การสร้างชุดทดลองเพื่อหาค่าอัตราเร็วเสียงในของแข็งโดยวิธีการสั่นพ้องของคลื่นเสียง

Construction the experiments to determine the speed of sound in solids by resonance of the sound wave

ปรีณาพรรณ พิมพ์พิศาล[1]*, กัญจน์ชญา หงส์เลิศคงสกุล[2]
Preenaphun Pimpisan[1]*, Kanchaya Honglertkongsakul[2]
[1]คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
[2]ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างชุดทดลองหาค่าอัตราเร็วเสียงในของแข็งโดยวิธีการสั่นพ้องของคลื่นเสียง ในการทดลองจะหาค่าอัตราเร็วเสียงในแท่งวัสดุ 4 ชนิด ได้แก่ ทองเหลือง ทองแดง เหล็ก และอลูมิเนียม และหาเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของค่าอัตราเร็วเสียงในของแข็ง ผลจากการทดลองพบว่า ค่าอัตราเร็วเสียงในทองเหลือง ทองแดง เหล็ก และอลูมิเนียมมีค่าเท่ากับ 3484.00, 3635.48, 4910.11 และ 4914.35 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ และมีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนในการหาค่าอัตราเร็วเสียงในทองเหลือง ทองแดง เหล็ก และอลูมิเนียมมีค่าเท่ากับ 0.46, 1.74, 2.77 และ 4.58 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

คำสำคัญ : อัตราเร็วเสียงในของแข็ง / การสั่นพ้องของคลื่นเสียง / ผงไม้โสน

Abstract

The objective of this research was to construct an experimental set to determine the sound speed in solids by resonance of the sound wave. In this experiment was to find the sound speed in four kinds of material rods; such as brass, copper, iron and aluminum. The percentage error values of the sound speed in solids were calculated to compare with the standard value of sound speed in each of solids. The result investigated that the sound speed values in brass, copper, iron and aluminum were 3484.00, 3635.48, 4910.11 and 4914.35 m/s; respectively. The percentage error values of sound speed in brass, copper, iron and aluminum were 0.46%, 1.74%, 2.77% and 4.58% respectively.

Keywords : Speed of sound in solids / Resonance of the sound wave / Sesbania wooden powder.

***Corresponding author.** E-mail: pimpisan@gmail.com

1. บทนำ

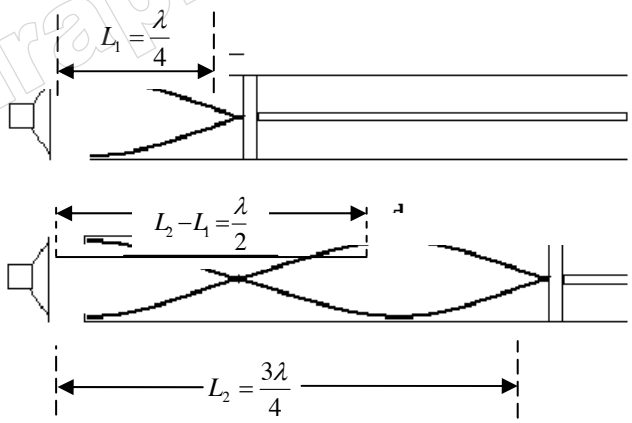
เสียงจะมีอัตราเร็วมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและตัวกลางที่เสียงเคลื่อนที่ผ่าน โดยคลื่นเสียงจะเคลื่อนที่ได้เร็วที่สุดในตัวกลางที่เป็นของแข็ง และเร็วน้อยลงในตัวกลางที่เป็นของเหลว และแก๊ส ตามลำดับ (กระทรวงศึกษาธิการ, 2551) ถ้าเสียงเคลื่อนที่ในของแข็งต่างชนิดกันจะมีอัตราเร็วที่ต่างกันขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุแต่ละชนิด เช่น อัตราเร็วเสียงในแท่งอลูมิเนียมมีค่า 5150 m/s อัตราเร็วเสียงในแท่งเหล็กมีค่า 5050 m/s อัตราเร็วเสียงในแท่งทองแดงมีค่า 3700 m/s อัตราเร็วเสียงในแท่งทองเหลืองมีค่า 3500 m/s เป็นต้น (David T. Blackstock, 2000)

การวัดอัตราเร็วเสียงในของแข็งสามารถทำได้หลายรูปแบบ เช่น การเหนี่ยวนำให้เกิดเรโซแนนซ์ในแท่งโลหะยาว การยืดหรือหดตัวของโลหะในสนามแม่เหล็ก (Magnetostriction) และการใช้แรงดึงดูดไฟฟ้าสถิตระหว่างอะตอม (Electrostatic Attraction) เป็นต้น ซึ่งในวารสาร The Physics Teacher และวารสาร American Journal of Physics มีบทความหลายๆ บทความที่พูดถึงวิธีการวัดอัตราเร็วของเสียงในแท่ง ท่อ หรือลวดโลหะไว้หลายวิธี เช่น วิธีของ Potter (2002) จะใช้แท่งเหล็กสัมผัสกับแผ่นโลหะเพื่อเปิดตัวนับเวลาโดยใช้ I-beam section และใช้เครื่องออสซิโลสโคปแสดงให้เห็นคลื่นเสียงในแท่งเหล็ก วิธีของ Hart (1986) ใช้ชุดซอฟต์แวร์กับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ เพื่อศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของแท่งโลหะกับการเกิดเรโซแนนซ์ วิธีของ Tony Key and Robert Smidrovskis (2000) จะศึกษาเรื่องการสั่นพ้องของสียงโดยใช้เครื่องกำเนิดสัญญาณคลื่นแบบไซน์ เป็นต้น จากวิธีดังกล่าวข้างต้น การหาค่าอัตราเร็วเสียงในของแข็งจำเป็นต้องมีเครื่องออสซิโลสโคป เครื่องกำเนิดสัญญาณ และเครื่องคอมพิวเตอร์เป็นอุปกรณ์หลักในการทดลอง ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวมีราคาแพงและในโรงเรียนมัธยมส่วนมากยังขาดแคลนเครื่องมือดังกล่าว ดังนั้นผู้วิจัยจึงคิดแก้ปัญหาส่วนนี้ โดยในการทดลองไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ดังกล่าว ซึ่งวิธีหนึ่งในการแก้ปัญหาคือ ใช้วิธีการการเหนี่ยวนำให้เกิดเรโซแนนซ์ในแท่งโลหะยาวทำได้โดยวิธีการ Kundt's tube ซึ่งเป็นวิธีที่ง่าย ใช้หลักการการสั่นพ้องของคลื่นเสียง (Resonance wave)

และเนื่องจากในห้องปฏิบัติการฟิสิกส์ระดับมัธยมศึกษาโดยทั่วไปยังไม่มีอุปกรณ์ในการทดลองหาค่าอัตราเร็วเสียงในของแข็ง ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจที่จะสร้างชุดทดลองการหาค่าอัตราเร็วของเสียงในของแข็งโดยวิธีการสั่นพ้องของคลื่นเสียง เพราะเป็นเครื่องมือที่ใช้งานง่าย ต้นทุนการผลิตต่ำ มีความแม่นยำ เพื่อนำมาประกอบการเรียนการสอนในระดับมัธยมศึกษา และเป็นข้อมูลพื้นฐานต่อไป

2. วิธีการ

2.1 ทฤษฎี



ภาพที่ 1 การเกิดการสั่นพ้องในท่ออากาศ

บูรพา มหาวิทยาลัย Burapha University

การสั่นพ้องของคลื่นเสียง คือปรากฏการณ์ที่เสียงเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางแล้วอนุภาคของตัวกลางมีการสั่นด้วยความถี่เดียวกับความถี่ของแหล่งกำเนิดเสียง ถ้าให้คลื่นเสียงเคลื่อนที่ผ่านอากาศที่อยู่ในท่อการสั่นพ้อง ณ ตำแหน่งที่เกิดการสั่นพ้องจะได้ยินเสียงดังที่สุด ขณะที่เกิดการสั่นพ้องของคลื่นเสียงในท่ออากาศจะมีการแทรกสอดระหว่างคลื่นเสียงจากแหล่งกำเนิดกับคลื่นเสียงที่สะท้อนจากท่อสั่นพ้อง ทำให้เกิดคลื่นนิ่งขึ้น และระยะทางระหว่างตำแหน่งเสียงดังที่สุดครั้งที่หนึ่งกับครั้งที่สองจะมีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่นเสียง (λ)
ดังแสดงดังภาพที่ 1

จากภาพที่ 1 ถ้าให้ L_1 แทนระยะจากลำโพงถึงตำแหน่งเสียงดังที่สุดครั้งที่หนึ่ง โดย $L_1 = \lambda/4$ และ L_2 แทนระยะทางจากลำโพงถึงตำแหน่งเสียงดังที่สุดครั้งที่สองโดย $L_2 = 3\lambda/4$ จะได้

$$L_2 - L_1 = \frac{\lambda}{2} \quad (1)$$

ถ้าให้ $\Delta L = L_2 - L_1$ สมการที่ (1) สามารถเขียนได้ดังนี้

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

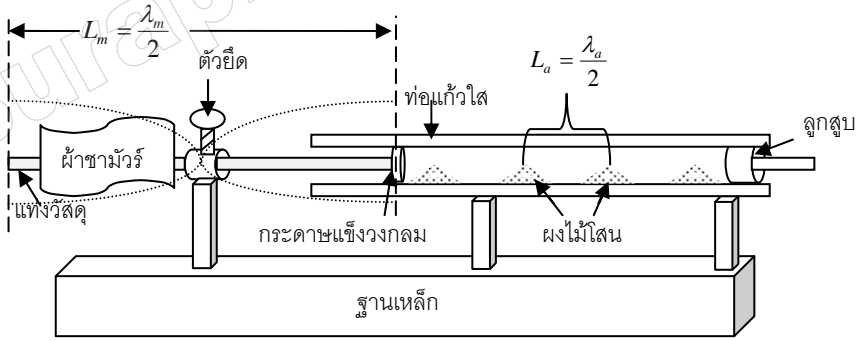
ดังนั้นความยาวคลื่นของเสียงจะหาได้จากสองเท่าของผลต่างของระยะของตำแหน่งเสียงดังที่สุดที่อยู่ถัดกันดังแสดงในสมการที่ (3)

$$\lambda = 2\Delta L \quad (3)$$

และเมื่อทราบความยาวคลื่นและความถี่เสียงก็สามารถคำนวณหาอัตราเร็วของเสียงได้ดังสมการที่ (4)

$$v = \lambda f \quad (4)$$

2.2 หลักการคำนวณหาค่าอัตราเร็วของเสียงในของแข็ง



ภาพที่ 2 ชุดทดลองหาค่าอัตราเร็วเสียงในของแข็งโดยวิธีการสั่นพ้องของคลื่นเสียง

เมื่อถูกแท่งวัสดุด้วยผ้าชามัวร์จนเกิดการสั่นพ้องของคลื่นเสียงจะทำให้ผงไม้ไสนภายในท่อแก้วใสมีการจัดเรียงตัวเป็นลูกคลื่นดังแสดงในภาพที่ 2 ขณะเกิดการสั่นพ้องของคลื่นเสียง ความถี่ของคลื่นเสียงของอากาศภายในท่อจะมีค่าเท่ากับความถี่ของคลื่นเสียงในแท่งวัสดุ เพราะว่าเกิดจากแหล่งกำเนิดเสียงเดียวกัน ค่าความถี่ของเสียงในอากาศสามารถคำนวณได้จาก

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

$$f_a = \frac{v_a}{\lambda_a} \quad (5)$$

โดยที่ f_a คือ ความถี่ของเสียงในอากาศ (Hz)
v_a คือ อัตราเร็วเสียงในอากาศ (m/s)
λ_a คือ ความยาวคลื่นเสียงในอากาศ (m)
และอัตราเร็วเสียงในอากาศหาได้จากสมการ $v_a = 331 + 0.6t$ เมื่อ t คืออุณหภูมิในหน่วย °C
และความถี่ของเสียงในแท่งวัสดุสามารถคำนวณได้จาก

$$f_m = \frac{v_m}{\lambda_m} \quad (6)$$

โดยที่ f_m คือ ความถี่ของเสียงในแท่งวัสดุ (Hz)
v_m คือ อัตราเร็วเสียงในแท่งวัสดุ (m/s)
λ_m คือ ความยาวคลื่นเสียงในแท่งวัสดุ (m)

เนื่องจากความถี่ของคลื่นเสียงในอากาศจะมีค่าเท่ากับความถี่ของคลื่นเสียงในแท่งวัสดุจะได้ว่าสมการที่ (5) = (6)

$$\frac{v_a}{\lambda_a} = \frac{v_m}{\lambda_m}$$

$$v_m = \frac{v_a \lambda_m}{\lambda_a} \quad (7)$$

$$v_m = f_a \lambda_m \quad (8)$$

จากภาพที่ 2 $\lambda_m = 2L_m$ ดังนั้นอัตราเร็วเสียงในแท่งวัสดุสามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์

$$v_m = f_a 2L_m \quad (9)$$

2.3 ชุดอุปกรณ์และวิธีดำเนินวิจัย

1. จัดอุปกรณ์การทดลองดังภาพที่ 2
2. ใช้เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิห้อง เพื่อนำไปคำนวณหาอัตราเร็วเสียงในอากาศจากความสัมพันธ์ $v_a = 331 + 0.6t$
3. โรยผงไม้โสนในท่อแก้วใสที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.035 m ยาว 1 m และเกลี่ยผงไม้โสนให้กระจายอย่างสม่ำเสมอในท่อแก้ว นำท่อแก้วไปติดตั้งบนฐานเหล็ก และนำลูกสูบมาปิดไว้ที่ปลายด้านหนึ่งของท่อแก้ว
4. นำแท่งวัสดุทองเหลืองที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.01 m ยาว 1.20 m มาติดปลายด้วยกระดาษแข็งวงกลม (เนื่องจากกระดาษแข็งเป็นวัสดุหาง่ายและสามารถสั่นและทำให้เกิดการส่งผ่านพลังงานคลื่นได้ดี) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.033 m เคลื่อนแท่งวัสดุเข้าไปในท่อแก้ว แล้วขันล็อคตรงกึ่งกลางของความยาวแท่งวัสดุ
5. นำผ้าซามัวร์ถูที่แท่งวัสดุส่วนที่ยื่นออกมาด้านนอกจนเกิดการสั่นพ้องของคลื่นเสียง สังเกตผงไม้โสนในท่อว่าจะมีลักษณะเป็นลูกคลื่น

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

6. ทำการวัดระยะห่างของกึ่งกลางของกองไม้โสนที่เป็นลูกคลื่นที่อยู่ติดกัน บันทึกเป็นค่าความยาวคลื่นเสียงในอากาศ (λ_a)

7. คำนวณหาความถี่ของเสียงในอากาศได้จากสมการที่ (5)

8. คำนวณหาอัตราเร็วเสียงในแท่งวัสดุได้จากสมการที่ (9) ความยาวของแท่งวัสดุที่ใช้ (L_m) เท่ากับ 1.2 m

9. ทำการทดลองตั้งแต่ข้อ 1-8 อีก 5 ครั้ง หาค่าเฉลี่ยของอัตราเร็วเสียงในแท่งวัสดุ และนำค่าเฉลี่ยของอัตราเร็วเสียงในแท่งวัสดุไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน

10. ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1-9 โดยเปลี่ยนแท่งวัสดุจากทองเหลืองเป็นแท่งทองแดง เหล็ก และอลูมิเนียม ตามลำดับ

3. ผลและอภิปรายผล

การทดลองหาค่าอัตราเร็วเสียงในของแข็งโดยวิธีการสั่นพ้องของคลื่นเสียงโดยใช้วัสดุทดสอบ 4 ชนิด ได้แก่ ทองเหลือง ทองแดง เหล็กและอลูมิเนียม มีลักษณะของลูกคลื่นที่เกิดจาการสั่นพ้องของคลื่นเสียงในวัสดุแต่ละชนิดดังแสดงในภาพที่ 3 ผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 1

ก

ข

ค

ง

ภาพที่ 3 ลักษณะของลูกคลื่นที่เกิดจาการสั่นพ้องของคลื่นเสียงในแท่งวัสดุ (ก) ทองเหลือง (ข) ทองแดง (ค) เหล็ก และ (ง) อลูมิเนียม

ตารางที่ 1 ตารางแสดงค่าความหนาแน่นและค่ายังมอดูลัสของแท่งวัสดุชนิดต่างๆ ค่าความถี่และอัตราเร็วเสียงในของแข็งที่ได้จากการทดลองที่อุณหภูมิ 29°C ค่าอัตราเร็วเสียงตามทฤษฎี และค่าความคลาดเคลื่อนของอัตราเร็วเสียงในของแข็งที่ได้จากการทดลองเทียบกับค่ามาตรฐานที่อุณหภูมิ 20°C

วัสดุทดสอบ	ความหนาแน่น (kg/m^3)	ยังมอดูลัส (GPa)	ความถี่ที่ได้จากการทดลอง (Hz)	อัตราเร็วเสียงในของแข็งที่ได้จากการทดลอง (m/s)	อัตราเร็วเสียงตามทฤษฎี (m/s)	%error
องเหลือง	8,500.00	104.00	1,451.67	3,484.00	3,500.00	0.46%
ทองแดง	8,900.00	122.00	1,514.78	3,635.48	3,700.00	1.74%
เหล็ก	7,700.00	195.00	2,045.88	4,910.11	5,050.00	2.77%
อลูมิเนียม	2,700.00	71.00	2,047.65	4,914.35	5,150.00	4.58%

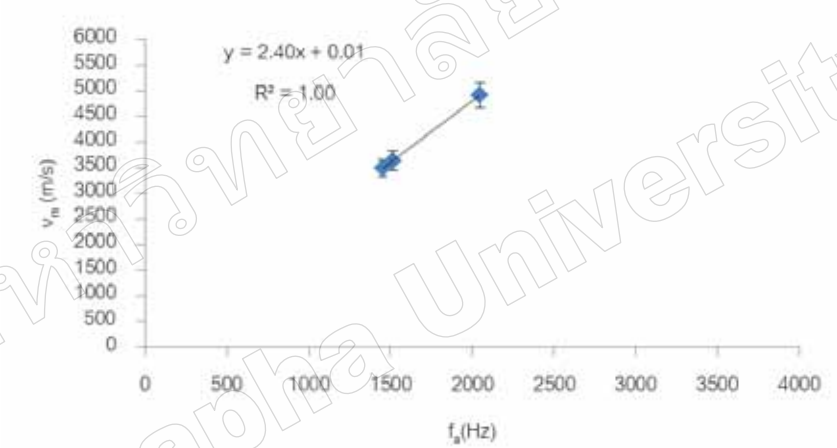
จากข้อมูลตารางที่ 1 จะพบว่าเมื่อความถี่ที่ได้จากการทดลองมีค่ามากขึ้นจะทำให้ค่าอัตราเร็วเสียงในของแข็งที่ได้จากการทดลองมีค่ามากขึ้นด้วย โดยค่าอัตราเร็วเสียงของทองเหลือง ทองแดง เหล็กและอลูมิเนียม ที่วัดได้มีค่าเท่ากับ 3484.00,

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

3635.48, 4910.11 และ 4914.35 m/s ตามลำดับ หลังจากนั้นเมื่อนำค่าอัตราเร็วเสียงในของแข็งที่ได้จากการทดลองไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน (David T. Blackstock, 2000) พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0.46, 1.74, 2.77, และ 4.58% ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าอลูมิเนียมมีค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุดในขณะที่ทองเหลืองมีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าอลูมิเนียมมีความหนาแน่นน้อยที่สุด ซึ่งเมื่อทำให้เกิดเสียงฮัมบนแท่งอลูมิเนียมแล้วจะพบว่าเสียงฮัมจะสั้นๆ ในขณะที่ทองเหลืองมีความหนาแน่นมากจะเกิดเสียงฮัมยาวๆ ซึ่งผลการทดลองในงานวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Se-yuen Mak และคณะ (2000) ที่กล่าวว่าอลูมิเนียมมีค่าความคลาดเคลื่อนมาก เนื่องจากมีความหนาแน่นน้อยกว่าโลหะชนิดอื่น ทำให้เสียงฮัมบนแท่งโลหะสั้นกว่าโลหะอื่นๆ ส่วนโลหะที่ให้ผลการทดลองที่ดีที่สุดคือทองเหลืองเนื่องจากทองเหลืองมีความยืดหยุ่นและมีระยะเวลาการเกิดเสียงฮัมนานกว่าโลหะชนิดอื่นๆ นอกจากนี้ยังพบว่าความเร็วของเสียงในของแข็งยังขึ้นอยู่กับความหนาแน่นและมอดูลัสของยังตามความสัมพันธ์

$$v = \sqrt{Y/\rho} \tag{10}$$

โดยที่ v คือ อัตราเร็วเสียงในของแข็ง (m/s)
Y คือ ค่ามอดูลัสของยังของของแข็ง (N/m^2)
ρ คือ ความหนาแน่นของของแข็ง (kg/m^3)



ภาพที่ 4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วเสียงในของแข็งกับค่าความถี่ที่ได้จากการทดลอง

ภาพที่ 4 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราเร็วเสียงในของแข็งและความถี่ที่ได้จากการทดลอง ทั้งนี้จะเห็นว่าค่าอัตราเร็วเสียงและความถี่มีความสัมพันธ์กันแบบเชิงเส้นตามสมการ

$$v_m = 2.40\mathrm{f} + 0.01 \tag{11}$$

จากความชันของกราฟที่ได้เท่ากับ 2.40 ถ้าเปรียบเทียบกับสมการ $v_m = f_a 2L_m$ พบว่าค่า $2.40 = 2L_m$ ซึ่งสอดคล้องกับแท่งโลหะที่มีความยาว 1.2 เมตร

จากกราฟพบว่าค่า R-Squared (R^2) = 1 หมายความว่าการเปลี่ยนแปลงค่าของความถี่ สามารถอธิบายการแปรเปลี่ยนของค่าอัตราเร็วเสียงในของแข็งที่เปลี่ยนไปได้ 100% หรือบอกได้ว่าสมการนี้มีความถูกต้อง 100%

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

4. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการสร้างชุดทดลองการหาค่าอัตราเร็วเสียงในของแข็ง โดยวิธีการสั่นพ้องของคลื่นเสียง และนำชุดทดลองที่สร้างขึ้นมาทดลองหาค่าอัตราเร็วเสียงของวัสดุทดสอบ 4 ชนิด ได้แก่ ทองเหลือง ทองแดง เหล็ก และ อลูมิเนียม ได้ผลการทดลองดังนี้ 3484.00, 3635.48, 4910.11 และ 4914.35 m/s ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่าตามทฤษฎีแล้ว พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0.46, 1.74, 2.77 และ 4.58% ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ อีกทั้งชุดทดลองมีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน ทำให้มีความสะดวกในการใช้งาน ต้นทุนการผลิตต่ำ จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการหาค่าอัตราเร็วเสียงในของแข็ง และยังสามารถนำมาใช้ประกอบการเรียนการสอนในระดับมัธยมศึกษาได้อีกด้วย

5. กิตติกรรมประกาศ

รายงานวิจัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์ในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ศึกษา มหาวิทยาลัยบูรพา

6. รายการอ้างอิง

กระทรวงศึกษาธิการ. (2551). คู่มือครู รายวิชาเพิ่มเติม ฟิสิกส์ เล่ม 3, 2551. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.

Blackstock, David T. (2000). *Fundamentals of physical acoustics* America: A wiley – interscience publication.

Hart, G. P. (1986*)*. Measurement of the Speed of Sound in Metal Rods Using the Microcomputer. *The Physics Teacher, 24*, 89

Key, T. & Smidrovskis, R. (2000). Measuring the Speed of Sound in a Solid. *The Physics Teacher, 38*, 76-77

Potter, D. (2002). The Speed of Sound in an Iron Rod. *The Physics Teacher, 40*, 56-57.

Se-yuen Mak, Yee-kong Ng & Kam-wah Wu. (2000). Measurement of the speed of sound in a metal rod. *Physics Educ*, *35*(6), 439-445

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University