้านการออกแบบชุดทดลอง						4.44	เห็นด้วย

ข้อที่	ข้อคำถามความคิดเห็น	ระดับความคิดเห็น (ร้อยละ)					คะแนนเฉลี่ย	ความเห็น
		5	4	3	2	1		
	ข. ด้านใบความรู้							
1	ใช้ภาษาที่เข้าใจง่าย	63.33	30.00	6.67	0	0	4.57	เห็นด้วยอย่างยิ่ง
2	ลำดับเนื้อหามีความเหมาะสมเข้าใจง่าย	43.33	56.67	0	0	0	4.43	เห็นด้วย
3	สามารถศึกษาด้วยตนเองได้	53.33	46.67	0	0	0	4.53	เห็นด้วยอย่างยิ่ง
	คะแนนเฉลี่ยรวมด้านใบความรู้						4.51	เห็นด้วยอย่างยิ่ง
	ค. ด้านใบงานการทดลอง							
1	ลำดับขั้นตอนการทดลองเข้าใจง่าย	60.00	40.00	0	0	0	4.60	เห็นด้วยอย่างยิ่ง
2	ตารางบันทึกผลการทดลองเข้าใจง่าย	46.67	53.33	0	0	0	4.47	เห็นด้วย
3	คำถามท้ายการทดลองสอดคล้องกับการทดลอง	70.00	30.00	0	0	0	4.70	เห็นด้วยอย่างยิ่ง
	คะแนนเฉลี่ยรวมด้านใบงานการทดลอง						4.59	เห็นด้วยอย่างยิ่ง

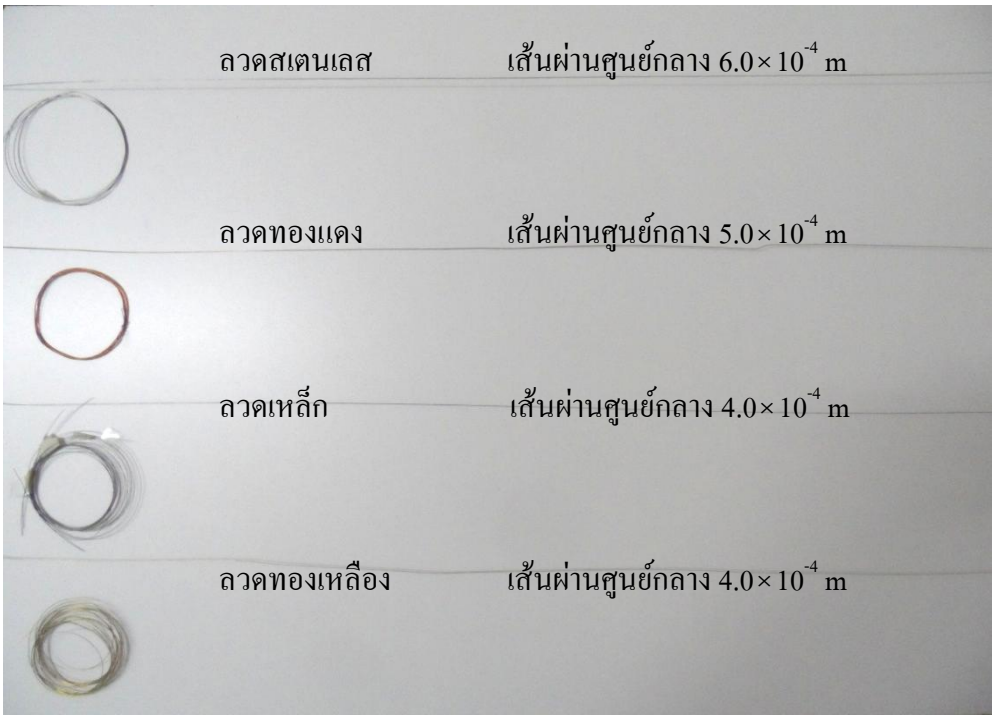
ภาคผนวก ข

- การจัดชุดทดลองและอุปกรณ์การทดลอง
- การทดลองหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะชนิดต่างๆ

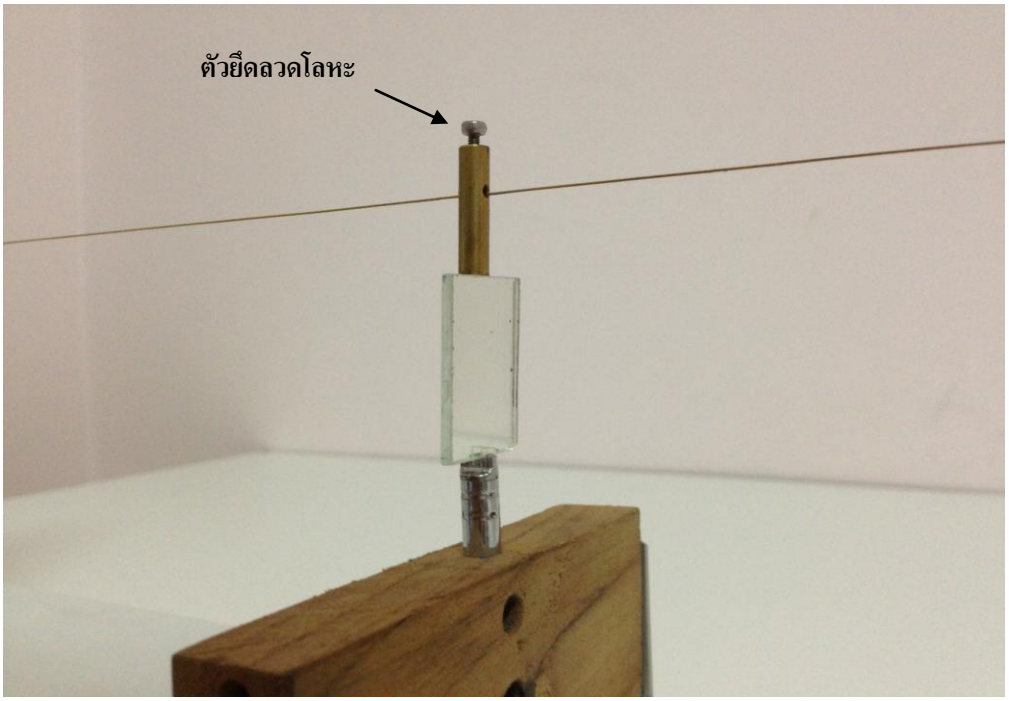


ภาพภาคผนวก ข-1 ชุดทดลองเพื่อหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะโดยใช้เทคนิคทางแสง

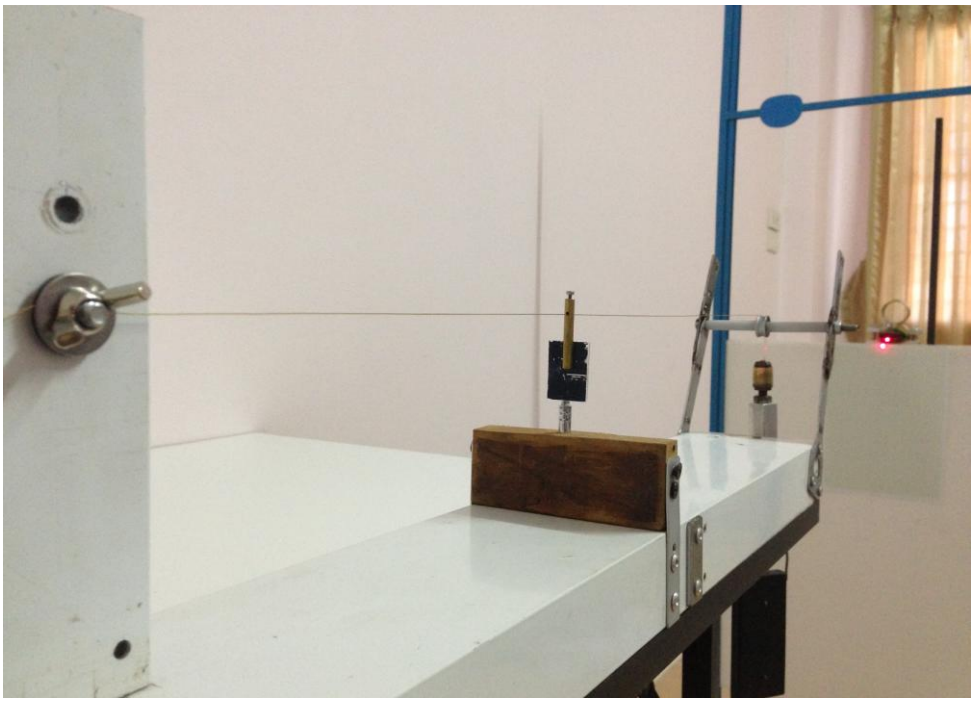
ภาพภาคผนวก ข-2 การตั้งชุดทดลองเพื่อหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะโดยใช้เทคนิคทางแสง



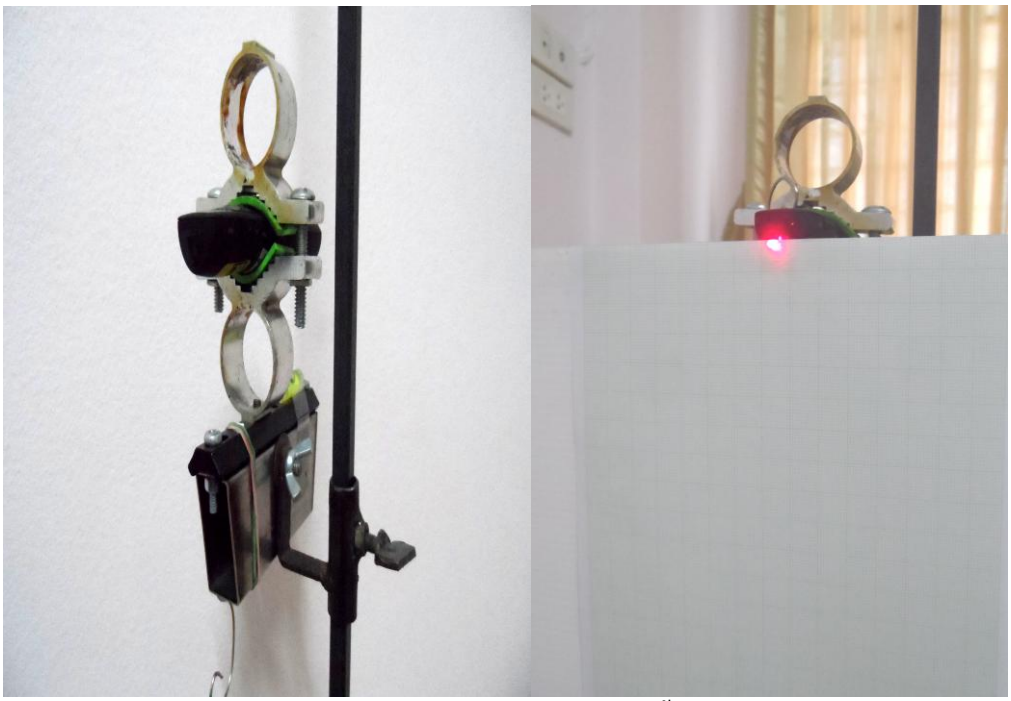
ภาพภาคผนวก ข-3 ลวดโลหะทดลองได้แก่ ลวดสเตนเลส ลวดทองแดง ลวดเหล็ก และ ลวดทองเหลือง ตามลำดับ



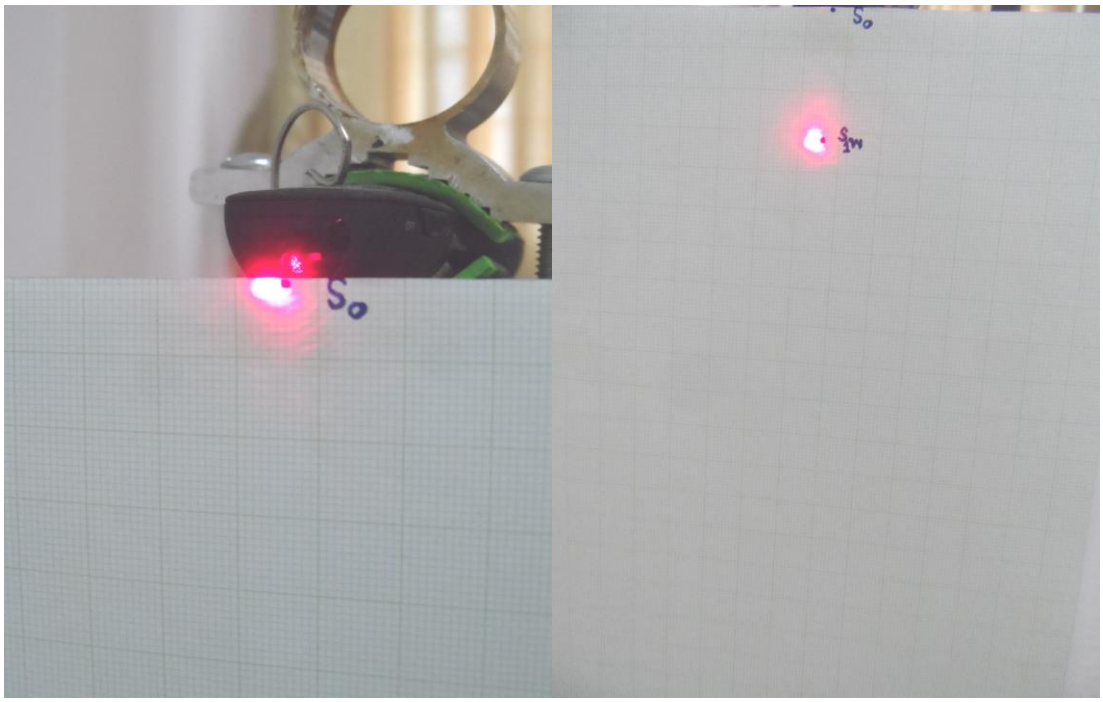
ภาพภาคผนวก ข-4 ตัวยึดลวดโลหะกับกระจกเงาราบ



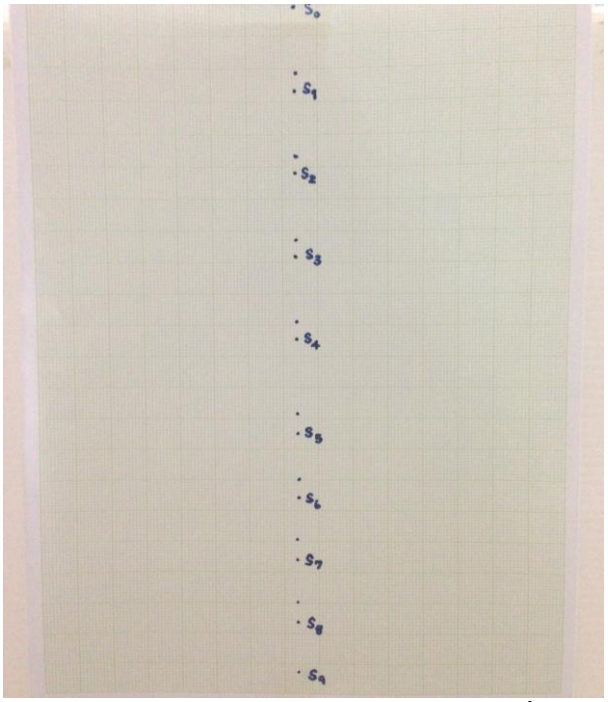
ภาพภาคผนวก ข-5 การทดสอบชุดทดลองโดยใช้ลวดทองเหลือง ให้แสงเลเซอร์ตกกระทบกระจกเงาราบ



ภาพภาคผนวก ข-6 แหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์พอยเตอร์พร้อมขาตั้งและการวางเลเซอร์ไว้ด้านหลังฉากรับภาพ



ภาพภาคผนวก ข-7 การแสดงตำแหน่งแสงเลเซอร์บนกระดาษกราฟ



ภาพภาคผนวก ข-8 การแสดงตำแหน่งแสงเลเซอร์บนกระดาษกราฟเมื่อเพิ่มและลดมวลถ่วง

ภาคผนวก ค

คู่มือปฏิบัติการสำหรับครู

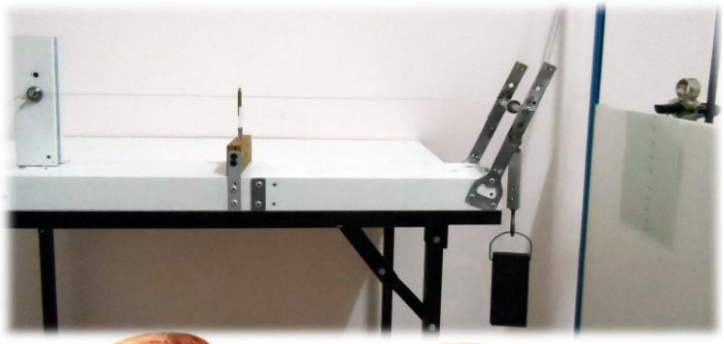
คู่มือการใช้ชุดทดลองและปฏิบัติการ

เพื่อหาค่าโมดูลัสของยังของลวดโลหะโดยใช้เทคนิคทางแสง

สำหรับครูผู้สอน

รายวิชา ฟิสิกส์ 1

รหัสวิชา ว 30201



โรงเรียนสองพี่น้องวิทยา อำเภอสองพี่น้อง จังหวัดสุพรรณบุรี
สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษาเขต 9

คำนำ

คู่มือการใช้ชุดทดลองและปฏิบัติการเพื่อหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะโดยใช้เทคนิคทางแสง ใช้สำหรับประกอบการสอนในรายวิชาฟิสิกส์ 1 ว 30201 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 เพื่อให้ง่ายต่อการใช้งาน ผู้จัดทำจึงได้เรียบเรียงคู่มือชุดนี้ขึ้น ประกอบด้วย แผนการจัดการเรียนรู้ ใบความรู้ ใบงานการทดลองและตัวอย่างบันทึกผลการทดลอง สำหรับครูผู้สอนสามารถนำไปใช้ในการจัดการเรียนการสอน

ผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่าคู่มือชุดนี้จะเป็นประโยชน์ในการจัดการเรียนการสอนในเรื่องดังกล่าวได้เป็นอย่างดี

นางสาวอุษณีย์ อัยรา
ผู้จัดทำ

สารบัญ

หน้า

ข้อแนะนำในการใช้คู่มือปฏิบัติการสำหรับครู 1
แผนการจัดการเรียนรู้ 2
ใบความรู้ 12
ใบงานการทดลอง
1. หลักการและเหตุผล 17
2. วัตถุประสงค์ของการทดลอง 17
3. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการทดลอง 18
4. เนื้อหาและทฤษฎี 18
5. อุปกรณ์การทดลอง 23
6. วิธีการทดลอง 24
7. การบันทึกผลและจัดกระทำข้อมูลจากการทดลอง 27
8. อภิปรายผลการทดลอง 31
9. สรุปผลการทดลอง 31
10. ตัวอย่างการบันทึกผลการทดลองและจัดกระทำข้อมูลการทดลอง 33
11. ตัวอย่างการอภิปรายและสรุปผลการทดลอง 37

ข้อแนะนำการใช้คู่มือปฏิบัติการสำหรับครู

คู่มือปฏิบัติการสำหรับครูประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. แผนการจัดการเรียนรู้
2. ใบความรู้
3. ใบงานการทดลอง
4. ตัวอย่างการบันทึกผลการทดลอง

สื่อการจัดการเรียนรู้ประกอบด้วย

1. คู่มือปฏิบัติการ
2. ชุดทดลองเพื่อหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะโดยใช้เทคนิคทางแสง

กระบวนการจัดการเรียนรู้

1. บรรยาย
2. อภิปราย
3. สาธิต
4. ทดลอง

แนวปฏิบัติของครูผู้สอน

1. ให้ความรู้โดยการบรรยายและนำอภิปรายเรื่อง ความเค้นดึงและความเครียดดึง นำไปสู่การหาค่ามอดูลัสของยังของวัสดุ
2. ชี้แจงนักเรียนเกี่ยวกับแนวทางปฏิบัติตามระเบียบของห้องปฏิบัติการของโรงเรียน
3. ชี้แจงวัตถุประสงค์ของการทดลองพร้อมทั้งอธิบายส่วนประกอบของชุดทดลอง
4. อธิบายและสาธิตวิธีการทดลอง พร้อมทั้งซักถามความเข้าใจของนักเรียน
5. ควบคุมและดูแลการทำการทดลองของนักเรียนให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

แผนการจัดการเรียนรู้

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4

ชื่อวิชา ฟิสิกส์เพิ่มเติม 1 รหัสวิชา ว 30201

หน่วยการเรียนรู้ที่ 8 ชื่อหน่วยการเรียนรู้ สภาพสมดุลและสภาพยืดหยุ่น

หน่วยการเรียนรู้ย่อย ชื่อหัวเรื่อง สภาพยืดหยุ่น จำนวน 4 ชั่วโมง

ผู้สอน นางสาวอุษณีย์ อัยรา โรงเรียนสองพี่น้องวิทยา

---

1. มาตรฐานการเรียนรู้

มาตรฐาน ว 4.1 : เข้าใจธรรมชาติของแรงแม่เหล็กไฟฟ้า แรงโน้มถ่วง และแรงนิวเคลียร์มีกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ สื่อสารสิ่งที่เรียนรู้และนำความรู้ไปใช้ประโยชน์อย่างถูกต้องและมีคุณธรรม

ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง

อธิบายสภาพยืดหยุ่นของของแข็งและมอดูลัสของยังได้

2. สาระสำคัญ

เมื่อวัตถุใด ๆ ถูกแรงภายนอกมากระทำผลที่เกิดกับวัตถุนั้น อาจทำให้วัตถุเปลี่ยนรูปร่าง การเปลี่ยนรูปร่างนั้นขึ้นอยู่กับคุณสมบัติเฉพาะตัวของวัตถุ โดยที่เมื่อออกแรงดึงวัตถุอัตราส่วนระหว่างแรงดึงและพื้นที่หน้าตัด เรียกว่า ความเค้นดึง และอัตราส่วนระหว่างความยาวที่เปลี่ยนไปของวัตถุกับความยาวเดิมของวัตถุ เรียกว่า ความเครียดดึง ซึ่งอัตราส่วนระหว่างความเค้นดึงและความเครียดดึงของวัตถุชนิดหนึ่ง ๆ จะมีค่าคงตัวเสมอและเป็นค่าคงตัวประจำสำหรับวัตถุซึ่งเรียกค่านี้ว่า มอดูลัสของยัง (young modulus)

3. สาระการเรียน/เนื้อหาสาระ

3.1 ความเค้น

ความเค้น (Stress) หมายถึง แรงต้านทานภายในเนื้อวัสดุที่มีต่อแรงภายนอกที่มากระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ แต่เนื่องจากความไม่เหมาะสมทางปฏิบัติ และความยากในการวัดหาค่านี้ เราจึง

มักจะพูดถึงความเค้นในรูปของแรงภายนอกที่มากระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ด้วยเหตุผลที่ว่า แรงกระทำภายนอกมีความสมดุลกับแรงต้านทานภายใน การหาค่าความเค้นสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้คือ

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

เมื่อ σ คือ ความเค้น (N/m^2)

F คือ แรงภายนอกที่มากระทำ (N)

A คือ พื้นที่ภาคตัดขวางที่แรงกระทำ (m^2)

3.2 ความเครียด

ความเครียด (Strain) คือ การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุ (Deformation) เมื่อมีแรงภายนอกมากระทำ (เกิดความเค้น) การเปลี่ยนรูปของวัสดุนี้เป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ภายในเนื้อวัสดุ ซึ่งสามารถแบ่งเป็น 2 ชนิดใหญ่ ๆ คือ

1. การเปลี่ยนรูปแบบอิลาสติกหรือความเครียดแบบคืนรูป (Elastic Deformation or Elastic Strain) เป็นการเปลี่ยนรูปในลักษณะที่เมื่อปลดแรงกระทำ อะตอมซึ่งเคลื่อนไหวเนื่องจากผลของความเค้นจะเคลื่อนกลับเข้าตำแหน่งเดิม ทำให้วัสดุคงรูปร่างเดิมไว้ได้ ตัวอย่างได้แก่ พวกยางยืด สปริง ถ้าเราดึงมันแล้วปล่อยมันจะกลับไปมีขนาดเท่าเดิม

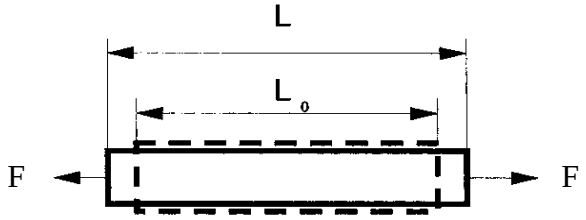
2. การเปลี่ยนรูปแบบพลาสติกหรือความเครียดแบบคงรูป (Plastic Deformation or Plastic Strain) เป็นการเปลี่ยนรูปที่ถึงแม้ว่าจะปลดแรงกระทำนั้นออกแล้ววัสดุก็ยังคงรูปร่างตามที่ถูกเปลี่ยนไปนั้น โดยอะตอมที่เคลื่อนที่ไปแล้วจะไม่กลับไปตำแหน่งเดิม

วัสดุทุกชนิดจะมีพฤติกรรมการเปลี่ยนรูปทั้งสองชนิดนี้ขึ้นอยู่กับแรงที่มากระทำ หรือความเค้นว่ามีมากน้อยเพียงใด หากไม่เกินพิกัดการคืนรูป (Elastic Limit) แล้ววัสดุนั้นก็จะมีพฤติกรรมคืนรูปแบบยืดหยุ่น (Elastic Behavior) แต่ถ้าความเค้นเกินกว่าพิกัดการคืนรูปแล้ววัสดุก็จะเกิดการเปลี่ยนรูปแบบถาวรหรือแบบพลาสติก (Plastic Deformation)

นอกจากความเครียดทั้ง 2 ชนิดนี้แล้ว ยังมีความเครียดอีกประเภทหนึ่งซึ่งพบในวัสดุประเภทโพลีเมอร์ เช่น พลาสติก เรียกว่าความเครียดกึ่งยืดหยุ่นจะมีลักษณะที่เมื่อปราศจากแรงกระทำวัสดุจะมีการคืนรูป แต่จะไม่กลับไปจนมีลักษณะเหมือนเดิม

การวัดและคำนวณหาค่าความเครียด

1. แบบเส้นตรง ความเครียดที่วัดได้จะเรียกว่า ความเครียดเชิงเส้น (Linear Strain) จะใช้ได้เมื่อแรงที่มากระทำมีลักษณะเป็นแรงดึงหรือแรงกด ดังภาพที่ 1 ค่าของความเครียดจะเท่ากับความยาวที่เปลี่ยนไปต่อความยาวเดิม ดังสมการ



ภาพที่ 1 ความเครียดเชิงเส้น (Linear Strain)

(http://dc378.4shared.com/doc/-mm62_Z6/preview.html)

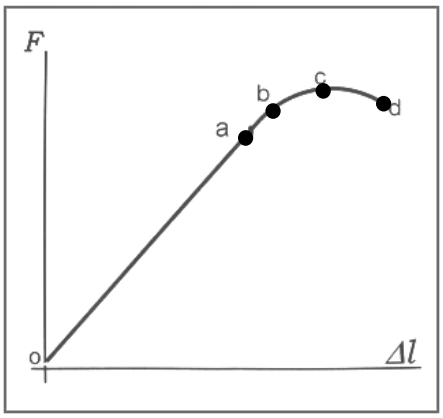
$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_o} \tag{2}$$

เมื่อ ε คือ ความเครียดเชิงเส้น

ΔL คือ ความยาวที่เปลี่ยนไป (m)

L_o คือ ความยาวเดิมของวัสดุ (m)

เมื่อนำวัตถุบางชนิด เช่น เหล็ก ทองแดง หรือแก้วที่เป็นแท่งหรือเส้นลวด มายึดปลายข้างหนึ่งจากนั้นออกแรงดึงปลายอีกข้างหนึ่ง จะพบว่า ความยาวของเส้นลวดวัตถุยืดออกและส่วนที่ยืดออกแปรผันตรงกับขนาดของแรงดึงเมื่อแรงยังอยู่ในขอบเขตหนึ่ง ความจริงข้อนี้เรียกว่า กฎของฮุก (Hooke's Law) เมื่อเพิ่มแรงดึงต่อไปเรื่อย ๆ จะพบว่าความยาวของเส้นวัตถุที่ยืดออกจะไม่แปรผันตรงกับขนาดของแรงดึงอีกต่อไป ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 กราฟระหว่างแรงดึงกับความยาวของเส้นโลหะที่เพิ่มขึ้น

(http://www.vcharkarn.com/lesson/view.php?id=1162)

จากภาพที่ 2 จะเห็นว่าในช่วง oa เป็นไปตามกฎของฮุก จุด a ซึ่งเป็นตำแหน่งสุดท้ายที่ความยาวเส้นโลหะยืดออกแปรผันตรงกับขนาดของแรงดึง จุดนี้เรียกว่า ขีดจำกัดการแปรผันตรง (propotional limit) ถ้าออกแรงดึงเส้นโลหะให้ยืดอีกเล็กน้อยจนถึงจุด b เมื่อหยุดออกแรงดึงเส้นโลหะจะกลับไปอยู่ในสภาพเดิมและความยาวสุดท้ายเท่ากับความยาวเริ่มต้น จุดนี้เรียกว่า ขีดจำกัดสภาพยืดหยุ่น (elastic limit)

ส่วนช่วงของกราฟตั้งแต่จุด b เป็นต้นไปเส้นโลหะเริ่มเปลี่ยนรูปไปอย่างถาวรและถ้าออกแรงดึงถึงจุด c จุดนี้เรียกว่า จุดคราก (yield point) ซึ่งเป็นจุดที่ความยาวของเส้นโลหะเพิ่มอย่างรวดเร็ว ขณะที่แรงดึงเพิ่มเล็กน้อย เมื่อออกแรงดึงต่อไป จนเลยจุด d เส้นโลหะจะขาดจุดนี้เรียกว่า จุดแตกหัก (breaking point)

ช่วง ob เรียกว่า การผิดรูปแบบยืดหยุ่น (elastic deformation) และสภาพของวัตถุในช่วง ob เรียกว่า สภาพยืดหยุ่น (elasticity) ซึ่งเป็นสมบัติของวัตถุที่มีการเปลี่ยนรูปร่างเมื่อมีแรงมากระทำและสามารถกลับสู่รูปเดิมเมื่อหยุดออกแรงกระทำ

ช่วง bd เรียกว่า การผิดรูปแบบพลาสติก (plastic deformation) ซึ่งเป็นสมบัติของวัตถุที่เปลี่ยนรูปร่างไปอย่างถาวร โดยวัตถุยังไม่ฉีกขาดหรือแตกหัก

วัตถุส่วนใหญ่มีทั้งสภาพยืดหยุ่นและสภาพพลาสติกในตัวเอง โดยมีสภาพยืดหยุ่นเมื่อมีแรงกระทำมีค่าน้อย และมีสภาพพลาสติกเมื่อแรงกระทำมีค่ามาก วัตถุบางชนิดมีแต่สภาพพลาสติก เช่น ดินน้ำมัน ขนมปัง เป็นต้น

แรงที่กระทำต่อวัตถุแล้วมีผลให้วัตถุผิดรูปไปมี 3 แบบ ได้แก่

1. แรงดึง (tensile forces) เป็นแรงที่กระทำต่อวัตถุ มีผลให้วัตถุมีความยาวเพิ่มขึ้น

2. แรงอัด (forces of compression) เป็นแรงที่กระทำต่อวัตถุ มีผลให้วัตถุมีความยาวลดลง

3. แรงเฉือน (shear forces) เป็นแรงที่กระทำบนผิววัตถุ มีผลให้ผิววัตถุเลื่อนไปหรือทำให้แท่งวัตถุบิดรูปร่างไปจากเดิมตาวแนวยาว แรงกรณีหลังที่ทำให้แท่งวัตถุบิดไป เรียกว่า แรงบิด (forces of torsion) ซึ่งเป็นแรงเฉือนชนิดหนึ่ง

3.3 มอดูลัสของยัง (Young's modulus)

เมื่อมีแรงกระทำต่อวัตถุ เช่น ลวดโลหะชนิดหนึ่ง จะทำให้เกิดความเค้นและความเครียดในลวดโลหะนั้น โดยความเครียดที่เกิดขึ้นจะแปรผันโดยตรงกับความเค้น เมื่อขนาดของแรงดึงไม่เกินขีดจำกัดของการยืดหยุ่น และจะเป็นค่าคงตัวประจำสำหรับวัสดุหนึ่ง ๆ ค่านี้เรียกว่า ค่ามอดูลัสของยัง (Young's modulus) โดยวัตถุที่มีมอดูลัสของยังสูง แสดงว่า วัตถุนั้นทนต่อการเปลี่ยนแปลงความยาวหรือเปลี่ยนความยาวได้น้อยขณะที่มีความเค้นมาก เขียนเป็นความสัมพันธ์ดังสมการได้ดังนี้

$$\text{มอดูลัสของยัง} = \frac{\text{ความเค้น}}{\text{ความเครียด}}$$

$$Y = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

$$Y = \frac{F/A}{\Delta L/L} \qquad (3)$$

นอกจากมอดูลัสของยังแล้ว ยังมีมอดูลัสประเภทอื่น ๆ ได้แก่ มอดูลัสเฉือน (shear modulus) มอดูลัสเชิงปริมาตร (bulk modulus) โดยทั้งมอดูลัสของยัง มอดูลัสเฉือน มอดูลัสเชิงปริมาตร รวมเรียกว่า มอดูลัสสภาพยืดหยุ่น (modulus of elasticity) โดยมอดูลัสสภาพยืดหยุ่นของวัตถุต่างแบบกันจะมีค่าต่างกัน ถึงแม้จะเป็นวัตถุชนิดเดียวกันก็ตาม

4. พฤติกรรมที่ต้องการจะเน้น (คุณลักษณะที่พึงประสงค์)

1. ใฝ่เรียนรู้
2. มุ่งมั่นในการทำงาน
3. มีจิตสาธารณะ

5. กระบวนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้

<u>ชั่วโมงที่ 1-2</u>

1. ครูตั้งคำถามให้นักเรียนยกตัวอย่างวัสดุที่รู้จักในชีวิตประจำวัน และครูสาธิตการออกแรงกระทำต่อวัสดุบางชนิด เช่น ยางรัดของ ดินน้ำมัน ไม้ ให้นักเรียนสังเกตผลที่เกิดขึ้นว่าขณะออกแรงกระทำวัสดุมีการเปลี่ยนรูปร่างหรือไม่ และหลังจากหยุดออกแรงกระทำ รูปร่างวัสดุเปลี่ยนแปลงอย่างไร
2. นักเรียนร่วมกันอภิปรายในกลุ่ม พร้อมบันทึกความคิดเห็นของกลุ่มลงในสมุดบันทึก
3. ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายสมบัติของวัสดุที่เปลี่ยนแปลงรูปร่างได้เมื่อมีแรงกระทำ และกลับคืนรูปร่างเดิมเมื่อหยุดออกแรงกระทำนั้น เรียกว่า สภาพยืดหยุ่น
4. นักเรียนสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับสภาพยืดหยุ่นของของแข็งจากใบความรู้แล้วสรุปสาระสำคัญ บันทึกลงในสมุดบันทึก
5. สุ่มนักเรียน 1 กลุ่ม ออกมาเสนอผลการสืบค้นข้อมูล
6. ครูอภิปรายเรื่องการออกแรงกระทำต่อวัตถุในลักษณะต่าง ๆ เชื่อมโยงไปถึงความเค้นดึงและความเครียดดึง และให้นักเรียนศึกษาตัวอย่างตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

<u>ชั่วโมงที่ 3-4</u>

1. ครูให้ตัวแทนนักเรียนออกมาทบทวนเกี่ยวกับความเค้นดึงและความเครียดดึงที่ได้ศึกษามาแล้ว
2. ครูอภิปรายความสัมพันธ์ของอัตราส่วนระหว่างความเค้นดึงและความเครียดดึงของวัตถุแต่ละชนิดว่าแตกต่างกันหรือไม่ เพื่อนำเข้าสู่การหาค่ามอดูลัสของยัง
3. นักเรียนและครูร่วมกันอภิปรายเกี่ยวกับค่ามอดูลัสของยังของวัตถุแต่ละชนิด และครูมอบหมายให้นักเรียนศึกษาการทดลองเรื่องการหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะชนิดต่างๆ
4. ครูอธิบายวิธีการติดตั้งอุปกรณ์ วิธีการทดลอง การบันทึกผลและข้อควรระวังในการทำการทดลอง

5. ให้นักเรียนแต่ละกลุ่มทำการทดลองกิจกรรมการใช้ชุดทดลองทดสอบหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะชนิดต่าง ๆ บันทึกและสรุปผลการทดลองในแบบรายงานการทดลอง

6. ให้นักเรียนที่เป็นตัวแทนกลุ่มนำเสนอผลการทดลอง แล้วอภิปรายร่วมกันจนได้ข้อสรุปเกี่ยวกับการทดสอบหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะชนิดต่างๆ

7. ให้นักเรียนทำใบงานการคำนวณหาปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับความเค้นดึงและความเครียดดึง

8. ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายสรุปเกี่ยวกับค่ามอดูลัสของยังและคำนวณหาค่ามอดูลัสของยัง

6. สื่อการเรียนรู้

1. หนังสือเรียน วิชาฟิสิกส์ 1
2. ชุดทดลองเพื่อหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะโดยใช้เทคนิคทางแสง
3. ใบงานเรื่อง การคำนวณหาปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับความเค้นดึงและความเครียดดึง

7. แหล่งการเรียนรู้

1. ห้องสมุดโรงเรียน
2. ศูนย์คอมพิวเตอร์ (อินเตอร์เน็ต)

8. กระบวนการวัดผล-ประเมินผล

8.1 การวัดผล-ประเมินผลตามจุดประสงค์การเรียนรู้

สิ่งที่ต้องการวัดผล	วิธีการวัดผล	เครื่องมือวัดผล	เกณฑ์การประเมินผล
1. องค์ความรู้	1. การตรวจใบงาน	แบบประเมินผลตามจุดประสงค์การเรียนรู้	ระดับ ดีมาก ระดับ ดี ระดับ ดีพอใช้ ระดับ พอใช้ ระดับ ปรับปรุง
2. กระบวนการในการทดลอง	2. สังเกตจากพฤติกรรมในการทำการทดลอง	แบบประเมินความสามารถในการทำการทดลอง	

8.2 การวัดผล-ประเมินผลตามพฤติกรรมที่ต้องการเน้น (คุณลักษณะที่พึงประสงค์)

สิ่งที่ต้องการวัดผล	วิธีการวัดผล	เครื่องมือวัดผล	เกณฑ์การประเมินผล
1. ใฝ่เรียนรู้ 2. มุ่งมั่นในการทำงาน 3. มีจิตสาธารณะ	การตรวจใบงาน	ประเมินแบบสอบถามสภาพการเรียนรู้	ระดับ ดีมาก ระดับ ดี ระดับ ปรับปรุง

แบบบันทึกผลหลังการจัดการเรียนรู้

แผนการจัดการเรียนรู้เรื่อง การหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะโดยใช้เทคนิคทางแสง

ผู้สอน นางสาวอุษณีย์ อัยรา

1. ความเหมาะสมของแผนการจัดการเรียนรู้

รายการประเมิน	ระดับคุณภาพ				ข้อเสนอแนะ
	4	3	2	1	
1. จุดประสงค์การเรียนรู้					
2. เนื้อหาสาระ					
3. กิจกรรมการเรียนการสอน					
4. สื่อการสอน					
5. การวัดผลประเมินผล					

(4 = มากที่สุด 3 = มาก 2 = พอใช้ 1 = ควรปรับปรุง)

2. ผลการสอน

……

……

……

3. ปัญหา/อุปสรรค

……

……

……

4. ข้อเสนอแนะ/แนวทางแก้ไข

……

……

……

……

ลงชื่อ……..ผู้สอน

(นางสาวอุษณีย์ อัยรา)

หน้า 10

ความคิดเห็นของผู้บังคับบัญชา

ความเห็นหัวหน้ากลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

……

……

……

……

ลงชื่อ…….…....

(นางชาติรส เลิศรัตนปัญญา)

ความเห็นรองผู้อำนวยการฝ่ายวิชาการ

……

……

……

……

ลงชื่อ…….…....

(นายประดิษฐ์ โกมุติยานนท์)

ความเห็นของผู้บริหารโรงเรียน

……

……

……

……

ลงชื่อ…….…....

(นายอร่าม มากระจัน)

ผู้อำนวยการโรงเรียนสองพี่น้องวิทยา

หน้า 11

ใบความรู้
วิชา ฟิสิกส์ 1 รหัสวิชา ว 30201
เรื่อง การหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะโดยใช้เทคนิคทางแสง

ความเค้น

ความเค้น (Stress) หมายถึง แรงต้านทานภายในเนื้อวัสดุที่มีต่อแรงภายนอกที่มากระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ แต่เนื่องจากความไม่เหมาะสมทางปฏิบัติ และความยากในการวัดหาค่านี้ เราจึงมักจะพูดถึงความเค้นในรูปของแรงภายนอกที่มากระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ด้วยเหตุผลที่ว่า แรงกระทำภายนอกมีความสมดุลกับแรงต้านทานภายใน การหาค่าความเค้นสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้คือ

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

เมื่อ σ คือ ความเค้น (N/m^2)
F คือ แรงภายนอกที่มากระทำ (N)
A คือ พื้นที่ภาคตัดขวางที่แรงกระทำ (m^2)

ความเครียด

ความเครียด (Strain) คือ การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุ (Deformation) เมื่อมีแรงภายนอกมากระทำ (เกิดความเค้น) การเปลี่ยนรูปของวัสดุนี้เป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ภายในเนื้อวัสดุ ซึ่งสามารถแบ่งเป็น 2 ชนิดใหญ่ ๆ คือ

1. การเปลี่ยนรูปแบบอิลาสติกหรือความเครียดแบบคืนรูป (Elastic Deformation or Elastic Strain) เป็นการเปลี่ยนรูปในลักษณะที่เมื่อปลดแรงกระทำ อะตอมซึ่งเคลื่อนไหวเนื่องจากผลของความเค้นจะเคลื่อนกลับเข้าตำแหน่งเดิม ทำให้วัสดุคงรูปร่างเดิมไว้ได้ ตัวอย่างได้แก่ พวกยางยืด สปริง ถ้าเราดึงมันแล้วปล่อยมันจะกลับไปมีขนาดเท่าเดิม

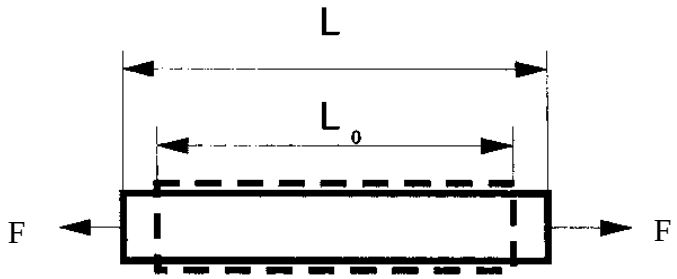
2. การเปลี่ยนรูปแบบพลาสติกหรือความเครียดแบบคงรูป (Plastic Deformation or Plastic Strain) เป็นการเปลี่ยนรูปที่ถึงแม้ว่าจะปลดแรงกระทำนั้นออกแล้ววัสดุก็ยังคงรูปร่างตามที่ถูกเปลี่ยนไปนั้น โดยอะตอมที่เคลื่อนที่ไปแล้วจะไม่กลับไปตำแหน่งเดิม

วัสดุทุกชนิดจะมีพฤติกรรมการเปลี่ยนรูปทั้งสองชนิดนี้ขึ้นอยู่กับแรงที่มากระทำ หรือความเค้นว่ามีมากน้อยเพียงใด หากไม่เกินพิกัดการคืนรูป (Elastic Limit) แล้ววัสดุนั้นก็จะมีพฤติกรรมคืนรูปแบบยืดหยุ่น (Elastic Behavior) แต่ถ้าความเค้นเกินกว่าพิกัดการคืนรูปแล้ววัสดุก็จะเกิดการเปลี่ยนรูปแบบถาวรหรือแบบพลาสติก (Plastic Deformation)

นอกจากความเครียดทั้ง 2 ชนิดนี้แล้ว ยังมีความเครียดอีกประเภทหนึ่งซึ่งพบในวัสดุประเภทโพลีเมอร์ เช่น พลาสติก เรียกว่าความเครียดกึ่งยืดหยุ่นจะมีลักษณะที่เมื่อปราศจากแรงกระทำวัสดุจะมีการคืนรูป แต่จะไม่กลับไปจนมีลักษณะเหมือนเดิม

การวัดและคำนวณหาค่าความเครียด

1. แบบเส้นตรง ความเครียดที่วัดได้จะเรียกว่า ความเครียดเชิงเส้น (Linear Strain) จะใช้ได้เมื่อแรงที่มากระทำมีลักษณะเป็นแรงดึงหรือแรงกด ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ความเครียดเชิงเส้น (Linear Strain)

(http://dc378.4shared.com/doc/-mm62_Z6/preview.html)

ค่าของความเครียดจะเท่ากับความยาวของเส้นวัตถุที่เปลี่ยนไปต่อความยาวเดิม ดังสมการที่ 2

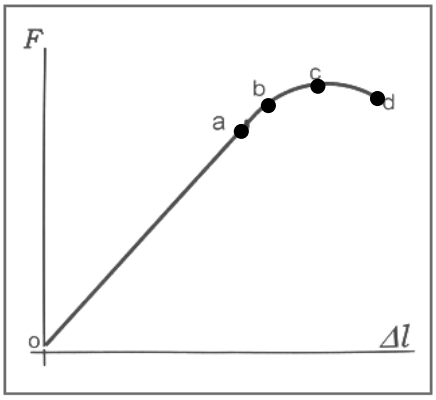
$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_o} \qquad (2)$$

เมื่อ ε คือ ความเครียดเชิงเส้น

ΔL คือ ความยาวที่เปลี่ยนไป (m)

L_o คือ ความยาวเดิมของวัสดุ (m)

เมื่อนำวัตถุบางชนิด เช่น เหล็ก ทองแดง หรือแก้วที่เป็นแท่งหรือเส้นลวดมายึดปลายข้างหนึ่งจากนั้นออกแรงดึงปลายอีกข้างหนึ่ง จะพบว่าความยาวของเส้นลวดวัตถุยืดออกและส่วนที่ยืดออกแปรผันตรงกับขนาดของแรงดึงเมื่อแรงยังอยู่ในขอบเขตหนึ่ง ความจริงข้อนี้เรียกว่า กฎของฮุก (Hooke's Law) เมื่อเพิ่มแรงดึงต่อไปเรื่อย ๆ จะพบว่าความยาวของเส้นวัตถุที่ยืดออกจะไม่แปรผันตรงกับขนาดของแรงดึงอีกต่อไป ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงเส้นโลหะกับความยาวของเส้นโลหะที่เพิ่มขึ้น
(http://www.vcharkarn.com/lesson/view.php?id=1162)

จากภาพที่ 2 จะเห็นว่าในช่วง oa เป็นไปตามกฎของฮุก จุด a ซึ่งเป็นตำแหน่งสุดท้ายที่ความยาวเส้นโลหะยืดออกแปรผันตรงกับขนาดของแรงดึง จุดนี้เรียกว่า ขีดจำกัดการแปรผันตรง (propotional limit) ถ้าออกแรงดึงเส้นโลหะให้ยืดอีกเล็กน้อยจนถึงจุด b เมื่อหยุดออกแรงดึงเส้นโลหะจะกลับไปอยู่ในสภาพเดิมและความยาวสุดท้ายเท่ากับความยาวเริ่มต้น จุดนี้เรียกว่า ขีดจำกัดสภาพยืดหยุ่น (elastic limit)

ส่วนช่วงของกราฟตั้งแต่จุด b เป็นต้นไปเส้นโลหะเริ่มเปลี่ยนรูปไปอย่างถาวร และถ้าออกแรงดึงถึงจุด c จุดนี้เรียกว่า จุดคราก (yield point) ซึ่งเป็นจุดที่ความยาวของเส้นโลหะเพิ่มอย่างรวดเร็ว ขณะที่แรงดึงเพิ่มเล็กน้อย เมื่อออกแรงดึงต่อไป จนเลยจุด d เส้นโลหะจะขาดจุดนี้เรียกว่า จุดแตกหัก (breaking point)

ช่วง ob เรียกว่า การผิดรูปแบบยืดหยุ่น (elastic deformation) และสภาพของวัตถุในช่วง ob เรียกว่า สภาพยืดหยุ่น (elasticity) ซึ่งเป็นสมบัติของวัตถุที่มีการเปลี่ยนรูปร่างเมื่อมีแรงมากระทำและสามารถกลับสู่รูปเดิมเมื่อหยุดออกแรงกระทำ

ช่วง bd เรียกว่า การผิดรูปแบบพลาสติก (plastic deformation) ซึ่งเป็นสมบัติของวัตถุที่เปลี่ยนรูปร่างไปอย่างถาวร โดยวัตถุยังไม่ฉีกขาดหรือแตกหัก

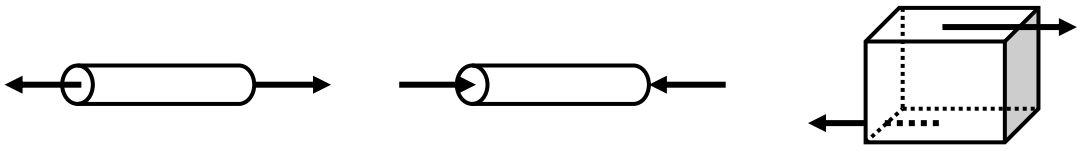
วัตถุส่วนใหญ่มีทั้งสภาพยืดหยุ่นและสภาพพลาสติกในตัวเอง โดยมีสภาพยืดหยุ่นเมื่อมีแรงกระทำมีค่าน้อย และมีสภาพพลาสติกเมื่อแรงกระทำมีค่ามาก วัตถุบางชนิดมีแต่สภาพพลาสติก เช่น ดินน้ำมัน ขนมปัง เป็นต้น

แรงที่กระทำต่อวัตถุแล้วมีผลให้วัตถุผิดรูปไปมี 3 แบบ ได้แก่

1. แรงดึง (tensile forces) เป็นแรงที่กระทำต่อวัตถุ มีผลให้วัตถุมีความยาวเพิ่มขึ้น

2. แรงอัด (forces of compression) เป็นแรงที่กระทำต่อวัตถุ มีผลให้วัตถุมีความยาวลดลง

3. แรงเฉือน (shear forces) เป็นแรงที่กระทำบนผิววัตถุ มีผลให้ผิววัตถุเลื่อนไปหรือทำให้แท่งวัตถุบิดรูปร่างไปจากเดิมตาวแนวยาว แรงกรณีหลังที่ทำให้แท่งวัตถุบิดไป เรียกว่า แรงบิด (forces of torsion) ซึ่งเป็นแรงเฉือนชนิดหนึ่ง



ก. แรงดึง ข. แรงอัด ค. แรงเฉือน

ภาพที่ 3 แสดงแรงที่กระทำต่อวัตถุและผลของแรงทำให้วัตถุผิดรูป

(http://www.vcharkarn.com/lesson/view.php?id=1162)

มอดูลัสของยัง (Young's modulus)

เมื่อมีแรงกระทำต่อวัตถุ เช่น ลวดโลหะชนิดหนึ่ง จะทำให้เกิดความเค้นและความเครียดในลวดโลหะนั้น โดยความเครียดที่เกิดขึ้นจะแปรผันโดยตรงกับความเค้น เมื่อขนาดของแรงดึงไม่เกินขีดจำกัดของการยืดหยุ่น และจะเป็นค่าคงตัวประจำสำหรับวัสดุหนึ่ง ๆ ค่านี้เรียกว่า ค่ามอดูลัสของยัง (Young's modulus) โดยวัตถุที่มีมอดูลัสของยังสูง แสดงว่า วัตถุนั้นทนต่อการเปลี่ยนแปลงความยาวหรือเปลี่ยนความยาวได้น้อยขณะที่มีความเค้นมาก เขียนเป็นความสัมพันธ์ดังสมการได้ดังนี้

$$\text{มอดูลัสของยัง} = \frac{\text{ความเค้น}}{\text{ความเครียด}}$$

$$Y = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

$$Y = \frac{F/A}{\Delta L/L} \qquad (3)$$

นอกจากมอดูลัสของยังแล้ว ยังมีมอดูลัสประเภทอื่น ๆ ได้แก่ มอดูลัสเฉือน (shear modulus) มอดูลัสเชิงปริมาตร (bulk modulus) โดยทั้งมอดูลัสของยัง มอดูลัสเฉือน มอดูลัสเชิงปริมาตร รวมเรียกว่า มอดูลัสสภาพยืดหยุ่น (modulus of elasticity) โดยมอดูลัสสภาพยืดหยุ่นของวัตถุต่างแบบกันจะมีค่าต่างกัน ถึงแม้จะเป็นวัตถุชนิดเดียวกันก็ตาม

ใบงานการทดลอง
วิชา ฟิสิกส์ 1 รหัสวิชา ว 30201
เรื่อง การหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะโดยใช้เทคนิคทางแสง

ชุดทดลองนี้ใช้เพื่อทดลองหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะโดยใช้เทคนิคทางแสงโดยแบ่งเป็น 2 ตอน ดังนี้

1. การหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะที่ทราบค่ามอดูลัสของยังมาตรฐาน ได้แก่ ลวดเหล็ก
2. การหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะที่ไม่ทราบค่ามอดูลัสของยังมาตรฐาน ได้แก่ ลวดทองแดง

หลักการและเหตุผล

ค่ามอดูลัสของยังของวัสดุพวกโลหะเป็นค่าที่บอกความแข็งแกร่งของวัสดุ เมื่อออกแรงกระทำในแนวตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัดของลวดโลหะเรียกว่า ความเค้น ลวดโลหะจะยืดออก อัตราส่วนระหว่างความยาวที่เพิ่มขึ้นกับความยาวเดิมของลวดโลหะเรียกว่า ความเครียด ภายในขีดจำกัดสภาพยืดหยุ่นอัตราส่วนระหว่างความเค้นและความเครียดจะเรียกว่า ค่ามอดูลัสของยังซึ่งในการหาระยะยืดของลวดโลหะเกิดขึ้นน้อยมากสามารถวัดค่าได้ยาก การนำหลักการสะท้อนของแสงมาช่วยทำให้หาระยะยืดของลวดโลหะได้ง่ายขึ้น ดังนั้นในการทดลองหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะโดยใช้เทคนิคทางแสงจะช่วยให้ผู้เรียนได้ค้นพบคำตอบด้วยตนเอง และมีประสบการณ์ตรงในการเรียนรู้ เป็นการสนับสนุนให้ผู้เรียนได้เรียนรู้จากสื่อที่เป็นรูปธรรมนำไปสู่ความเข้าใจในหลักการมากยิ่งขึ้น

วัตถุประสงค์ของการทดลอง

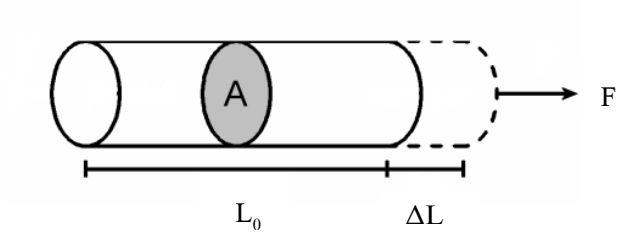
1. นักเรียนสามารถหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะชนิดต่าง ๆ ได้
2. นักเรียนสามารถใช้ชุดทดลองเพื่อหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะโดยใช้เทคนิคทางแสงได้

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. นักเรียนสามารถใช้ชุดทดลองเพื่อหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะโดยใช้เทคนิคทางแสงได้
2. นักเรียนมีความรู้ (K) ทักษะกระบวนการ (P) และคุณลักษณะที่พึงประสงค์ (A)
3. นักเรียนรู้จักคิดแก้ปัญหาและนำความรู้ไปใช้ในชีวิตประจำวัน

ทฤษฎี

วัตถุที่มีสภาพยืดหยุ่นจะเปลี่ยนรูปร่างไปจากเดิมเมื่อมีแรงมากระทำและกลับคืนสู่สภาพเดิมเมื่อแรงที่กระทำลดลงเป็นศูนย์ วัตถุที่เป็นเส้น เช่น เส้นลวดโลหะ จะมีความยาวเพิ่มขึ้นเมื่อมีแรงมาดึงและลดลงเมื่อลดค่าแรงดึง



ภาพที่ 4 แสดงแรงกระทำต่อวัตถุที่เป็นเส้นทำให้วัตถุมีความยาวเพิ่มขึ้น

เมื่อ ΔL คือ ความยาวที่เพิ่มขึ้นของเส้นลวด (m)
L_0 คือ ความยาวเดิมของเส้นลวด (m)
F คือ แรงที่ดึงเส้นลวด (N)
A คือ พื้นที่ภาคตัดขวางของเส้นลวด (m^2)

ถ้าแรงที่ดึงเส้นลวดมีค่าไม่เกินขีดจำกัดของฮุก (Hooke limit) ความยาวของเส้นลวดที่เพิ่มขึ้นต่อหนึ่งหน่วยความยาวเดิมจะมีค่าแปรตามแรงที่ดึงเส้นลวดต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ภาคตัดขวางของเส้นลวด นั่นคือ

$$\Delta L/L_0 \ \alpha \ F/A \qquad (1)$$

ปริมาณ $\Delta L/L_0$ เรียกว่า ความเครียดดึง (tensile strain) ส่วน F/A เรียกว่า ความเค้นดึง (tensile stress) นั่นคือ สำหรับวัตถุที่เป็นเส้น อัตราส่วนของความเค้นดึงต่อความเครียดดึงมีค่าคงที่ ค่านี้เรียกว่ามอดูลัสของยัง (Young's modulus) แทนด้วยสัญลักษณ์ Y ซึ่งเขียนได้เป็น

$$Y = \frac{F/A}{\Delta L/L_0}$$

$$Y = \frac{FL_0}{A(\Delta L)} \tag{2}$$

กรณีของเส้นลวดยาว L_0 มีเส้นผ่านศูนย์กลาง D และมีความยาวเพิ่มขึ้น ΔL เมื่อถูกดึงด้วยแรงที่เกิดจากน้ำหนักของมวล m จะได้สมการที่ (2) เป็น

$$Y = \frac{mgL_0}{\pi(\frac{D}{2})^2(\Delta L)}$$

$$Y = \frac{4mgL_0}{\pi D^2(\Delta L)} \tag{3}$$

เมื่อเพิ่มแรงที่ดึงเส้นลวดที่เกิดจากน้ำหนักของมวล m จะทำให้ความยาวของเส้นลวดเพิ่มขึ้น ΔL และความยาวส่วนที่เพิ่มขึ้นแปรผันตรงกับขนาดของแรงดึงเมื่อแรงยังอยู่ในขอบเขตหนึ่ง ตามจริงข้อนี้เรียกว่า กฎของฮุก(Hooke's Law)

ดังนั้น เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่ดึงเส้นลวดที่เกิดจากน้ำหนักของมวล m กับความยาวของเส้นลวดที่เพิ่มขึ้น ΔL มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงโดยมีความยาวเส้นลวด L_0 และเส้นผ่านศูนย์กลางของลวด D คงที่ ให้แกนนอนคือขนาดของมวล m ที่เพิ่มขึ้น แกนตั้งคือความยาวของเส้นลวดที่เพิ่มขึ้นเมื่อถูกแรงกระทำ จะได้ว่า

$$\text{slope} = \frac{\Delta L}{m} \tag{4}$$

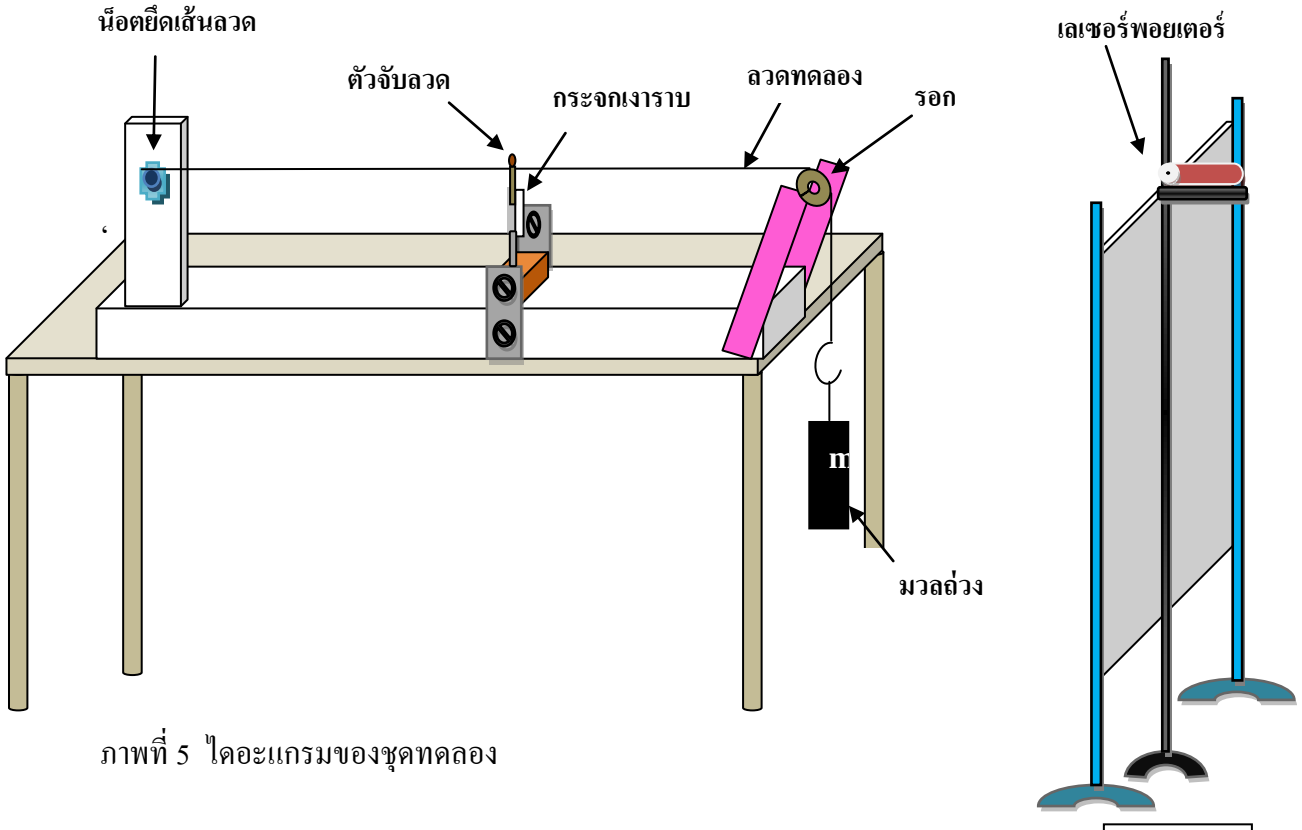
ดังนั้นจากสมการที่ (3) สามารถหาค่ามอดูลัสของยังได้ด้วยสมการที่ 5 และหาค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนของชุดทดลอง (%Error) ดังสมการที่ (6)

$$Y=\frac{4gL_0}{\pi D^2(slope)} \tag{5}$$

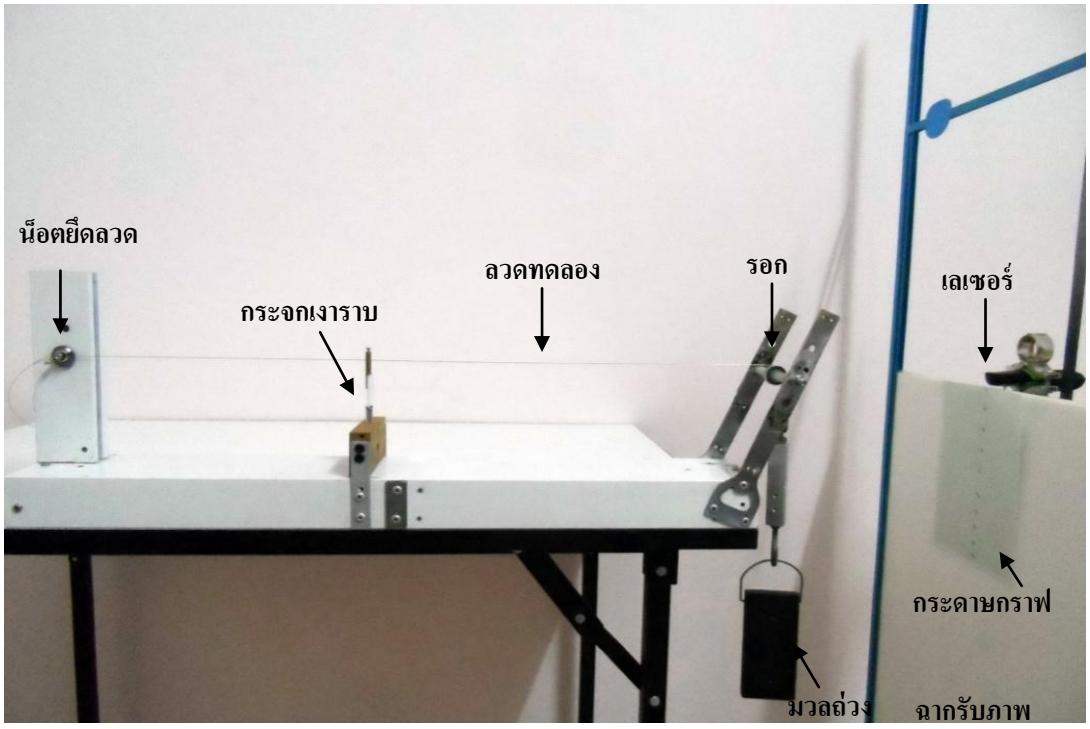
$$\text{ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อน} = \frac{|\text{ค่าจากการทดลอง} - \text{ค่ามาตรฐาน}|}{\text{ค่ามาตรฐาน}} \times 100\% \tag{6}$$

ในการหาความยาวของเส้นลวดที่เพิ่มขึ้น ΔL จะใช้การประยุกต์นำหลักการทางแสงมาช่วย นั่นคือการสะท้อนของแสงผ่านกระจกเงาราบ จากนั้นหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะความยาวของเส้นลวดที่เพิ่มขึ้นกับระยะที่ปรากฏจุดของแสงเลเซอร์บนฉากรับภาพ

ในการพัฒนาชุดทดลองเพื่อหาค่ามอดูลัสของยังของโลหะ โดยใช้เทคนิคทางแสง ไดอะแกรมของชุดทดลองที่สร้างขึ้น เป็นดังภาพที่ 5 อุปกรณ์ประกอบด้วย แหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ พอยเตอร์ กระจกเงาราบ รอก น็อตยึดลวด ลวดโลหะทดลอง ฉากรับภาพ กระดาษกราฟ ตัวจับลวด และมวลถ่วง



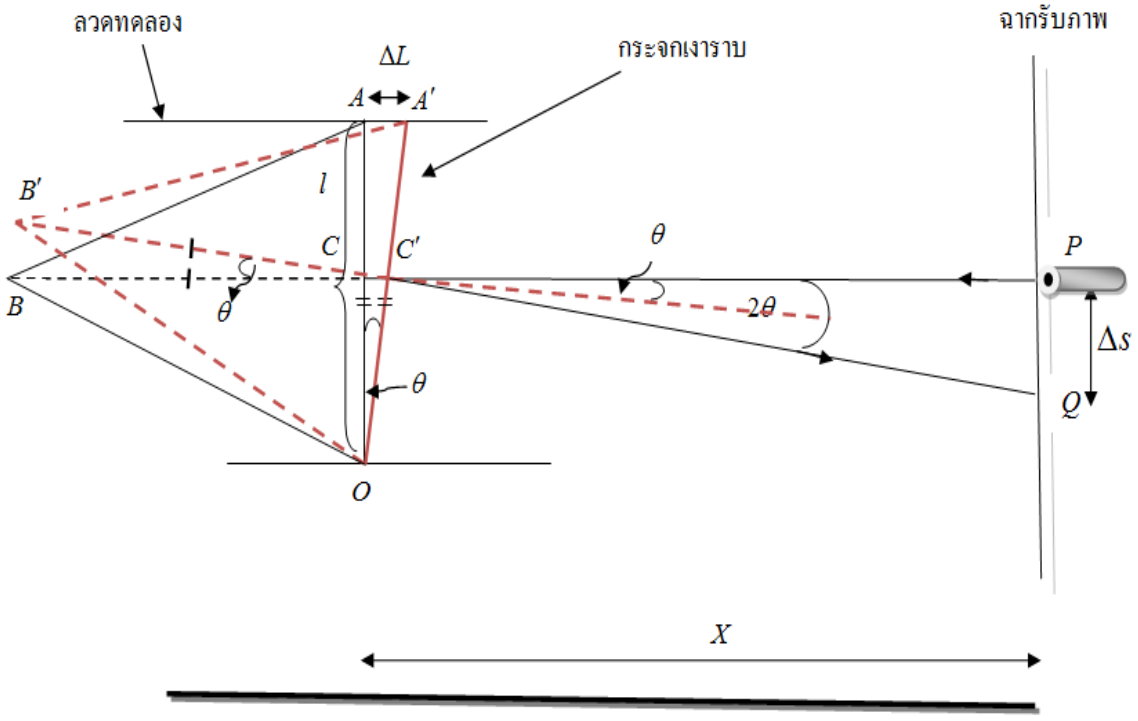
ภาพที่ 5 ไดอะแกรมของชุดทดลอง



ภาพที่ 6 ภาพชุดทดลอง

การคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะความยาวของเส้นลวดที่เพิ่มขึ้นกับระยะที่ปรากฏจุดของแสงเลเซอร์บนฉากรับภาพตามหลักทางคณิตศาสตร์หาได้ดังนี้

เมื่อเริ่มต้นลวดทดลองมีความยาว L_0 ถูกแรงภายนอกกระทำในแนวตั้งฉากกับพื้นที่ภาคตัดขวาง ซึ่งก็คือแรงเนื่องจากน้ำหนักเมื่อเพิ่มมวลถ่วง เริ่มต้นใส่มวลปรับลวดทดลองให้ตึง นำลวดทดลองยึดกับตัวยึดกระจกที่ติดด้านหลังกระจกเงาราบ ติดตั้งกระจกเงาราบอยู่ห่าง จากฉากเป็นระยะ X ให้แสงเลเซอร์ตกกระทบกระจกเงาราบ และสะท้อนไปที่ฉากที่จุด P เมื่อเพิ่มมวลถ่วงในห่วงโลหะ ทำให้ลวดทดลองเกิดขยายตัวมีระยะยืดออกจากเดิมเป็น ΔL ทำให้กระจกเงาราบเบนเป็นมุม θ แสงสะท้อนจากกระจกเงาราบบนฉากเบนจากแนวเดิมเป็นระยะ Δs ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 การหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะยืดของลวดกับระยะปรากฏจุดเลเซอร์บนฉากรับภาพ

จากภาพที่ 7

กำหนดให้ $l=OA=OA'$ คือ ระยะจากจุดหมุนของกระจกมายังเส้นลวดโลหะ

จุด C,C' คือ จุดที่เลเซอร์ตกกระทบบนกระจกเงาราบ

พิจารณา ΔBCO และ $\Delta B'C'O$

1. $CO = C'O$
2. $B\hat{C}O = B'\hat{C}'O = 90°$ (เส้นปกติ (Normal) เป็นเส้นตรงที่ลากตั้งฉากกับผิวระนาบกระจก)
3. $BC = B'C'$ (กำหนด)

จะได้ $\Delta BCO \cong \Delta B'C'O$ (ความสัมพันธ์สามเหลี่ยมคล้ายแบบด้าน-มุม-ด้าน)

ดังนั้น $BC'B' = COC' = \theta$

จากนิยาม $\theta = \frac{\text{ระยะทางตามส่วนโค้ง}}{\text{ความยาวรัศมีของวงกลม}}$

พิจารณา $\Delta COC'$ และ $\Delta AOA'$

1. $A\hat{O}A' = C\hat{O}C'$ (มุมร่วมของสามเหลี่ยม)
2. $O\hat{C}C' = O\hat{A}A'$
3. $O\hat{C}'C = O\hat{A}'A$

จะได้ $\Delta COC' \cong \Delta AOA'$ (ความสัมพันธ์สามเหลี่ยมคล้าย)

ดังนั้น $\frac{OC}{OA} = \frac{OC'}{OA'} = \frac{CC'}{AA'}$

ให้ระยะ $AA' = \Delta L$ และ $OA = l$

จะได้ $\theta = \frac{CC'}{OC} = \frac{AA'}{OA} = \frac{\Delta L}{l}$ (7)

จาก $BC'B' = COC' = \theta$

$BC'B' = \frac{P\hat{C}'Q}{2} = \theta$ (เส้นตรง 2 เส้นตัดกันมุมตรงข้ามมีขนาดเท่ากัน)

พิจารณา $\Delta P\hat{C}'Q = 2\theta$

$\tan 2\theta = \frac{\Delta s}{X}$; $\tan 2\theta \approx 2\theta$

$2\theta = \frac{\Delta s}{X}$

$\theta = \frac{\Delta s}{2X}$ (8)

นำสมการที่ (7) = สมการที่ (8) จะได้

$\frac{\Delta L}{l} = \frac{\Delta s}{2X}$

$\Delta L = \frac{\Delta s \times l}{2X}$ (9)

จากนั้นนำ ΔL ที่ได้ไปแทนค่าหา $\text{slope} = \frac{\Delta L}{m}$ และหาค่ามอดูลัสของยังในสมการที่ (4)

อุปกรณ์ในการทดลอง

1. ชุดทดลองหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะโดยใช้เทคนิคทางแสง
2. ลวดโลหะชนิดต่าง ๆ เช่น ลวดเหล็ก และลวดทองแดง
3. อุปกรณ์ประกอบชุดทดลอง ได้แก่ ไม้เมตร เครื่องวัดระดับน้ำ
4. เครื่องคิดเลขแบบดิจิตอลวิทยาศาสตร์

วิธีการทดลอง

<u>ตอนที่ 1</u> หาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะที่ทราบค่ามอดูลัสของยังมาตรฐาน ได้แก่ ลวดเหล็ก (ค่ามอดูลัสของยังของลวดเหล็กเท่ากับ $Y = 2.10 \times 10^{11}\ N/m^2$)

1. วัดความยาวลวดเหล็กเริ่มต้น 0.66 m จากน็อตยึดปลายข้างหนึ่งถึงจุดยึดปลายห่วงโลหะอีกข้างหนึ่ง บันทึกค่าเป็น L_0

2. วัดเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดเหล็กที่ตำแหน่งต่าง ๆ 3 ครั้ง บันทึกเป็น D แล้วหาค่าเฉลี่ย

3. จัดชุดทดลองตามภาพที่ 6 โดยใส่ลวดเหล็กกับตัวยึดกระจก นำปลายข้างหนึ่งของลวดยึดกับน็อต ส่วนปลายอีกข้างคล้องผ่านรอกและยึดกับห่วงโลหะ (สำหรับใส่มวลถ่วง)

4. ใส่มวลถ่วง 3.5 kg เพื่อปรับลวดเหล็กให้ตึง

5. ปรับกระจกเงาราบให้ตั้งฉากกับแนวระดับและหมุนตัวยึดกระจกกับเส้นลวดให้แน่น วัดระยะห่างระหว่างจุดหมุนของกระจกเงาราบกับลวดเหล็ก 3 ครั้ง บันทึกค่าเป็น l แล้วหาค่าเฉลี่ย

6. วัดระยะห่างระหว่างกระจกเงาราบถึงฉากรับภาพ ที่ระยะ 2.0 m

7. ติดตั้งแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์พอยเตอร์หลังฉากรับภาพ เปิดสวิตซ์ปรับให้แสงเลเซอร์อยู่แนวเดียวกับกระจกเงาราบและสะท้อนไปที่ตำแหน่งฉากรับภาพ

8. ติดกระดาษกราฟบนฉากรับภาพ และบันทึกตำแหน่งที่แสงสะท้อนมายังฉากรับภาพเป็นค่าก่อนใส่มวลถ่วง

9. เพิ่มค่ามวลถ่วงครั้งละ 0.5 kg จนถึง 3.5 kg พร้อมกับขีดเส้นใต้แสงเลเซอร์บนฉากทุก ๆ ค่าที่เพิ่มมวลถ่วง

10. ปฏิบัติเช่นเดียวกับข้อ 9 แต่เปลี่ยนจากการเพิ่มมวลถ่วงเป็นการลดมวลถ่วงครั้งละ 0.5 kg พร้อมกับขีดเส้นใต้แสงเลเซอร์บนฉากทุก ๆ ค่าที่ลดมวลถ่วง

11. นำกระดาษกราฟมาวัดตำแหน่งจุดเลเซอร์ (ระยะ Δs) โดยวัดระยะห่างของเส้นที่ขีดเส้นแรกกับเส้นต่อ ๆ ไป นำระยะที่ได้จากการเพิ่มและลดมวลถ่วง หาค่าเฉลี่ยและบันทึกผลลงในตาราง

12. นำข้อมูลที่ได้ไปหาความยาวที่เพิ่มขึ้น ΔL ของเส้นลวดในการลดและเพิ่มมวลถ่วงแต่ละค่า

13. นำค่าที่ได้จากการทดลองมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะยืดของลวดโลหะกับมวลถ่วง โดยให้แกนตั้งเป็นระยะยืดของลวดโลหะและแกนนอนเป็นมวลถ่วง

14. หาค่าความชันของกราฟ (อาจใช้ความชันของกราฟจากสมการที่ได้จากกราฟในโปรแกรม Microsoft Excel ตามรูปของสมการเชิงเส้น $y = mx + c$) แล้วคำนวณหาค่ามอดูลัสของยังจากสมการที่ (5)

15. เปรียบเทียบค่ามอดูลัสของยังของลวดเหล็กที่ได้จากการทดลองกับค่ามาตรฐานแล้วหาร้อยละความคลาดเคลื่อนของการทดลองจากสมการที่ (6)

หมายเหตุ ค่ามอดูลัสของยังของลวดเหล็กเท่ากับ 2.10×10^{11} N/m^2 (Farag, 2008)

ตอนที่ 2 หาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะที่ไม่ทราบค่ามอดูลัสของยังมาตรฐาน ได้แก่ ลวดทองแดง

1. วัดความยาวลวดทองแดงเริ่มต้น 0.66 m จากน็อตยึดปลายข้างหนึ่งถึงจุดยึดปลายห่วงโลหะอีกข้างหนึ่ง บันทึกค่าเป็น L_0

2. วัดเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดทองแดงที่ตำแหน่งต่าง ๆ 3 ครั้ง บันทึกเป็น D แล้วหาค่าเฉลี่ย

3. จัดชุดทดลองตามภาพที่ 6 โดยใส่ลวดทองแดงกับตัวยึดกระจก นำปลายข้างหนึ่งของลวดยึดกับน็อต ส่วนปลายอีกข้างคล้องผ่านรอกและยึดกับห่วงโลหะ (สำหรับใส่มวลถ่วง)

4. ใส่มวลถ่วง 3.5 kg เพื่อปรับลวดทองแดงให้ตึง

5. ปรับกระจกเงาราบให้ตั้งฉากกับแนวระดับและหมุนตัวยึดกระจกกับเส้นลวดให้แน่น วัดระยะห่างระหว่างจุดหมุนของกระจกเงาราบกับลวดเหล็ก 3 ครั้ง บันทึกค่าเป็น l แล้วหาค่าเฉลี่ย

6. วัดระยะห่างระหว่างกระจกเงาราบกับฉากรับภาพ ที่ระยะ 2.0 m

7. ติดตั้งแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์พอยเตอร์หลังฉากรับภาพ เปิดสวิตซ์ปรับให้แสงเลเซอร์อยู่แนวเดียวกับกระจกเงาราบและสะท้อนไปที่ตำแหน่งฉากรับภาพ

8. ติดกระดาษกราฟบนฉากรับภาพและบันทึกตำแหน่งที่แสงสะท้อนมายังฉากรับภาพเป็นค่าก่อนใส่มวลถ่วง

9. เพิ่มค่ามวลถ่วงครั้งละ 0.5 kg จนถึง 6.5 kg พร้อมกับขีดเส้นใต้แสงเลเซอร์บนฉากทุก ๆ ค่าที่เพิ่มมวลถ่วง

10. ปฏิบัติเช่นเดียวกับข้อ 9 แต่เปลี่ยนจากการเพิ่มมวลถ่วงเป็นการลดมวลถ่วงครั้งละ 0.5 kg พร้อมกับขีดเส้นใต้แสงเลเซอร์บนฉากทุก ๆ ค่าที่ลดมวลถ่วง

11. นำกระดาษกราฟมาวัดตำแหน่งจุดเลเซอร์ (ระยะ Δs) โดยวัดระยะห่างของเส้นที่ขีดเส้นแรกกับเส้นต่อ ๆ ไป นำระยะที่ได้จากการเพิ่มและลดมวลถ่วง หาค่าเฉลี่ยและบันทึกผลลงในตาราง

12. นำข้อมูลที่ได้ไปหาความยาวที่เพิ่มขึ้น ΔL ของเส้นลวดในการลดและเพิ่มมวลถ่วงแต่ละค่า

13. นำค่าที่ได้จากการทดลองมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะยืดของลวดโลหะกับมวลถ่วง โดยให้แกนตั้งเป็นระยะยืดของลวดโลหะและแกนนอนเป็นมวลถ่วง

14. หาค่าความชันของกราฟ (อาจใช้ความชันของกราฟจากสมการที่ได้จากกราฟในโปรแกรม Microsoft Excel ตามรูปของสมการเชิงเส้น $y = mx + c$) แล้วคำนวณหาค่ามอดูลัสของยังจากสมการที่ (5)

15. ตอบคำถามท้ายการทดลอง สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

การบันทึกผลการทดลองและการจัดกระทำข้อมูลจากการทดลอง

ชื่อผู้ทดลอง.....ระดับชั้น.....เลขที่.....
ชื่อผู้ร่วมทดลอง.....ระดับชั้น.....เลขที่.....
ชื่อผู้ร่วมทดลอง.....ระดับชั้น.....เลขที่.....
ชื่อผู้ร่วมทดลอง.....ระดับชั้น.....เลขที่.....
ชื่อผู้ร่วมทดลอง.....ระดับชั้น.....เลขที่.....

วัตถุประสงค์ของการทดลอง

1. นักเรียนสามารถหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะชนิดต่าง ๆ ได้
2. นักเรียนสามารถใช้ชุดทดลองเพื่อหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะโดยใช้เทคนิคทางแสงได้

คำถามก่อนการทดลอง

ความเค้นดึงและความเครียดดึงที่ได้ศึกษามาแล้วมีความสัมพันธ์กันหรือไม่อย่างไร

ตอบ……
……

ตอนที่ 1 หาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะที่ทราบค่ามอดูลัสของยังมาตรฐาน ได้แก่ ลวดเหล็ก

1.1 หาความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดเหล็ก

	ครั้งที่ 1 (m)	ครั้งที่ 2 (m)	ครั้งที่ 3 (m)	เฉลี่ย (m)
ความยาวของลวดเหล็ก (L_0)				
เส้นผ่านศูนย์กลางของลวดเหล็ก (D)				

ระยะระหว่างกระจกเงาราบถึงฉากรับภาพ (X) =……..m
ระยะระหว่างจุดหมุนของกระจกเงาราบถึงลวดเหล็ก (l) =……..m

1.2 หาระยะยืดของลวดเหล็กเมื่อใส่มวลถ่วง

มวลถ่วง (kg)	ระยะปรากฏตำแหน่งของแสงเลเซอร์บนฉาก (s)			$\Delta L = \frac{(\Delta s)l}{2X}$
	เพิ่มมวล (cm)	ลดมวล (cm)	เฉลี่ย (cm)	
0				
0.5				
1.0				
1.5				
2.0				
2.5				
3.0				

1.2.1 เขียนกราฟระหว่างระยะยืดของลวดเหล็ก (ΔL) กับมวลถ่วง (m)

ค่าความชันของกราฟ = ……

1.2.2 แสดงวิธีคำนวณหาค่ามอดูลัสของยังของลวดเหล็ก

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

1.2.3 คำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (% Error)

ค่ามาตรฐานของมอดูลัสของยังของลวดเหล็กเท่ากับ 2.10×10^{11} N/m^2 (Farag, 2008)

$$\text{ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อน} = \frac{\left|\text{ค่าที่ได้จากการทดลอง} - \text{ค่ามาตรฐาน}\right| \times 100\%}{\text{ค่ามาตรฐาน}}$$

การทดลองครั้งนี้มีความคลาดเคลื่อนร้อยละ.....

<u>ตอนที่ 2</u> หาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะที่ไม่ทราบค่ามอดูลัสของยังมาตรฐาน ได้แก่ ลวดทองแดง

2.1 หาความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดทองแดง

	ครั้งที่ 1 (m)	ครั้งที่ 2 (m)	ครั้งที่ 3 (m)	เฉลี่ย (m)
ความยาวของลวดทองแดง (L_0)				
เส้นผ่านศูนย์กลางของลวดทองแดง (D)				

ระยะระหว่างกระจกเงาราบถึงฉาก (X) =……..m

ระยะระหว่างจุดหมุนของกระจกถึงลวดทองแดง (l) =……..m

2.2 หาระยะยืดของลวดทองแดงเมื่อใส่มวลถ่วง

มวลถ่วง (kg)	ระยะปรากฏตำแหน่งของแสงเลเซอร์บนฉาก (s)			$\Delta L = \frac{(\Delta s)l}{2X}$
	เพิ่มมวล (cm)	ลดมวล (cm)	เฉลี่ย (cm)	
0				
0.5				
1.0				
1.5				
2.0				
2.5				
3.0				

2.2.1 เขียนกราฟระหว่างระยะยืดของลวดทองแดง (ΔL) กับมวล (m)

ค่าความชันของกราฟ = ……

2.2.2 แสดงวิธีคำนวณหาค่ามอดูลัสของยังของลวดทองแดง

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

คำถามระหว่างการทดลอง

วัสดุแต่ละชนิดมีอัตราส่วนความเค้นดึงและความเครียดดึงแตกต่างกันหรือไม่อย่างไร

ตอบ……

……

……

คำถามท้ายการทดลอง

การใช้ชุดทดลองทดสอบหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะ มีความคลาดเคลื่อนมากน้อยเพียงใด มีสาเหตุจากอะไรบ้าง

<u>ตอบ</u>……..

……

……...……

อภิปรายผลการทดลอง

……..…...…

……

……...……

……...……

……

……...……

…….

……

สรุปผลการทดลอง

……..……...……

……

……...……

……..……

……

……...……

…….

……

…….

……

ข้อเสนอแนะจากการทดลอง

……..……

……

……...……

……..……

……

……...……

…….

……

…….

……

ตัวอย่างการบันทึกผลการทดลองและการจัดกระทำข้อมูลจากการทดลอง

<u>ตอนที่ 1</u> หาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะที่ทราบค่ามอดูลัสของยังมาตรฐาน ได้แก่ ลวดเหล็ก

1.1 หาความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดเหล็ก

	ครั้งที่ 1 (m)	ครั้งที่ 2 (m)	ครั้งที่ 3 (m)	เฉลี่ย (m)
ความยาวของลวดเหล็ก (L_0)	0.66	0.66	0.66	0.66
เส้นผ่านศูนย์กลางของลวดเหล็ก (D)	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004

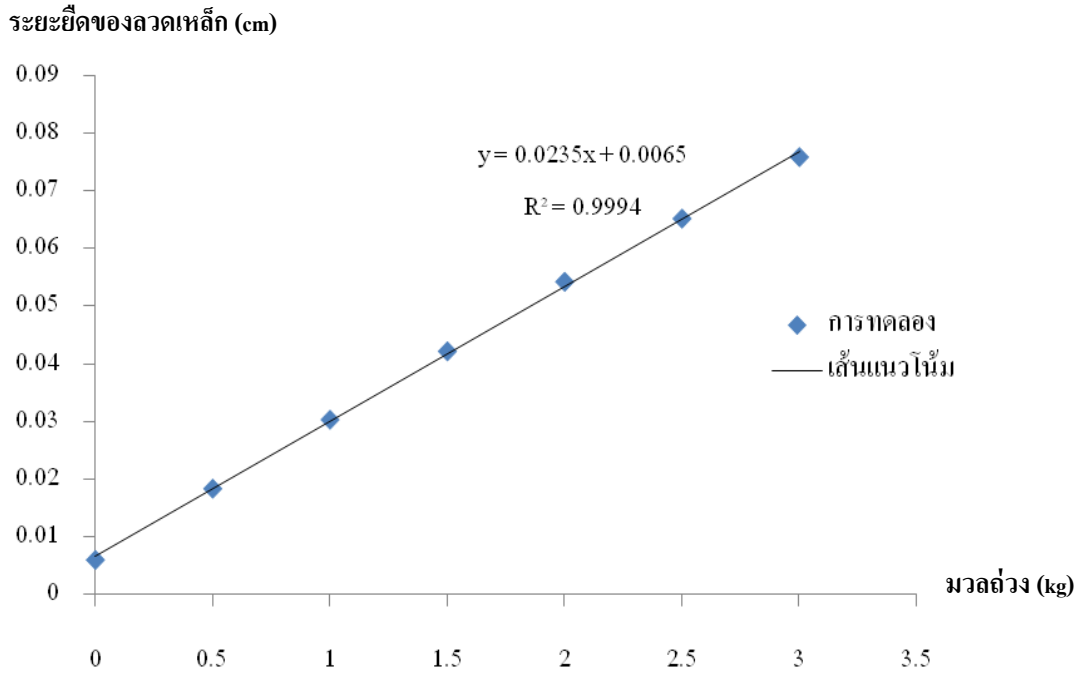
ระยะระหว่างกระจกเงาราบถึงฉากรับภาพ (X) =……2.0..……..m

ระยะระหว่างจุดหมุนของกระจกเงาราบถึงลวดเหล็ก (l) =……0.044……..m

1.2 หาระยะยืดของลวดเหล็กเมื่อใส่มวลถ่วง

มวล (kg)	ระยะปรากฏตำแหน่งของแสงเลเซอร์บนฉาก (s)			$\Delta L = \frac{(\Delta s)l}{2X}$
	เพิ่มมวล (cm)	ลดมวล (cm)	เฉลี่ย (cm)	
0	0	1.05	0.52	0.0058
0.5	1.20	2.10	1.65	0.0182
1.0	2.35	3.15	2.75	0.0302
1.5	3.50	4.15	3.82	0.0421
2.0	4.70	5.15	4.92	0.0542
2.5	5.80	6.05	5.92	0.0652
3.0	6.90	6.90	6.90	0.0759

1.2.1 เขียนกราฟระหว่างระยะยืดของลวดเหล็กกับมวลถ่วง



ค่าความชันของกราฟ $= 2.35\times10^{-4}$ cm/kg

1.2.2 แสดงวิธีคำนวณหาค่ามอดูลัสของยังของลวดเหล็ก

$$Y=\frac{4gL_0}{\pi D^2(\text{slope})}$$

$$Y=\frac{4\times9.8\times0.66}{3.14\times(0.0004)^2\times(2.35\times10^{-4})}$$

$$Y=2.19\times10^{11}\ \text{N/m}^2$$

1.2.3 คำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (% Error)

ค่ามาตรฐานของมอดูลัสของยังของลวดเหล็กเท่ากับ 2.10×10^{11} N/m^2 (Farag, 2008)

$$\text{ร้อยละความคลาดเคลื่อน} = \frac{\left|\text{ค่าที่ได้จากการทดลอง - ค่ามาตรฐาน}\right|}{\text{ค่ามาตรฐาน}} \times 100\%$$

$$\text{ร้อยละความคลาดเคลื่อน} = \frac{\left|2.19 \times 10^{11} - 2.10 \times 10^{11}\right|}{2.10 \times 10^{11}} \times 100\%$$

การทดลองครั้งนี้มีความคลาดเคลื่อนร้อยละ 4.28

<u>ตอนที่ 2</u> หาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะที่ไม่ทราบค่ามอดูลัสของยังมาตรฐาน ได้แก่ ลวดทองแดง

2.1 หาความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดทองแดง

	ครั้งที่ 1 (m)	ครั้งที่ 2 (m)	ครั้งที่ 3 (m)	เฉลี่ย (m)
ความยาวของลวดทองแดง (L_0)	0.66	0.66	0.66	0.66
เส้นผ่านศูนย์กลางของลวดทองแดง (D)	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005

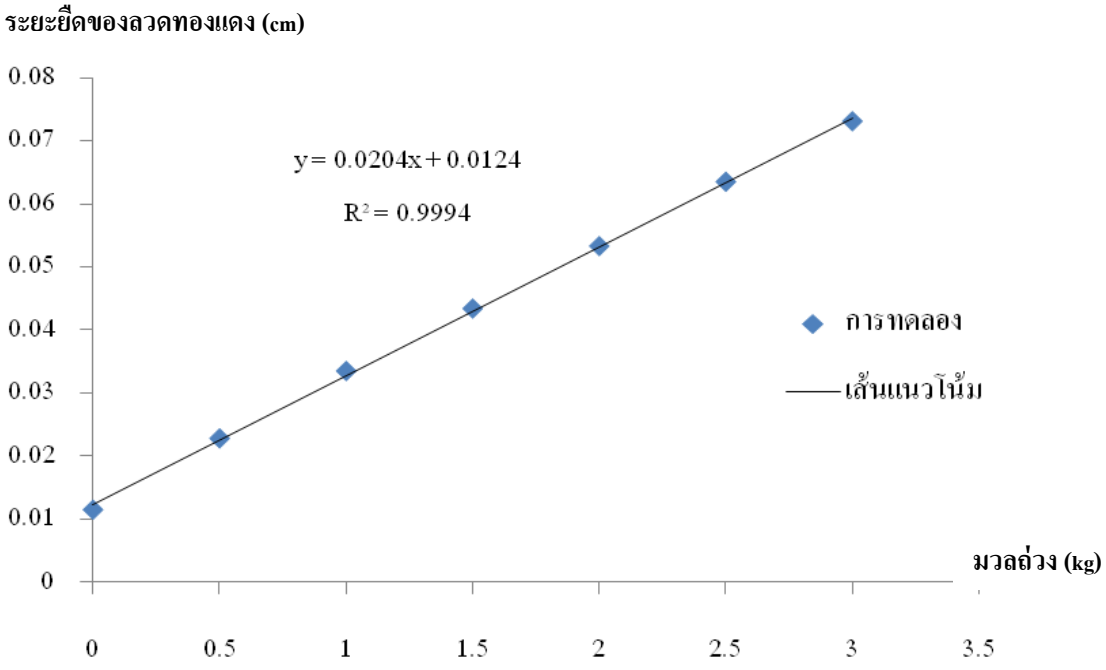
ระยะห่างระหว่างกระจกเงาราบถึงฉาก (X) =……..…2.00……..m

ระยะห่างระหว่างจุดหมุนของกระจกเงาราบถึงลวดทองแดง (l) =……..…0.044……..m

2.2 หาความยาวที่เพิ่มขึ้นของลวดทองแดงเมื่อใส่มวลถ่วง

มวล (kg)	ระยะปรากฏตำแหน่งของแสงเลเซอร์บนฉาก (s)			$\Delta L = \frac{(\Delta s)l}{2X}$
	เพิ่มมวล (cm)	ลดมวล (cm)	เฉลี่ย (cm)	
0	0	2.10	1.05	0.0115
0.5	1.25	2.90	2.07	0.0228
1.0	2.30	3.80	3.05	0.0335
1.5	3.30	4.60	3.95	0.0434
2.0	4.40	5.30	4.85	0.0533
2.5	5.50	6.05	5.77	0.0635
3.0	6.65	6.65	6.65	0.0731

2.2.1 เขียนกราฟระหว่างระยะยืดของลวดทองแดงกับมวลถ่วง



ค่าความชันของกราฟ $= 2.04 \times 10^{-4}$ cm/kg

2.2.2 แสดงวิธีคำนวณหาค่ามอดูลัสของยังของลวดทองแดง

$$Y=\frac{4gL_0}{\pi D^2(slope)}$$

$$Y=\frac{4\times 9.8\times 0.66}{3.14\times(0.0005)^2\times(2.04\times 10^{-4})}$$

$$Y=1.61\times 10^{11}\ N/m^2$$

ตัวอย่างการอภิปรายผลการทดลอง

<u>คำถามก่อนการทดลอง</u>

ความเค้นดึงและความเครียดดึงที่ได้ศึกษามาแล้วมีความสัมพันธ์กันหรือไม่อย่างไร

<u>ตอบ</u> มีความสัมพันธ์กัน ในลักษณะความเครียดดึงแปรผันตรงกับความเค้นดึง

<u>คำถามระหว่างการทดลอง</u>

วัสดุแต่ละชนิดมีอัตราส่วนความเค้นดึงและความเครียดดึงแตกต่างกันหรือไม่อย่างไร

<u>ตอบ</u> แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุนั้น ๆ

<u>คำถามท้ายการทดลอง</u>

การใช้ชุดทดลองทดสอบหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะ มีความคลาดเคลื่อนมากน้อยเพียงใด มีสาเหตุจากอะไรบ้าง

<u>ตอบ</u> นักเรียนวิจารณ์

อภิปรายผลการทดลอง

ผลการทดลองหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะที่ทราบค่ามอดูลัสของยังมาตรฐาน ได้แก่ ลวดเหล็ก ได้ค่ามอดูลัสของยังเท่ากับ 2.19×10^{11} N/m^2 มีความคลาดเคลื่อนร้อยละ 4.28 พบว่าชุดทดลองสามารถใช้ทดลองหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะได้ อย่างไรก็ดีค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะที่ได้จากชุดทดลองนี้อาจมีความคลาดเคลื่อนบ้าง เมื่อนำชุดทดลองนี้ไปใช้ทดลองหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะที่ไม่ทราบค่ามอดูลัสของยังมาตรฐานได้แก่ ลวดทองแดง ได้ค่ามอดูลัสของยังเท่ากับ 1.61×10^{11} N/m^2

สรุปผลการทดลอง

การทดลองหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะที่ทราบค่ามอดูลัสของยังมาตรฐานได้แก่ ลวดเหล็ก ได้ค่ามอดูลัสของยังเท่ากับ 2.19×10^{11} N/m^2 มีความคลาดเคลื่อนร้อยละ 4.28 สำหรับลวดโลหะที่ไม่ทราบค่ามอดูลัสของยังมาตรฐานได้แก่ ลวดทองแดง ได้ค่ามอดูลัสของยังเท่ากับ 1.61×10^{11} N/m^2

ข้อเสนอแนะจากการทดลอง

……

……

……

……

……

……

……

ภาคผนวก ง

คู่มือปฏิบัติการ

คู่มือการใช้ชุดทดลองและปฏิบัติการ

เพื่อหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะโดยใช้เทคนิคทางแสง

สำหรับนักเรียน

รายวิชา ฟิสิกส์ 1

รหัสวิชา ว 30201

โรงเรียนสองพี่น้องวิทยา อำเภอสองพี่น้อง จังหวัดสุพรรณบุรี

สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษาเขต 9

คำนำ

คู่มือการใช้ชุดทดลองและปฏิบัติการเพื่อหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะโดยใช้เทคนิคทางแสง ใช้สำหรับประกอบการเรียนในรายวิชาฟิสิกส์ 1 ว 30201 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 เพื่อให้ง่ายต่อการใช้งาน ผู้จัดทำจึงได้เรียบเรียงคู่มือชุดนี้ขึ้น ประกอบด้วย ใบความรู้และใบงานการทดลอง สำหรับนักเรียนสามารถนำไปใช้ในการเรียนปฏิบัติการ

ผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่าคู่มือชุดนี้จะเป็นประโยชน์ในการเรียนการสอนในเรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดี

นางสาวอุษณีย์ อัยรา
ผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
ข้อแนะนำในการใช้คู่มือปฏิบัติการสำหรับนักเรียน	1
ใบความรู้	2
ใบงานการทดลอง	
1. หลักการและเหตุผล	7
2. วัตถุประสงค์ของการทดลอง	7
3. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการทดลอง	8
4. เนื้อหาและทฤษฎี	8
5. อุปกรณ์การทดลอง	13
6. วิธีการทดลอง	14
7. การบันทึกผลและจัดกระทำข้อมูลจากการทดลอง	17
8. อภิปรายผลการทดลอง	21
9. สรุปผลการทดลอง	21

ข้อแนะนำการใช้คู่มือปฏิบัติการสำหรับนักเรียน

คู่มือปฏิบัติการสำหรับนักเรียนประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. ใบความรู้
2. ใบงานการทดลอง

สื่อการจัดการเรียนรู้ประกอบด้วย

1. คู่มือปฏิบัติการ
2. ชุดทดลองเพื่อหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะโดยใช้เทคนิคทางแสง

กระบวนการจัดการเรียนรู้

1. การบรรยายและการอภิปราย
2. การสาธิต
3. การทดลอง

การดำเนินการจัดการเรียนรู้

1. นักเรียนต้องมีความสนใจในเนื้อหาที่ครูผู้สอนบรรยายและสาธิตการใช้ชุดทดลอง
2. นักเรียนต้องปฏิบัติตามระเบียบของห้องปฏิบัติการโรงเรียนอย่างเคร่งครัด
3. นักเรียนต้องใช้ชุดทดลองอย่างระมัดระวังและคำนึงถึงความปลอดภัยของตนเองและผู้อื่น
4. นักเรียนต้องเขียนรายงานการทดลองส่งครูผู้สอนภายใน 1 สัปดาห์หลังจากที่ทำการทดลอง

ใบความรู้
วิชา ฟิสิกส์ 1 รหัสวิชา ว 30201
เรื่อง การหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะโดยใช้เทคนิคทางแสง

ความเค้น

ความเค้น (Stress) หมายถึง แรงต้านทานภายในเนื้อวัสดุที่มีต่อแรงภายนอกที่มากระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ แต่เนื่องจากความไม่เหมาะสมทางปฏิบัติ และความยากในการวัดหาค่านี้ เราจึงมักจะพูดถึงความเค้นในรูปของแรงภายนอกที่มากระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ด้วยเหตุผลที่ว่า แรงกระทำภายนอกมีความสมดุลกับแรงต้านทานภายใน การหาค่าความเค้นสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้คือ

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

เมื่อ σ คือ ความเค้น (N/m^2)
F คือ แรงภายนอกที่มากระทำ (N)
A คือ พื้นที่ภาคตัดขวางที่แรงกระทำ (m^2)

ความเครียด

ความเครียด (Strain) คือ การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุ (Deformation) เมื่อมีแรงภายนอกมากระทำ (เกิดความเค้น) การเปลี่ยนรูปของวัสดุนี้เป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ภายในเนื้อวัสดุ ซึ่งสามารถแบ่งเป็น 2 ชนิดใหญ่ ๆ คือ

1. การเปลี่ยนรูปแบบอิลาสติกหรือความเครียดแบบคืนรูป (Elastic Deformation or Elastic Strain) เป็นการเปลี่ยนรูปในลักษณะที่เมื่อปลดแรงกระทำ อะตอมซึ่งเคลื่อนไหวเนื่องจากผลของความเค้นจะเคลื่อนกลับเข้าตำแหน่งเดิม ทำให้วัสดุคงรูปร่างเดิมไว้ได้ ตัวอย่างได้แก่ พวกยางยืด สปริง ถ้าเราดึงมันแล้วปล่อยมันจะกลับไปมีขนาดเท่าเดิม

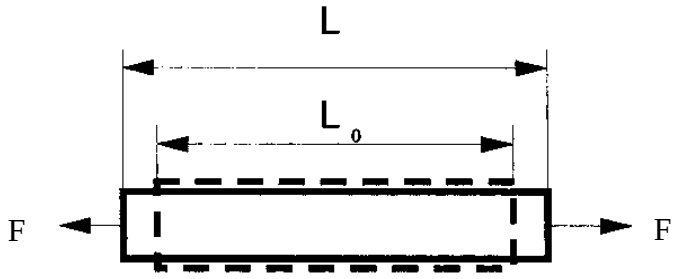
2. การเปลี่ยนรูปแบบพลาสติกหรือความเครียดแบบคงรูป (Plastic Deformation or Plastic Strain) เป็นการเปลี่ยนรูปที่ถึงแม้ว่าจะปลดแรงกระทำนั้นออกแล้ววัสดุก็ยังคงรูปร่างตามที่ถูกเปลี่ยนไปนั้น โดยอะตอมที่เคลื่อนที่ไปแล้วจะไม่กลับไปตำแหน่งเดิม

วัสดุทุกชนิดจะมีพฤติกรรมการเปลี่ยนรูปทั้งสองชนิดนี้ขึ้นอยู่กับแรงที่มากระทำ หรือความเค้นว่ามีมากน้อยเพียงใด หากไม่เกินพิกัดการคืนรูป (Elastic Limit) แล้ววัสดุนั้นก็จะมีพฤติกรรมคืนรูปแบบอิลาสติก (Elastic Behavior) แต่ถ้าความเค้นเกินกว่าพิกัดการคืนรูปแล้ววัสดุก็จะเกิดการเปลี่ยนรูปแบบถาวรหรือแบบพลาสติก (Plastic Deformation)

นอกจากความเครียดทั้ง 2 ชนิดนี้แล้ว ยังมีความเครียดอีกประเภทหนึ่งซึ่งพบในวัสดุประเภทโพลีเมอร์ เช่น พลาสติก เรียกว่าความเครียดกึ่งอิลาสติกจะมีลักษณะที่เมื่อปราศจากแรงกระทำวัสดุจะมีการคืนรูป แต่จะไม่กลับไปจนมีลักษณะเหมือนเดิม

การวัดและคำนวณหาค่าความเครียด

1. แบบเส้นตรง ความเครียดที่วัดได้จะเรียกว่า ความเครียดเชิงเส้น (Linear Strain) จะใช้ได้เมื่อแรงที่มากระทำมีลักษณะเป็นแรงดึงหรือแรงกด ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ความเครียดเชิงเส้น (Linear Strain)

(http://dc378.4shared.com/doc/-mm62_Z6/preview.html)

ค่าของความเครียดจะเท่ากับความยาวของเส้นวัตถุที่เปลี่ยนไปต่อความยาวเดิม ดังสมการ

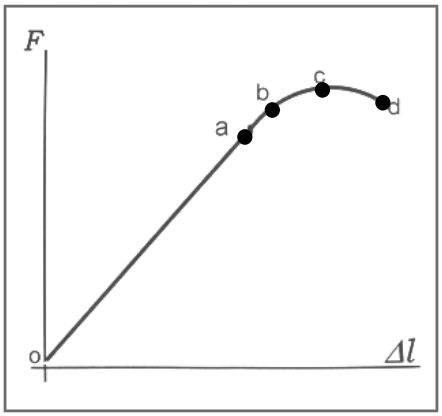
$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_o} \qquad (2)$$

เมื่อ ε คือ ความเครียดเชิงเส้น

ΔL คือ ความยาวที่เปลี่ยนไป (m)

L_o คือ ความยาวเดิมของวัสดุ (m)

เมื่อนำวัตถุบางชนิด เช่น เหล็ก ทองแดง หรือแก้วที่เป็นแท่งหรือเส้นลวดมายึดปลายข้างหนึ่งจากนั้นออกแรงดึงปลายอีกข้างหนึ่ง จะพบว่าความยาวของเส้นลวดวัตถุยืดออกและส่วนที่ยืดออกแปรผันตรงกับขนาดของแรงดึงเมื่อแรงยังอยู่ในขอบเขตหนึ่ง ความจริงข้อนี้เรียกว่า กฎของฮุก (Hooke's Law) เมื่อเพิ่มแรงดึงต่อไปเรื่อย ๆ จะพบว่าความยาวของเส้นวัตถุที่ยืดออกจะไม่แปรผันตรงกับขนาดของแรงดึงอีกต่อไป ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงเส้นโลหะกับความยาวของเส้นโลหะที่เพิ่มขึ้น
(http://www.vcharkarn.com/lesson/view.php?id=1162)

จากภาพที่ 2 จะเห็นว่าในช่วง oa เป็นไปตามกฎของฮุก จุด a ซึ่งเป็นตำแหน่งสุดท้ายที่ความยาวเส้นโลหะยืดออกแปรผันตรงกับขนาดของแรงดึง จุดนี้เรียกว่า ขีดจำกัดการแปรผันตรง (propotional limit) ถ้าออกแรงดึงเส้นโลหะให้ยืดอีกเล็กน้อยจนถึงจุด b เมื่อหยุดออกแรงดึงเส้นโลหะจะกลับไปอยู่ในสภาพเดิมและความยาวสุดท้ายเท่ากับความยาวเริ่มต้น จุดนี้เรียกว่า ขีดจำกัดสภาพยืดหยุ่น (elastic limit)

ส่วนช่วงของกราฟตั้งแต่จุด b เป็นต้นไปเส้นโลหะเริ่มเปลี่ยนรูปไปอย่างถาวร และถ้าออกแรงดึงถึงจุด c จุดนี้เรียกว่า จุดคราก (yield point) ซึ่งเป็นจุดที่ความยาวของเส้นโลหะเพิ่มอย่างรวดเร็ว ขณะที่แรงดึงเพิ่มเล็กน้อย เมื่อออกแรงดึงต่อไป จนเลยจุด d เส้นโลหะจะขาดจุดนี้เรียกว่า จุดแตกหัก (breaking point)

ช่วง ob เรียกว่า การผิดรูปแบบยืดหยุ่น (elastic deformation) และสภาพของวัตถุในช่วง ob เรียกว่า สภาพยืดหยุ่น (elasticity) ซึ่งเป็นสมบัติของวัตถุที่มีการเปลี่ยนรูปร่างเมื่อมีแรงมากระทำและสามารถกลับสู่รูปเดิมเมื่อหยุดออกแรงกระทำ

ช่วง bd เรียกว่า การผิดรูปแบบพลาสติก (plastic deformation) ซึ่งเป็นสมบัติของวัตถุที่เปลี่ยนรูปร่างไปอย่างถาวร โดยวัตถุยังไม่ฉีกขาดหรือแตกหัก

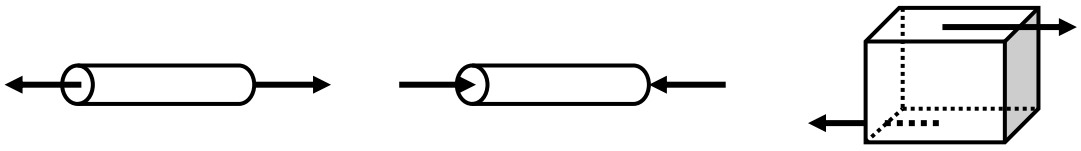
วัตถุส่วนใหญ่มีทั้งสภาพยืดหยุ่นและสภาพพลาสติกในตัวเอง โดยมีสภาพยืดหยุ่นเมื่อมีแรงกระทำมีค่าน้อย และมีสภาพพลาสติกเมื่อแรงกระทำมีค่ามาก วัตถุบางชนิดมีแต่สภาพพลาสติก เช่น ดินน้ำมัน ขนมปัง เป็นต้น

แรงที่กระทำต่อวัตถุแล้วมีผลให้วัตถุผิดรูปไปมี 3 แบบ ได้แก่

1. แรงดึง (tensile forces) เป็นแรงที่กระทำต่อวัตถุ มีผลให้วัตถุมีความยาวเพิ่มขึ้น

2. แรงอัด (forces of compression) เป็นแรงที่กระทำต่อวัตถุ มีผลให้วัตถุมีความยาวลดลง

3. แรงเฉือน (shear forces) เป็นแรงที่กระทำบนผิววัตถุ มีผลให้ผิววัตถุเลื่อนไปหรือทำให้แท่งวัตถุบิดรูปร่างไปจากเดิมตาวแนวยาว แรงกรณีหลังที่ทำให้แท่งวัตถุบิดไป เรียกว่า แรงบิด (forces of torsion) ซึ่งเป็นแรงเฉือนชนิดหนึ่ง



ก. แรงดึง ข. แรงอัด ค. แรงเฉือน

ภาพที่ 3 แสดงแรงที่กระทำต่อวัตถุและผลของแรงทำให้วัตถุผิดรูป

(http://www.vcharkarn.com/lesson/view.php?id=1162)

มอดูลัสของยัง (Young's modulus)

เมื่อมีแรงกระทำต่อวัตถุ เช่น ลวดโลหะชนิดหนึ่ง จะทำให้เกิดความเค้นและความเครียดในลวดโลหะนั้น โดยความเครียดที่เกิดขึ้นจะแปรผันโดยตรงกับความเค้น เมื่อขนาดของแรงดึงไม่เกินขีดจำกัดของการยืดหยุ่น และจะเป็นค่าคงตัวประจำสำหรับวัสดุหนึ่ง ๆ ค่านี้เรียกว่า ค่ามอดูลัสของยัง (Young's modulus) โดยวัตถุที่มีมอดูลัสของยังสูง แสดงว่า วัตถุนั้นทนต่อการเปลี่ยนแปลงความยาวหรือเปลี่ยนความยาวได้น้อยขณะที่มีความเค้นมาก เขียนเป็นความสัมพันธ์ดังสมการได้ดังนี้

$$\text{มอดูลัสของยัง} = \frac{\text{ความเค้น}}{\text{ความเครียด}}$$

$$Y = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

$$Y = \frac{F/A}{\Delta L/L} \qquad (3)$$

นอกจากมอดูลัสของยังแล้ว ยังมีมอดูลัสประเภทอื่น ๆ ได้แก่ มอดูลัสเฉือน (shear modulus) มอดูลัสเชิงปริมาตร (bulk modulus) โดยทั้งมอดูลัสของยัง มอดูลัสเฉือน มอดูลัสเชิงปริมาตร รวมเรียกว่า มอดูลัสสภาพยืดหยุ่น (modulus of elasticity) โดยมอดูลัสสภาพยืดหยุ่นของวัตถุต่างแบบกันจะมีค่าต่างกัน ถึงแม้จะเป็นวัตถุชนิดเดียวกันก็ตาม

ใบงานการทดลอง
วิชา ฟิสิกส์ 1 รหัสวิชา ว 30201
เรื่อง การหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะโดยใช้เทคนิคทางแสง

ชุดทดลองนี้ใช้เพื่อทดลองหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะโดยใช้เทคนิคทางแสงโดยแบ่งเป็น 2 ตอน ดังนี้

1. การหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะที่ทราบค่ามอดูลัสของยังมาตรฐาน ได้แก่ ลวดเหล็ก
2. การหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะที่ไม่ทราบค่ามอดูลัสของยังมาตรฐาน ได้แก่ ลวดทองแดง

หลักการและเหตุผล

ค่ามอดูลัสของยังของวัสดุพวกโลหะเป็นค่าที่บอกความแข็งแกร่งของวัสดุ เมื่อออกแรงกระทำในแนวตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัดของลวดโลหะเรียกว่า ความเค้น ลวดโลหะจะยืดออก อัตราส่วนระหว่างความยาวที่เพิ่มขึ้นกับความยาวเดิมของลวดโลหะเรียกว่า ความเครียด ภายในขีดจำกัดสภาพยืดหยุ่นอัตราส่วนระหว่างความเค้นและความเครียดจะเรียกว่า ค่ามอดูลัสของยังซึ่งในการหาระยะยืดของลวดโลหะเกิดขึ้นน้อยมากสามารถวัดค่าได้ยาก การนำหลักการสะท้อนของแสงมาช่วยทำให้หาระยะยืดของลวดโลหะได้ง่ายขึ้น ดังนั้นในการทดลองหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะโดยใช้เทคนิคทางแสงจะช่วยให้ผู้เรียนได้ค้นพบคำตอบด้วยตนเอง และมีประสบการณ์ตรงในการเรียนรู้ เป็นการสนับสนุนให้ผู้เรียนได้เรียนรู้จากสื่อที่เป็นรูปธรรมนำไปสู่ความเข้าใจในหลักการมากยิ่งขึ้น

วัตถุประสงค์ของการทดลอง

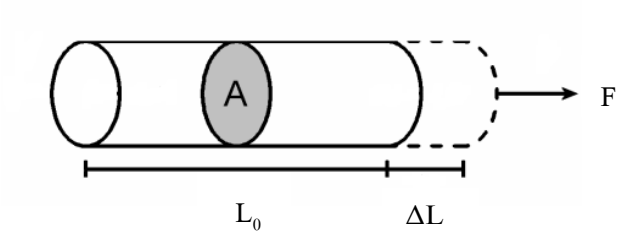
1. นักเรียนสามารถหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะชนิดต่าง ๆ ได้
2. นักเรียนสามารถใช้ชุดทดลองเพื่อหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะโดยใช้เทคนิคทางแสงได้

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการทดลอง

1. นักเรียนสามารถใช้ชุดทดลองเพื่อหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะโดยใช้เทคนิคทางแสงได้
2. นักเรียนมีความรู้ (K) ทักษะกระบวนการ (P) และคุณลักษณะที่พึงประสงค์ (A)
3. นักเรียนรู้จักคิดแก้ปัญหาและนำความรู้ไปใช้ในชีวิตประจำวัน

ทฤษฎี

วัตถุที่มีสภาพยืดหยุ่นจะเปลี่ยนรูปร่างไปจากเดิมเมื่อมีแรงมากระทำและกลับคืนสู่สภาพเดิมเมื่อแรงที่กระทำลดลงเป็นศูนย์ วัตถุที่เป็นเส้น เช่น เส้นลวดโลหะ จะมีความยาวเพิ่มขึ้นเมื่อมีแรงมาดึงและลดลงเมื่อลดค่าแรงดึง



ภาพที่ 4 แสดงแรงกระทำต่อวัตถุที่เป็นเส้นทำให้วัตถุมีความยาวเพิ่มขึ้น

เมื่อ ΔL คือ ความยาวที่เพิ่มขึ้นของเส้นลวด (m)
L_0 คือ ความยาวเดิมของเส้นลวด (m)
F คือ แรงที่ดึงเส้นลวด (N)
A คือ พื้นที่ภาคตัดขวางของเส้นลวด (m^2)

ถ้าแรงที่ดึงเส้นลวดมีค่าไม่เกินขีดจำกัดของฮุก (Hooke limit) ความยาวของเส้นลวดที่เพิ่มขึ้นต่อหนึ่งหน่วยความยาวเดิมจะมีค่าแปรตามแรงที่ดึงเส้นลวดต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ภาคตัดขวางของเส้นลวด นั่นคือ

$$\Delta L/L_0 \ \alpha \ F/A \qquad (1)$$

ปริมาณ $\Delta L/L_0$ เรียกว่า ความเครียดดึง (tensile strain) ส่วน F/A เรียกว่า ความเค้นดึง (tensile stress) นั่นคือ สำหรับวัตถุที่เป็นเส้น อัตราส่วนของความเค้นดึงต่อความเครียดดึงมีค่าคงที่ ค่านี้เรียกว่ามอดูลัสของยัง (Young's modulus) แทนด้วยสัญลักษณ์ Y ซึ่งเขียนได้เป็น

$$Y = \frac{F/A}{\Delta L/L_0}$$

$$Y = \frac{FL_0}{A(\Delta L)} \qquad (2)$$

กรณีของเส้นลวดยาว L_0 มีเส้นผ่านศูนย์กลาง D และมีความยาวเพิ่มขึ้น ΔL เมื่อถูกดึงด้วยแรงที่เกิดจากน้ำหนักของมวล m จะได้สมการที่ (2) เป็น

$$Y = \frac{mgL_0}{\pi(\frac{D}{2})^2(\Delta L)}$$

$$Y = \frac{4mgL_0}{\pi D^2(\Delta L)} \qquad (3)$$

เมื่อเพิ่มแรงที่ดึงเส้นลวดที่เกิดจากน้ำหนักของมวล m จะทำให้ความยาวของเส้นลวดเพิ่มขึ้น ΔL และความยาวส่วนที่เพิ่มขึ้นแปรผันตรงกับขนาดของแรงดึงเมื่อแรงยังอยู่ในขอบเขตหนึ่ง ตามจริงข้อนี้เรียกว่า กฎของฮุก(Hooke's Law)

ดังนั้น เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่ดึงเส้นลวดที่เกิดจากน้ำหนักของมวล m กับความยาวของเส้นลวดที่เพิ่มขึ้น ΔL มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงโดยมีความยาวเส้นลวด L_0 และเส้นผ่านศูนย์กลางของลวด D คงที่ ให้แกนนอนคือขนาดของมวล m ที่เพิ่มขึ้น แกนตั้งคือความยาวของเส้นลวดที่เพิ่มขึ้นเมื่อถูกแรงกระทำ จะได้ว่า

$$\text{slope} = \frac{\Delta L}{m} \qquad (4)$$

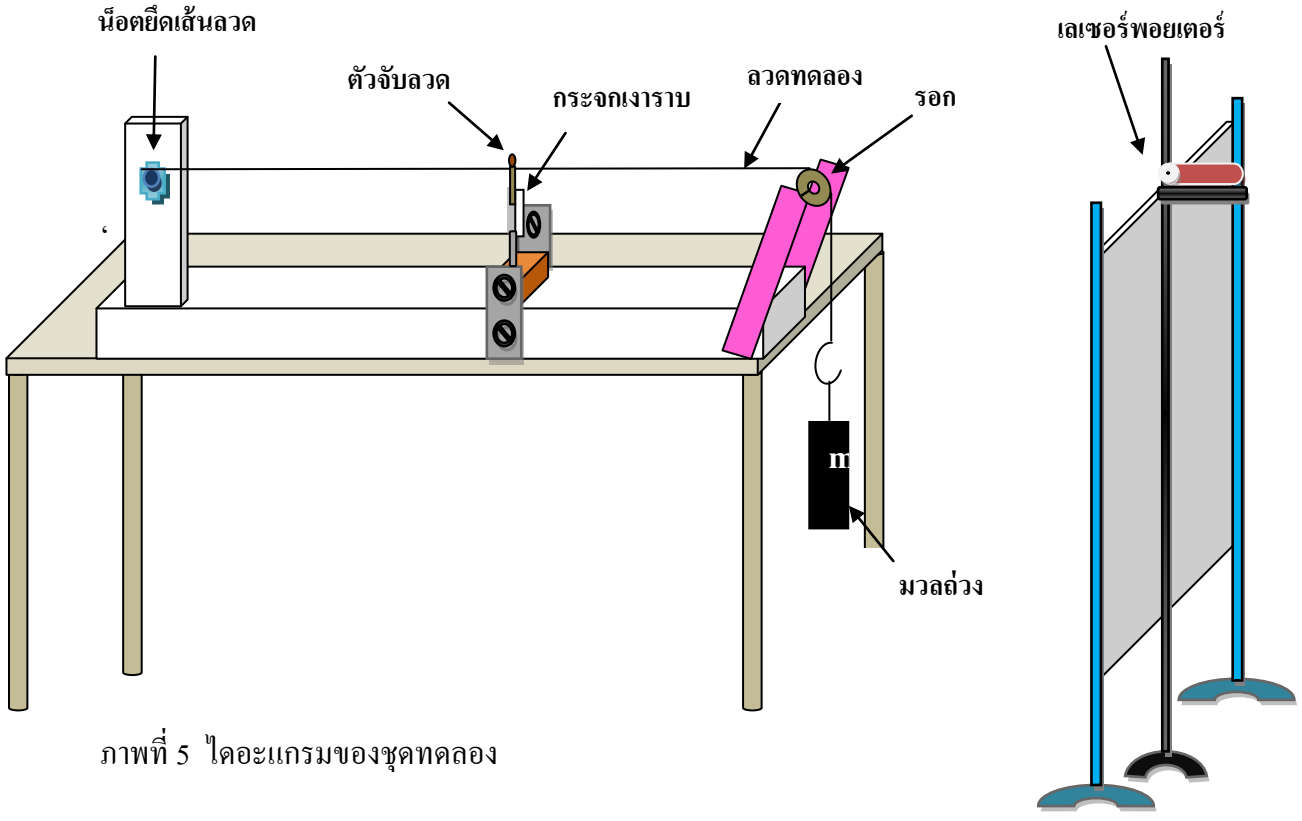
ดังนั้นจากสมการที่ (4) สามารถหาค่ามอดูลัสของยังได้ด้วยสมการที่ (5) และหาค่า ร้อยละความคลาดเคลื่อนของชุดทดลอง (%Error) ดังสมการที่ (6)

$$Y=\frac{4gL_0}{\pi D^2(slope)} \tag{5}$$

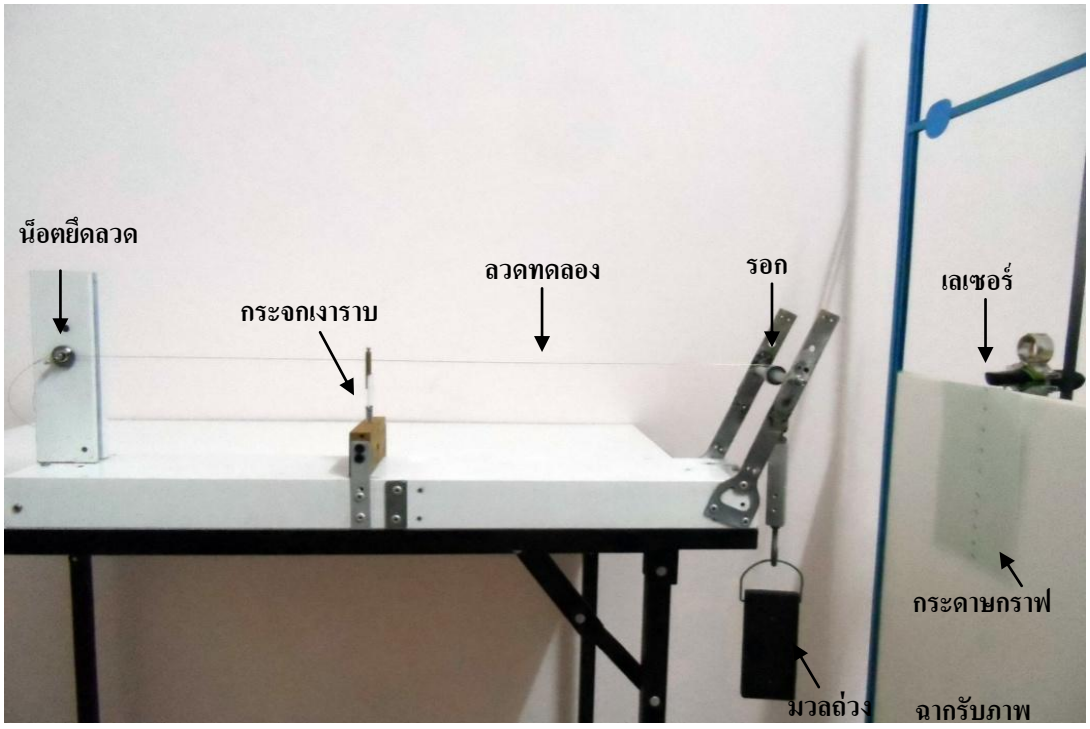
$$\text{ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อน} = \frac{\left|\text{ค่าจากการทดลอง} - \text{ค่ามาตรฐาน}\right|}{\text{ค่ามาตรฐาน}} \times 100\% \tag{6}$$

ในการหาความยาวของเส้นลวดที่เพิ่มขึ้น ΔL จะใช้การประยุกต์นำหลักการทางแสงมาช่วย นั่นคือการสะท้อนของแสงผ่านกระจกเงาราบ จากนั้นหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะความยาวของเส้นลวดที่เพิ่มขึ้นกับระยะที่ปรากฏจุดของแสงเลเซอร์บนฉากรับภาพ

ในการพัฒนาชุดทดลองเพื่อหาค่ามอดูลัสของยังของโลหะโดยใช้เทคนิคทางแสง ไดอะแกรมของชุดทดลองที่สร้างขึ้น เป็นดังภาพที่ 5 อุปกรณ์ประกอบด้วย แหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ พอยเตอร์ กระจกเงาราบ รอก ลวดโลหะทดลอง ฉากรับภาพ กระดาษกราฟ น็อตยึดลวด ตัวจับลวด และมวลถ่วง



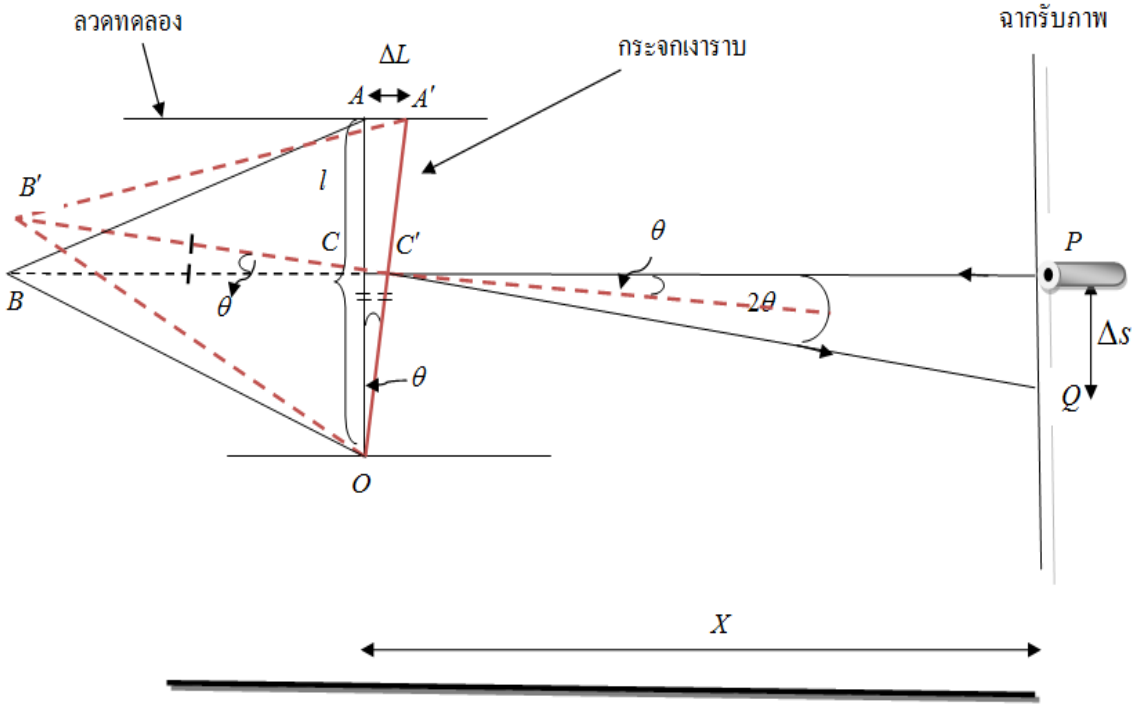
ภาพที่ 5 ไดอะแกรมของชุดทดลอง



ภาพที่ 6 ภาพชุดทดลอง

การคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะความยาวของเส้นลวดที่เพิ่มขึ้นกับระยะที่ปรากฏจุดของแสงเลเซอร์บนฉากรับภาพตามหลักทางคณิตศาสตร์หาได้ดังนี้

เมื่อเริ่มต้นลวดทดลองมีความยาว L_0 ถูกแรงภายนอกกระทำในแนวตั้งฉากกับพื้นที่ภาคตัดขวาง ซึ่งก็คือแรงเนื่องจากน้ำหนักเมื่อเพิ่มมวลถ่วง เริ่มต้นใส่มวลปรับลวดทดลองให้ตึง นำลวดทดลองยึดกับตัวยึดกระจกที่ติดด้านหลังกระจกเงาราบ ติดตั้งกระจกเงาราบอยู่ห่าง จากฉากเป็นระยะ X ให้แสงเลเซอร์ตกกระทบกระจกเงาราบ และสะท้อนไปที่ฉากที่จุด P เมื่อเพิ่มมวลถ่วงในห่วงโลหะ ทำให้ลวดทดลองเกิดขยายตัวมีระยะยืดออกจากเดิมเป็น ΔL ทำให้กระจกเงาราบเบนเป็นมุม θ แสงสะท้อนจากกระจกเงาราบบนฉากเบนจากแนวเดิมเป็นระยะ Δs ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 การหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะยืดของลวดกับภาพที่ปรากฏจุดเลเซอร์บนฉากรับภาพ

จากภาพที่ 7

กำหนดให้ $l=OA=OA'$ คือ ระยะจากจุดหมุนของกระจกมายังเส้นลวดโลหะ

จุด C,C' คือ จุดที่เลเซอร์ตกกระทบบนกระจกเงาราบ

พิจารณา ΔBCO และ $\Delta B'C'O$

1. $CO = C'O$
2. $B\hat{C}O = B'\hat{C}'O = 90°$ (เส้นปกติ (Normal) เป็นเส้นตรงที่ลากตั้งฉากกับผิวระนาบกระจก)
3. $BC = B'C'$ (กำหนด)

จะได้ $\Delta BCO \cong \Delta B'C'O$ (ความสัมพันธ์สามเหลี่ยมคล้ายแบบด้าน-มุม-ด้าน)

ดังนั้น $BC'B' = COC' = \theta$

จากนิยาม $\theta = \dfrac{\text{ระยะทางตามส่วนโค้ง}}{\text{ความยาวรัศมีของวงกลม}}$

พิจารณา $\Delta COC'$ และ $\Delta AOA'$

1. $A\hat{O}A' = C\hat{O}C'$ (มุมร่วมของสามเหลี่ยม)
2. $O\hat{C}C' = O\hat{A}A'$
3. $O\hat{C}'C = O\hat{A}'A$

จะได้ $\Delta COC' \cong \Delta AOA'$ (ความสัมพันธ์สามเหลี่ยมคล้าย)

ดังนั้น $\frac{OC}{OA} = \frac{OC'}{OA'} = \frac{CC'}{AA'}$

ให้ระยะ $AA' = \Delta L$ และ $OA = l$

จะได้ $\theta = \frac{CC'}{OC} = \frac{AA'}{OA} = \frac{\Delta L}{l}$ (7)

จาก $BC'B' = COC' = \theta$

$BC'B' = \frac{P\hat{C}'Q}{2} = \theta$ (เส้นตรง 2 เส้นตัดกันมุมตรงข้ามมีขนาดเท่ากัน)

พิจารณา $\Delta P\hat{C}'Q = 2\theta$

$$\tan 2\theta = \frac{\Delta s}{X}\,;\, \tan 2\theta \approx 2\theta$$

$$2\theta = \frac{\Delta s}{X}$$

$$\theta = \frac{\Delta s}{2X} \quad (8)$$

นำสมการที่ (7) = สมการที่ (8) จะได้

$$\frac{\Delta L}{l} = \frac{\Delta s}{2X}$$

$$\Delta L = \frac{\Delta s \times l}{2X} \quad (9)$$

จากนั้นนำ ΔL ที่ได้ไปแทนค่าหา $\text{slope} = \frac{\Delta L}{m}$ และหาค่ามอดูลัสของยังในสมการที่ (4)

อุปกรณ์ในการทดลอง

1. ชุดทดลองหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะโดยใช้เทคนิคทางแสง
2. ลวดโลหะชนิดต่าง ๆ เช่น ลวดเหล็ก และลวดทองแดง
3. อุปกรณ์ประกอบชุดทดลอง ได้แก่ ไม้เมตร เครื่องวัดระดับน้ำ
4. เครื่องคิดเลขแบบดิจิตอลวิทยาศาสตร์

วิธีการทดลอง

<u>ตอนที่ 1</u> หาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะที่ทราบค่ามอดูลัสของยังมาตรฐาน ได้แก่ ลวดเหล็ก (ค่ามอดูลัสของยังของลวดเหล็กเท่ากับ $Y = 2.10 \times 10^{11}\ N/m^2$)

1. วัดความยาวลวดเหล็กเริ่มต้น 0.66 m จากน็อตยึดปลายข้างหนึ่งถึงจุดยึดปลายห่วงโลหะอีกข้างหนึ่ง บันทึกค่าเป็น L_0

2. วัดเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดเหล็กที่ตำแหน่งต่าง ๆ 3 ครั้ง บันทึกเป็น D แล้วหาค่าเฉลี่ย

3. จัดชุดทดลองตามภาพที่ 6 โดยใส่ลวดเหล็กกับตัวยึดกระจก นำปลายข้างหนึ่งของลวดยึดกับน็อต ส่วนปลายอีกข้างคล้องผ่านรอกและยึดกับห่วงโลหะ (สำหรับใส่มวลถ่วง)

4. ใส่มวลถ่วง 3.5 kg เพื่อปรับลวดเหล็กให้ตึง

5. ปรับกระจกเงาราบให้ตั้งฉากกับแนวระดับและหมุนตัวยึดกระจกกับเส้นลวดให้แน่น วัดระยะห่างระหว่างจุดหมุนของกระจกเงาราบกับลวดเหล็ก 3 ครั้ง บันทึกค่าเป็น l แล้วหาค่าเฉลี่ย

6. วัดระยะห่างระหว่างกระจกเงาราบกับฉากรับภาพ บันทึกค่าเป็น X

7. ติดตั้งแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์พอยเตอร์หลังฉากรับภาพ เปิดสวิตซ์ปรับให้แสงเลเซอร์อยู่แนวเดียวกับกระจกเงาราบและสะท้อนไปที่ตำแหน่งฉากรับภาพ

8. ติดกระดาษกราฟบนฉากรับภาพ และบันทึกตำแหน่งที่แสงสะท้อนมายังฉากรับภาพเป็นค่าก่อนใส่มวลถ่วง

9. เพิ่มค่ามวลถ่วงครั้งละ 0.5 kg จนถึง 3.5 kg พร้อมกับขีดเส้นใต้แสงเลเซอร์บนฉากทุก ๆ ค่าที่เพิ่มมวลถ่วง

10. ปฏิบัติเช่นเดียวกับข้อ 9 แต่เปลี่ยนจากการเพิ่มมวลถ่วงเป็นการลดมวลถ่วงครั้งละ 0.5 kg พร้อมกับขีดเส้นใต้แสงเลเซอร์บนฉากทุก ๆ ค่าที่ลดมวลถ่วง

11. นำกระดาษกราฟมาวัดตำแหน่งจุดเลเซอร์ (ระยะ Δs) โดยวัดระยะห่างของเส้นที่ขีดเส้นแรกกับเส้นต่อ ๆ ไป นำระยะที่ได้จากการเพิ่มและลดมวลถ่วง หาค่าเฉลี่ยและบันทึกผลลงในตาราง

12. นำข้อมูลที่ได้ไปหาความยาวที่เพิ่มขึ้น ΔL ของเส้นลวดในการลดและเพิ่มมวลถ่วงแต่ละค่า

13. นำค่าที่ได้จากการทดลองมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะยืดของลวดโลหะกับมวลถ่วง โดยให้แกนตั้งเป็นระยะยืดของลวดโลหะและแกนนอนเป็นมวลถ่วง

14. หาค่าความชันของกราฟ (อาจใช้ความชันของกราฟจากสมการที่ได้จากกราฟในโปรแกรม Microsoft Excel ตามรูปของสมการเชิงเส้น $y = mx + c$) แล้วคำนวณหาค่ามอดูลัสของยังจากสมการที่ (5)

15. เปรียบเทียบค่ามอดูลัสของยังของลวดเหล็กที่ได้จากการทดลองกับค่ามาตรฐานแล้วหาร้อยละความคลาดเคลื่อนของการทดลองจากสมการที่ (6)

หมายเหตุ ค่ามอดูลัสของยังของลวดเหล็กเท่ากับ 2.10×10^{11} N/m^2 (Farag, 2008)

ตอนที่ 2 หาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะที่ไม่ทราบค่ามอดูลัสของยังมาตรฐาน ได้แก่ ลวดทองแดง

1. วัดความยาวลวดทองแดงเริ่มต้น 0.66 m จากน็อตยึดปลายข้างหนึ่งถึงจุดยึดปลายห่วงโลหะอีกข้างหนึ่ง บันทึกค่าเป็น L_0

2. วัดเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดทองแดงที่ตำแหน่งต่าง ๆ 3 ครั้ง บันทึกเป็น D แล้วหาค่าเฉลี่ย

3. จัดชุดทดลองตามภาพที่ 6 โดยใส่ลวดทองแดงกับตัวยึดกระจก นำปลายข้างหนึ่งของลวดยึดกับน็อต ส่วนปลายอีกข้างคล้องผ่านรอกและยึดกับห่วงโลหะ (สำหรับใส่มวลถ่วง)

4. ใส่มวลถ่วง 3.5 kg เพื่อปรับลวดทองแดงให้ตึง

5. ปรับกระจกเงาราบให้ตั้งฉากกับแนวระดับและหมุนตัวยึดกระจกกับเส้นลวดให้แน่น วัดระยะห่างระหว่างจุดหมุนของกระจกเงาราบกับลวดเหล็ก 3 ครั้ง บันทึกค่าเป็น l แล้วหาค่าเฉลี่ย

6. วัดระยะห่างระหว่างกระจกเงาราบกับฉากรับภาพ บันทึกค่าเป็น X

7. ติดตั้งแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์พอยเตอร์หลังฉากรับภาพ เปิดสวิตซ์ปรับให้แสงเลเซอร์อยู่แนวเดียวกับกระจกเงาราบและสะท้อนไปที่ตำแหน่งฉากรับภาพ

8. ติดกระดาษกราฟบนฉากรับภาพและบันทึกตำแหน่งที่แสงสะท้อนมายังฉากรับภาพเป็นค่าก่อนใส่มวลถ่วง

9. เพิ่มค่ามวลถ่วงครั้งละ 0.5 kg จนถึง 6.5 kg พร้อมกับขีดเส้นใต้แสงเลเซอร์บนฉากทุกๆค่าที่เพิ่มมวลถ่วง

10. ปฏิบัติเช่นเดียวกับข้อ 9 แต่เปลี่ยนจากการเพิ่มมวลถ่วงเป็นการลดมวลถ่วงครั้งละ 0.5 kg พร้อมกับขีดเส้นใต้แสงเลเซอร์บนฉากทุก ๆ ค่าที่ลดมวลถ่วง

11. นำกระดาษกราฟมาวัดตำแหน่งจุดเลเซอร์ (ระยะ Δs) โดยวัดระยะห่างของเส้นที่ขีดเส้นแรกกับเส้นต่อ ๆ ไป นำระยะที่ได้จากการเพิ่มและลดมวลถ่วง หาค่าเฉลี่ยและบันทึกผลลงในตาราง

12. นำข้อมูลที่ได้ไปหาความยาวที่เพิ่มขึ้น ΔL ของเส้นลวดในการลดและเพิ่มมวลถ่วงแต่ละค่า

13. นำค่าที่ได้จากการทดลองมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะยืดของลวดโลหะกับมวลถ่วง โดยให้แกนตั้งเป็นระยะยืดของลวดโลหะและแกนนอนเป็นมวลถ่วง

14. หาค่าความชันของกราฟ (อาจใช้ความชันของกราฟจากสมการที่ได้จากกราฟในโปรแกรม Microsoft Excel ตามรูปของสมการเชิงเส้น $y = mx + c$) แล้วคำนวณหาค่ามอดูลัสของยังจากสมการที่ (5)

15. ตอบคำถามท้ายการทดลอง สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

การบันทึกผลการทดลองและการจัดกระทำข้อมูลจากการทดลอง

ชื่อผู้ทดลอง.....ระดับชั้น.....เลขที่.....
ชื่อผู้ร่วมทดลอง.....ระดับชั้น.....เลขที่.....
ชื่อผู้ร่วมทดลอง.....ระดับชั้น.....เลขที่.....
ชื่อผู้ร่วมทดลอง.....ระดับชั้น.....เลขที่.....
ชื่อผู้ร่วมทดลอง.....ระดับชั้น.....เลขที่.....

วัตถุประสงค์ของการทดลอง

1. นักเรียนสามารถหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะชนิดต่างๆได้
2. นักเรียนสามารถใช้ชุดทดลองเพื่อหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะโดยใช้เทคนิคทางแสงได้

คำถามก่อนการทดลอง

ความเค้นดึงและความเครียดดึงที่ได้ศึกษามาแล้วมีความสัมพันธ์กันหรือไม่อย่างไร

ตอบ.....
.....

ตอนที่ 1 หาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะที่ทราบค่ามอดูลัสของยังมาตรฐาน ได้แก่ ลวดเหล็ก

1.1 หาความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดเหล็ก

	ครั้งที่ 1 (m)	ครั้งที่ 2 (m)	ครั้งที่ 3 (m)	เฉลี่ย (m)
ความยาวของลวดเหล็ก (L_0)				
เส้นผ่านศูนย์กลางของลวดเหล็ก (D)				

ระยะระหว่างกระจกเงาราบถึงฉากรับภาพ (X) =.....m
ระยะระหว่างจุดหมุนของกระจกเงาราบถึงลวดเหล็ก (l) =.....m

1.2 หาความยาวที่เพิ่มขึ้นของลวดเหล็กเมื่อใส่มวลถ่วง

มวล (kg)	ระยะปรากฏตำแหน่งของแสงเลเซอร์บนฉาก (s)			$\Delta L = \frac{(\Delta s)l}{2X}$
	เพิ่มมวล (cm)	ลดมวล (cm)	เฉลี่ย (cm)	
0				
0.5				
1.0				
1.5				
2.0				
2.5				
3.0				

1.2.1 เขียนกราฟระหว่างระยะยืดของลวดเหล็กกับมวลถ่วง

ค่าความชันของกราฟ = ……

1.2.2 แสดงวิธีคำนวณหาค่ามอดูลัสของยังของลวดเหล็ก

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

1.2.3 คำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (% Error)

ค่ามาตรฐานของมอดูลัสของยังของลวดเหล็กเท่ากับ 2.10×10^{11} N/m^2 (Farag, 2008)

$$\text{ร้อยละความคลาดเคลื่อน} = \frac{\left|\text{ค่าที่ได้จากการทดลอง} - \text{ค่ามาตรฐาน}\right| \times 100\%}{\text{ค่ามาตรฐาน}}$$

การทดลองครั้งนี้มีความคลาดเคลื่อนร้อยละ.....

<u>ตอนที่ 2</u> หาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะที่ไม่ทราบค่ามอดูลัสของยังมาตรฐาน ได้แก่ ลวดทองแดง

2.1 หาความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดทองแดง

	ครั้งที่ 1 (m)	ครั้งที่ 2 (m)	ครั้งที่ 3 (m)	เฉลี่ย (m)
ความยาวของลวดทองแดง (L_0)				
เส้นผ่านศูนย์กลางของลวดทองแดง (D)				

ระยะระหว่างกระจกเงาราบถึงฉาก (X) =.....m

ระยะระหว่างจุดหมุนของกระจกเงาราบถึงลวดทองแดง (l) =.....m

2.2 หาความยาวที่เพิ่มขึ้นของลวดทองแดงเมื่อใส่มวลถ่วง

มวล (kg)	ระยะปรากฏตำแหน่งของแสงเลเซอร์บนฉาก (s)			$\Delta L = \frac{(\Delta s)l}{2X}$
	เพิ่มมวล (cm)	ลดมวล (cm)	เฉลี่ย (cm)	
0				
0.5				
1.0				
1.5				
2.0				
2.5				
3.0				

2.2.1 เขียนกราฟระหว่างระยะยืดของลวดทองแดงกับมวลถ่วง

ค่าความชันของกราฟ = ……

2.2.2 แสดงวิธีคำนวณหาค่ามอดูลัสของยังของลวดทองแดง

…….
……
……..……
……
……..……
……..……
……..
……
……..……
……..
……
……..……
……..…
……
…..……
……..

คำถามระหว่างการทดลอง

วัสดุแต่ละชนิดมีอัตราส่วนความเค้นดึงและความเครียดดึงแตกต่างกันหรือไม่อย่างไร

ตอบ……..
……
……..……

คำถามท้ายการทดลอง

การใช้ชุดทดลองทดสอบหาค่ามอดูลัสของยังของลวดโลหะ มีความคลาดเคลื่อนมากน้อยเพียงใด มีสาเหตุจากอะไรบ้าง

<u>ตอบ</u>……..

……

……..……

อภิปรายผลการทดลอง

……..…..…

……

……..……

……...……

……

……..……

…….

……

สรุปผลการทดลอง

……..……..……

……

……..……

……..……

……

……..……..……

…….

……

ข้อเสนอแนะจากการทดลอง

……..……

……

……...……

……..……

……

……...……

…….

…….

……..