

มหาวิทยาลัยบูรพา
Burapha University

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

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



ที่ ศธ.04239.26/ว33

โรงเรียนธรรมโชติศึกษาลัย

อำเภอเดิมบางนางบวช

จังหวัดสุพรรณบุรี 72120

3 กุมภาพันธ์ 2557

เรื่อง ขอบความอนุเคราะห์ตรวจสอบความเหมาะสมของชุดทดลองในการทำวิทยานิพนธ์

เรียน อาจารย์วัชรพงศ์ สุวรรณประทีป

- สิ่งที่ส่งมาด้วย 1. แบบแสดงความคิดเห็นต่อชุดทดลอง จำนวน 1 ชุด
2. คู่มือการใช้ชุดทดลองและปฏิบัติการ จำนวน 1 ชุด

ด้วยนางสาวปริณพวรรณ พิมพ์พิศาล ตำแหน่งครู โรงเรียนธรรมโชติศึกษาลัย
อำเภอเดิมบางนางบวช จังหวัดสุพรรณบุรี สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษาเขต 9
ได้ดำเนินการทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง การสร้างชุดทดลองเพื่อหาค่าอัตราเร็วเสียงในของแข็ง โดย
วิธีการสั่นพ้องของคลื่นเสียง ระดับปริญญาโท มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี

ในการนี้ทางโรงเรียนธรรมโชติศึกษาลัย จึงขอความอนุเคราะห์ท่านในการตรวจสอบ
ความเหมาะสมของชุดทดลองในการทำวิทยานิพนธ์ ตามเอกสารที่ส่งมาพร้อมนี้

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาและขอขอบคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(นายสมเกียรติ กู้เกียรติภูมิ)

ผู้อำนวยการ โรงเรียนธรรมโชติศึกษาลัย

ฝ่ายธุรการ

โทรศัพท์ : 0 3557 8089

โทรสาร : 0 3557 8089



ที่ ศธ. 04239.26/ว33

โรงเรียนธรรมโชติศึกษาลัย
อำเภอเดิมบางนางบวช
จังหวัดสุพรรณบุรี 72120

3 กุมภาพันธ์ 2557

เรื่อง ขอบความอนุเคราะห์ตรวจสอบความเหมาะสมของชุดทดลองในการทำวิทยานิพนธ์

เรียน อาจารย์อัครม ะหิอุมา

- สิ่งที่ส่งมาด้วย 1. แบบแสดงความคิดเห็นต่อชุดทดลอง จำนวน 1 ชุด
2. คู่มือการใช้ชุดทดลองและปฏิบัติการ จำนวน 1 ชุด

ด้วยนางสาวปริณาพรรณ พิมพ์พิศาล ตำแหน่งครู โรงเรียนธรรมโชติศึกษาลัย
อำเภอเดิมบางนางบวช จังหวัดสุพรรณบุรี สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษาเขต 9
ได้ดำเนินการทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง การสร้างชุดทดลองเพื่อหาค่าอัตราเร็วเสียงในของแข็งโดย
วิธีการสะท้อนของคลื่นเสียง ระดับปริญญาโท มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี

ในการนี้ทางโรงเรียนธรรมโชติศึกษาลัย จึงขอความอนุเคราะห์ท่านในการตรวจสอบ
ความเหมาะสมของชุดทดลองในการทำวิทยานิพนธ์ ตามเอกสารที่ส่งมาพร้อมนี้

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาและขอขอบคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(นายสมเกียรติ กู้เกียรติภูมิ)

ผู้อำนวยการโรงเรียนธรรมโชติศึกษาลัย

ฝ่ายธุรการ

โทรศัพท์ : 0 3557 8089

โทรสาร : 0 3557 8089



ที่ ศธ.04239.26/ว33

โรงเรียนธรรมโชติศึกษาลัย
อำเภอเดิมบางนางบวช
จังหวัดสุพรรณบุรี 72120

3 กุมภาพันธ์ 2557

เรื่อง ขอกความอนุเคราะห์ตรวจสอบความเหมาะสมของชุดทดลองในการทำวิทยานิพนธ์
เรียน อาจารย์สุวิทย์ วัฒนรัตนชัยศิริ

- สิ่งที่ส่งมาด้วย 1. แบบแสดงความคิดเห็นต่อชุดทดลอง จำนวน 1 ชุด
2. คู่มือการใช้ชุดทดลองและปฏิบัติการ จำนวน 1 ชุด

ด้วยนางสาวปรีณาพรรณ พิมพ์พิศาล ตำแหน่งครู โรงเรียนธรรมโชติศึกษาลัย
อำเภอเดิมบางนางบวช จังหวัดสุพรรณบุรี สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษาเขต 9
ได้ดำเนินการทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง การสร้างชุดทดลองเพื่อหาค่าอัตราเร็วเสียงในของแข็งโดย
วิธีการสั่นพ้องของคลื่นเสียง ระดับปริญญาโท มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี

ในการนี้ทางโรงเรียนธรรมโชติศึกษาลัย จึงขอกความอนุเคราะห์ท่านในการตรวจสอบ
ความเหมาะสมของชุดทดลองในการทำวิทยานิพนธ์ ตามเอกสารที่ส่งมาพร้อมนี้

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาและขอขอบคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(นายสมเกียรติ กู้เกียรติภูมิ)

ผู้อำนวยการ โรงเรียนธรรมโชติศึกษาลัย

ฝ่ายธุรการ

โทรศัพท์ : 0 3557 8089

โทรสาร : 0 3557 8089



ที่ ศธ.04239.26/ว33

โรงเรียนธรรมโชติศึกษาลัย
อำเภอเดิมบางนางบวช
จังหวัดสุพรรณบุรี 72120

3 กุมภาพันธ์ 2557

เรื่อง ขอกความอนุเคราะห์ตรวจสอบความเหมาะสมของชุดทดลองในการทำวิทยานิพนธ์

เรียน สน. ชูวิธ แจ่มจำรัส

- สิ่งที่ส่งมาด้วย 1. แบบแสดงความคิดเห็นต่อชุดทดลอง จำนวน 1 ชุด
2. คู่มือการใช้ชุดทดลองและปฏิบัติการ จำนวน 1 ชุด

ด้วยนางสาวปริณพวรรณ พิมพ์พิศาล ตำแหน่งครู โรงเรียนธรรมโชติศึกษาลัย
อำเภอเดิมบางนางบวช จังหวัดสุพรรณบุรี สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษาเขต 9
ได้ดำเนินการทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง การสร้างชุดทดลองเพื่อหาค่าอัตราเร็วเสียงในของแข็งโดย
วิธีการสะท้อนของคลื่นเสียง ระดับปริญญาโท มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี

ในการนี้ทางโรงเรียนธรรมโชติศึกษาลัย จึงขอกความอนุเคราะห์ท่านในการตรวจสอบ
ความเหมาะสมของชุดทดลองในการทำวิทยานิพนธ์ ตามเอกสารที่ส่งมาพร้อมนี้

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาและขอขอบคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(น.ยศมเกียรติ กู้เกียรติภูมิ)

ผู้อำนวยการ โรงเรียนธรรมโชติศึกษาลัย

ฝ่ายธุรการ

โทรศัพท์ : 0 3557 8089

โทรสาร : 0 3557 8089



ที่ ศธ.04239.26/ว33

โรงเรียนธรรมโชติศึกษาลัย
อำเภอเดิมบางนางบวช
จังหวัดสุพรรณบุรี 72120

3 กุมภาพันธ์ 2557

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์ตรวจสอบความเหมาะสมของชุดทดลองในการทำวิทยานิพนธ์

เรียน ผู้อำนวยการโรงเรียนสมเด็จพระปิยะมหาราชารมณียเขต

- สิ่งที่ส่งมาด้วย 1. แบบแสดงความคิดเห็นต่อชุดทดลอง จำนวน 1 ชุด
2. คู่มือการใช้ชุดทดลองและปฏิบัติการ จำนวน 1 ชุด

ด้วยนางสาวปริณาพรรณ พิมพ์พิศาล ตำแหน่งครู โรงเรียนธรรมโชติศึกษาลัย
อำเภอเดิมบางนางบวช จังหวัดสุพรรณบุรี สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษาเขต 9
ได้ดำเนินการทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง การสร้างชุดทดลองเพื่อหาค่าอัตราเร็วเสียงในของแข็งโดย
วิธีการสั่นพ้องของคลื่นเสียง ระดับปริญญาโท มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี

ในการนี้ทางโรงเรียนธรรมโชติศึกษาลัย จึงขอความอนุเคราะห์ท่านในการตรวจสอบ
ความเหมาะสมของชุดทดลองในการทำวิทยานิพนธ์ ตามเอกสารที่ส่งมาพร้อมนี้

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาและขอขอบคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(นายสมเกียรติ กู้เกียรติภูมิ)

ผู้อำนวยการโรงเรียนธรรมโชติศึกษาลัย

ฝ่ายธุรการ

โทรศัพท์ : 0 3557 8089

โทรสาร : 0 3557 8089

รายชื่อผู้เชี่ยวชาญประเมินชุดทดลองเรื่อง การสร้างชุดทดลองเพื่อหาค่าอัตราเร็วเสียงในของแข็ง
โดยวิธีการสั่นพ้องของคลื่นเสียง

1. วัชพงศ์ สุวรรณประทีป ร่องคณะบดีคณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหาวิชา
2. อาคม หะยิอูมา หัวหน้าสาขาฟิสิกส์คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหาวิชา
3. นายสุวิทย์ วิมลรัตนชัยศิริ ครูชำนาญการพิเศษ โรงเรียนธรรมโชติศึกษาลัย
อำเภอเดิมบางนางบวช จังหวัดสุพรรณบุรี
ผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนวิทยาศาสตร์
4. ดร.ณรงค์ ศิริเมือง ผู้อำนวยการชำนาญการพิเศษ
โรงเรียนสมเด็จพระปิยมหาราชรมณียเขต
อำเภอไทรโยค จังหวัดกาญจนบุรี
ผู้เชี่ยวชาญด้านหลักสูตรและสื่อวัตกรรมการเรียนการสอน
5. นายฐวิช แจ่มจำรัสศึกษานิเทศก์ชำนาญการพิเศษ
สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาเขต 3
ผู้เชี่ยวชาญด้านการวัดผลประเมินผลและวิจัยทางการศึกษา

แบบประเมินความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ
เกี่ยวกับ การสร้างชุดทดลองเพื่อหาค่าอัตราเร็วเสียงในของแข็งโดยวิธีการสั่นพ้องของคลื่นเสียง

แบบประเมินชุดนี้เป็นการสอบถามความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับการสร้างชุดทดลองเพื่อหาค่าอัตราเร็วเสียงในของแข็งโดยวิธีการสั่นพ้องของคลื่นเสียง เพื่อใช้เป็นสื่อการสอน วิชาฟิสิกส์ เรื่อง เสียง

คำชี้แจง แบบประเมินชุดนี้แบ่งออกเป็น 2 ตอน

ตอนที่ 1 ถามความคิดเห็นผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับประสิทธิภาพการทดลอง การออกแบบใบงาน ใบความรู้และคู่มือปฏิบัติการสำหรับครู

ตอนที่ 2 ถามความคิดเห็นและข้อเสนอแนะอื่นๆ

ตอนที่ 1 ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับประสิทธิภาพการทดลอง การออกแบบ ใบงาน ใบความรู้และคู่มือปฏิบัติการสำหรับครู

คำชี้แจง กรุณาทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องที่ตรงกับความคิดเห็นของท่าน โดยมีระดับค่าคะแนน ดังนี้

- +1 หมายถึง แน่ใจว่าชุดทดลองนี้สามารถวัดได้ตรงจุดประเมินที่ระบุไว้จริง
- 0 หมายถึง ไม่แน่ใจว่าชุดทดลองนี้สามารถวัดได้ตรงจุดประเมินที่ระบุไว้จริง
- 1 หมายถึง แน่ใจว่าชุดทดลองนี้ไม่สามารถวัดได้ตรงจุดประเมินที่ระบุไว้จริง

ข้อที่	ข้อความถามความคิดเห็น	ระดับความคิดเห็น		
		+1	0	-1
	ชุดทดลอง			
	ก. ด้านประสิทธิภาพการทดลอง			
1	สามารถทดลองได้ตรงตามวัตถุประสงค์			
2	เหมาะสมกับระดับผู้เรียน			
3	ชุดทดลองสามารถทำให้การเรียนรู้เข้าใจยิ่งขึ้น			
4	ช่วยให้การอธิบายทางทฤษฎีลดน้อยลง			

ข้อที่	ข้อความความคิดเห็น	ระดับความคิดเห็น		
		+1	0	-1
	ข. ด้านการออกแบบ			
1	ใช้หลักการตามมาตรฐานสากล			
2	ชุดทดลองมีขนาดเหมาะสม			
3	มีความปลอดภัยในการทดลอง			
4	ชุดทดลองมีความมั่นคงแข็งแรง			
5	มีความสะดวกในการบำรุงรักษา			
	ค. ใ้งาน ใบความรู้และคู่มือปฏิบัติการสำหรับครู			
1	เนื้อหาทางทฤษฎีมีความสัมพันธ์กับชุดทดลอง			
2	ครอบคลุมวัตถุประสงค์เกี่ยวกับหัวข้อในการทดลอง			
3	ภาษาที่ใช้เข้าใจง่าย			
4	เวลาที่ใช้ในการสอนเหมาะสม			

ตอนที่ 2 ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อ.....

(.....)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

แบบประเมินความคิดเห็นของผู้เรียน
เกี่ยวกับ การสร้างชุดทดลองเพื่อหาค่าอัตราเร็วเสียงในของแข็งโดยวิธีการสั่นพ้องของคลื่นเสียง

แบบประเมินชุดนี้เป็นการสอบถามเพื่อให้ผู้เรียนแสดงความคิดเห็นเกี่ยวกับการสร้างชุดทดลองเพื่อหาค่าอัตราเร็วเสียงในของแข็งโดยวิธีการสั่นพ้องของคลื่นเสียง เพื่อใช้เป็นสื่อการสอน วิชาฟิสิกส์ เรื่อง เสียง

คำชี้แจง แบบประเมินชุดนี้แบ่งออกเป็น 2 ตอน

ตอนที่ 1 ถามความคิดเห็นของนักเรียนเกี่ยวกับการออกแบบชุดทดลอง ใบความรู้ ใบงานการทดลอง

ตอนที่ 2 ถามความคิดเห็นและข้อเสนอแนะอื่น ๆ

ตอนที่ 1 ความคิดเห็นของนักเรียนเกี่ยวกับการออกแบบชุดทดลอง ใบความรู้ และใบงานการทดลอง

คำชี้แจง กรุณาทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องที่ตรงกับความคิดเห็นของท่าน โดยมีระดับค่าคะแนน ดังนี้

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

ข้อที่	ข้อความถามความคิดเห็น	ระดับความคิดเห็น				
		5	4	3	2	1
	ชุดทดลอง					
	ก. ด้านการออกแบบชุดทดลอง					
1	ชุดทดลองมีความมั่นคงแข็งแรง					
2	ชุดทดลองมีความปลอดภัยในการใช้งาน					
3	ชุดทดลองมีความสะดวกในการใช้งาน					
4	ชุดทดลองมีความน่าสนใจ					

ข้อที่	ข้อคำถามความคิดเห็น	ระดับความคิดเห็น				
		5	4	3	2	1
	ข. ด้านใบความรู้					
1	ใช้ภาษาที่เข้าใจง่าย					
2	ลำดับเนื้อหาได้ดี					
3	สามารถศึกษาด้วยตนเองได้					
	ค. ใบงานการทดลอง					
1	ลำดับขั้นตอนในการทดลองเข้าใจง่าย					
2	ตารางบันทึกผลการทดลองเข้าใจง่าย					
3	คำถามท้ายการทดลองสอดคล้องกับการทดลอง					

ตอนที่ 2 ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะอื่นๆ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อ.....

(.....)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ตารางที่ ก-1 แสดงการวิเคราะห์ความคิดเห็นจากการประเมินชุดทดลองโดยผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่าน

ข้อที่	ข้อความความคิดเห็น	ระดับความคิดเห็น			IOC
		+1	0	-1	
	ชุดทดลอง				
	ก. ด้านประสิทธิภาพการทดลอง				
1	สามารถทดลองได้ตรงตามวัตถุประสงค์	5	0	0	1
2	เหมาะสมกับระดับผู้เรียน	5	0	0	1
3	ชุดทดลองสามารถทำให้การเรียนรู้เข้าใจยิ่งขึ้น	5	0	0	1
4	ช่วยให้การอธิบายทางทฤษฎีลดน้อยลง	5	0	0	1
	ค่าเฉลี่ยความสอดคล้องเฉลี่ยรวม				1
	ข. ด้านการออกแบบ				
1	ใช้หลักการตามมาตรฐานสากล	4	1	0	0.8
2	ชุดทดลองมีขนาดเหมาะสม	5	0	0	1
3	มีความปลอดภัยในการทดลอง	5	0	0	1
4	ชุดทดลองมีความมั่นคงแข็งแรง	5	0	0	1
5	มีความสะดวกในการบำรุงรักษา	5	0	0	1
	ค่าเฉลี่ยความสอดคล้องเฉลี่ยรวม				0.96
	ค. ใ้งาน ใ้ความรู้และคู่มือปฏิบัติการสำหรับครู				
1	เนื้อหาทางทฤษฎีมีความสัมพันธ์กับชุดทดลอง	5	0	0	1
2	ครอบคลุมวัตถุประสงค์เกี่ยวกับหัวข้อในการทดลอง	5	0	0	1
3	ภาษาที่ใช้เข้าใจง่าย	5	0	0	1
4	เวลาที่ใช้ในการสอนเหมาะสม	5	0	0	1
	ค่าเฉลี่ยความสอดคล้องเฉลี่ยรวม				1

ตารางที่ ก-2 (ต่อ)

ข้อ ที่	ข้อคำถามความคิดเห็น	ระดับความคิดเห็น (ร้อยละ)					คะแนน เฉลี่ย	ความเห็น
		5	4	3	2	1		
	ก. ใ้งานการทดลอง							
1	ลำดับขั้นตอนในการทดลองเข้าใจง่าย	61.11	35.56	3.33	0	0	4.50	เห็นด้วยอย่างยิ่ง
2	ตารางบันทึกผลการทดลองเข้าใจง่าย	51.14	45.45	3.41	0	0	4.40	เห็นด้วย
3	คำถามท้ายการทดลองสอดคล้องกับการทดลอง	63.54	33.15	3.31	0	0	4.53	เห็นด้วยอย่างยิ่ง
	คะแนนเฉลี่ยรวมด้านใ้งานการทดลอง						4.48	เห็นด้วย

มหาวิทยาลัยบูรพา
Burapha University

ภาคผนวก ข

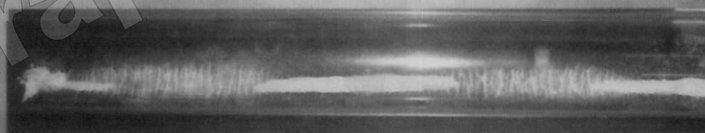
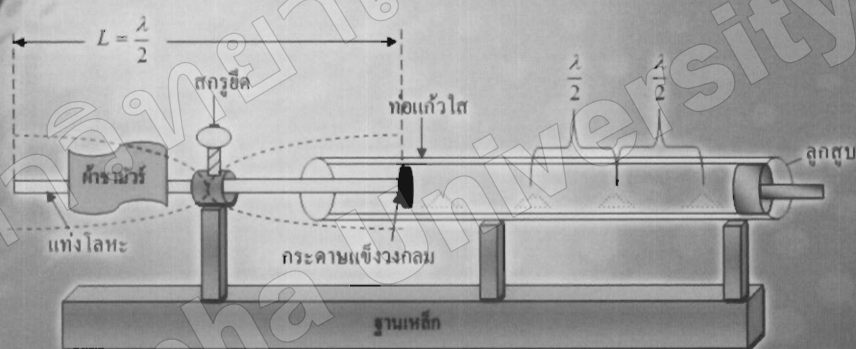
คู่มือครู

คู่มือการใช้ชุดทดลองและปฏิบัติการ เพื่อหาค่าอัตราเร็วเสียงในของแข็ง โดยวิธีการสะท้อนของคลื่นเสียง

สำหรับครู



รายวิชาฟิสิกส์ 3 รหัสวิชา ว32203



โรงเรียนธรรมโชติศึกษาลัย

อำเภอเดิมบางนางบวช จังหวัดสุพรรณบุรี
สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษาเขต 9

คำนำ

คู่มือการใช้ชุดทดลองและปฏิบัติการเพื่อหาค่าอัตราเร็วเสียงในของแข็งโดยวิธีการ
 สั่นพ้องของคลื่นเสียง ใช้สำหรับประกอบการสอนในรายวิชาฟิสิกส์ 3 (ว32203) ชั้นมัธยมศึกษา
 ปีที่ 5 ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 เพื่อให้ง่ายต่อการใช้งาน
 ผู้จัดทำจึงได้เรียบเรียงคู่มือชุดนี้ขึ้น ประกอบด้วย แผนการจัดการเรียนรู้ ใบความรู้และใบงานการ
 ทดลอง สำหรับครูผู้สอนสามารถนำไปใช้ในการจัดการเรียนการสอน

ผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่าคู่มือชุดนี้จะเป็นประโยชน์ในการจัดการเรียนการสอนในเรื่อง
 ดังกล่าวเป็นอย่างดี

ปรีณาพรรณ พิมพ์พิศาล

ครู โรงเรียนธรรมโชติศึกษาลัย

ผู้จัดทำ

เรื่อง	สารบัญ	หน้า
ข้อเสนอแนะในการใช้คู่มือปฏิบัติการสำหรับครู		1
แผนการจัดการเรียนรู้		2
ใบความรู้		16
ใบงานการทดลอง		30
1. หลักการและเหตุผล		30
2. วัตถุประสงค์ของการทดลอง		30
3. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการทดลอง		30
4. เนื้อหาและทฤษฎี		33
5. อุปกรณ์การทดลอง		33
6. วิธีการทดลอง		33
7. การบันทึกผลและจัดกระทำข้อมูลจากการทดลอง		39
8. คำถามนำไปสู่การอภิปรายผลการทดลอง		43
9. อภิปรายผลการทดลอง		43
10. สรุปผลการทดลอง		43
11. ตัวอย่างการบันทึกผลการทดลองและจัดกระทำข้อมูลการทดลอง		44
12. ตัวอย่างการอภิปรายและสรุปผลการทดลอง		56

ข้อเสนอแนะการใช้คู่มือปฏิบัติการสำหรับครู

คู่มือปฏิบัติการสำหรับครูประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. แผนการจัดการเรียนรู้
2. ใบความรู้
3. ใบงานการทดลอง

สื่อการจัดการเรียนรู้ประกอบด้วย

1. คู่มือปฏิบัติการ
2. ชุดทดลองเรื่อง การหาค่าอัตราเร็วเสียงในของแข็งโดยวิธีการสั่นพ้องของคลื่นเสียง

กระบวนการจัดการเรียนรู้

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

แนวปฏิบัติของครูผู้สอน

1. ให้ความรู้โดยการบรรยายและนำอภิปรายเรื่องอัตราเร็วของเสียงในตัวกลางที่ต่างกัน อัตราเร็วของเสียงก็จะมีค่าต่างกัน
2. ชี้แจงนักเรียนเกี่ยวกับแนวทางปฏิบัติตามระเบียบของห้องปฏิบัติการของโรงเรียน
3. ชี้แจงวัตถุประสงค์ของการทดลองพร้อมทั้งอธิบายส่วนประกอบของชุดทดลอง
4. อธิบายและสาธิตวิธีการทดลอง พร้อมทั้งซักถามความเข้าใจของนักเรียน
5. ควบคุมและดูแลการทำทดลองของนักเรียนให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

แผนการจัดการเรียนรู้

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

วิชา ฟิสิกส์

เรื่อง อัตราเร็วเสียงและการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียงผ่านตัวกลาง

สาระการเรียนรู้เพิ่มเติม

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

เวลา 2 ชั่วโมง

1. มาตรฐานการเรียนรู้

มาตรฐาน ว.5.1 เข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกับการดำรงชีวิต การเปลี่ยนรูปพลังงาน ปฏิสัมพันธ์ระหว่างสารและพลังงาน ผลของการใช้พลังงานต่อชีวิตและสิ่งแวดล้อม มีกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ สื่อสารสิ่งที่เรียนรู้ และนำความรู้ไปใช้ประโยชน์

2. ผลการเรียนรู้

1. นักเรียนสามารถบอกได้ว่าเมื่ออุณหภูมิของตัวกลางคงที่อัตราเร็วเสียงในตัวกลางนั้นจะมีค่าคงตัว
2. นักเรียนสามารถบอกได้ว่าอัตราเร็วเสียงในของแข็งต่างชนิดกันจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติความยืดหยุ่นและความหนาแน่นของวัสดุ
3. นักเรียนสามารถทำการทดลองหาค่าอัตราเร็วเสียงในของแข็งได้

3. สาระสำคัญ

เสียงเกิดจากการสั่นของแหล่งกำเนิดเสียง และถ่ายโอนพลังงานผ่านโมเลกุลของตัวกลางอย่างต่อเนื่อง โดยโมเลกุลของตัวกลางสั่นอยู่กับที่ ไม่ได้เคลื่อนที่ไปพร้อมกับเสียง อัตราเร็วเสียงในตัวกลางนั้นจะมีค่าคงตัวเมื่ออุณหภูมิของตัวกลางคงตัวและอัตราเร็วเสียงในตัวกลางต่างชนิดกัน ที่อุณหภูมิต่างกันจะมีค่าต่างกัน โดยทั่วไปแล้วคลื่นเสียงจะเคลื่อนที่ได้เร็วที่สุดในตัวกลางที่เป็นของแข็ง และเร็วน้อยลงในตัวกลางที่เป็นของเหลว และแก๊ส ตามลำดับ

4. การเรียนรู้/เนื้อหาสาระ

4.1 ธรรมชาติของเสียง

เสียงเป็นคลื่นกล (Mechanical waves) เกิดจากการสั่นของแหล่งกำเนิดเสียง เสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงต้องอาศัยตัวกลางในการถ่ายโอนพลังงานการสั่นของแหล่งกำเนิดเสียงนั้นไปยังที่ต่าง ๆ

4.2 อัตราเร็วของเสียง

เมื่อแหล่งกำเนิดเสียงสั่นและถ่ายโอนพลังงานของการสั่นผ่านตัวกลาง ทำให้คลื่นเสียงเคลื่อนที่ไป คลื่นเสียงจะมีอัตราเร็วมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับตัวกลาง โดยคลื่นเสียงจะเคลื่อนที่ได้เร็วที่สุดในตัวกลางที่เป็นของแข็ง และเร็วน้อยลงในตัวกลางที่เป็นของเหลว และแก๊ส ตามลำดับ

สำหรับการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียงในอากาศ ช่วงเวลาที่เสียงเคลื่อนที่จากแหล่งกำเนิดเสียงผ่านอากาศมาถึงผู้ฟังขึ้นอยู่กับอัตราเร็วของเสียงและระยะทางระหว่างแหล่งกำเนิดเสียงกับผู้รับฟัง ถ้าระยะห่างมาก ต้องใช้เวลานานกว่าจะได้ยินเสียง แต่ถ้าระยะใกล้ก็ใช้เวลาสั้นกว่า อัตราเร็วของคลื่นเสียงในตัวกลางหนึ่ง ๆ จะคงตัว เมื่ออุณหภูมิของตัวกลางคงตัว ดังแสดงในตารางที่ ข-1

นักฟิสิกส์ทดลองเรื่องความเร็วเสียง พบว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเสียงจะเคลื่อนที่ได้เร็วขึ้น โดยพบว่าอัตราเร็วเสียงและอุณหภูมิในหน่วยองศาสัมบูรณ์ (K) มีความสัมพันธ์กันดังนี้

$$v \propto \sqrt{T} \quad (1)$$

เมื่อ v คือ อัตราเร็วเสียงในอากาศ มีหน่วย เมตรต่อวินาที (m/s)

T คือ อุณหภูมิของอากาศ มีหน่วย เคลวิน (K)

และจากการทดลองที่อุณหภูมิ $0^{\circ}C$ หรือ $273 K$ เสียงในอากาศมีอัตราเร็วเท่ากับ $331 m/s$

จาก (1)

$$v \propto \sqrt{T}$$

$$v_i = K\sqrt{T_i} \quad (2)$$

เมื่อ K คือ ค่าคงที่ของการแปรผันตรง

v_i คือ อัตราเร็วเสียงในอากาศที่อุณหภูมิ i องศาเซลเซียส มีหน่วย เมตรต่อวินาที (m/s)

T_i คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ที่แปลตามค่าอุณหภูมิ i องศาเซลเซียส มีหน่วย เคลวิน (K)

$$v_0 = K\sqrt{T_0} \quad (3)$$

v_0 คือ อัตราเร็วเสียงในอากาศที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส มีหน่วย เมตรต่อวินาที (m/s)

T_0 คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ที่แปลตามค่าอุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส มีหน่วย เคลวิน (K)

หากนำสมการที่ (2) มารวบรวมสมการที่ (3) จะได้

$$\begin{aligned}\frac{v_t}{v_0} &= \frac{K\sqrt{T_t}}{K\sqrt{T_0}} \\ \frac{v_t}{v_0} &= \frac{\sqrt{T_t}}{\sqrt{T_0}} \\ \frac{v_t}{v_0} &= \sqrt{\frac{273+t}{273+0}} \\ \frac{v_t}{v_0} &= \sqrt{1+\frac{t}{273}}\end{aligned}\quad (4)$$

จากสมการที่ (4) ถ้าให้ $t/273$ เท่ากับ x และเมื่อ x มีค่าน้อยมากๆ เมื่อเทียบกับ 1 หรือ $x \ll 1$

ค่า $(1+x)^n = 1 + \frac{n}{1!}x + \frac{n(n-1)}{2!}x^2 + \dots + x^n$

โดยพจน์ที่สามเป็นต้นไปจะมีค่าน้อยกว่าพจน์ที่หนึ่งและพจน์ที่สองมาก

จะได้ $(1+x)^n = 1 + \frac{n}{1!}x$

เมื่อ $n = \frac{1}{2}$ จะได้ว่า $(1+x)^{\frac{1}{2}} \cong 1 + \frac{x}{2}$

ดังนั้น $\frac{v_t}{331} = 1 + \frac{t}{273 \times 2}$

$$v_t = 331 \left(1 + \frac{t}{273 \times 2} \right)$$

$$v_t = 331 + \frac{331t}{273 \times 2}$$

$$v_t = 331 + 0.6t \quad (5)$$

สรุปได้ว่า ถ้าเสียงเคลื่อนที่ในตัวกลางที่มีอุณหภูมิสูงเสียงจะเคลื่อนที่ได้เร็ว และถ้าตัวกลางที่มีอุณหภูมิต่ำ เสียงจะเคลื่อนที่ช้า โดยจะเป็นไปตามสมการที่ (5) เมื่อ t คือ อุณหภูมิของอากาศ มีหน่วย องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$)

ตารางที่ ข-1 อัตราเร็วของเสียงในตัวกลางต่าง ๆ (สสวท., 2554, หน้า 68)

ตัวกลาง	อัตราเร็ว (m/s)
แก๊ส	
อากาศ (0°C)	331
อากาศ (20°C)	343
คาร์บอนไดออกไซด์ (0°C)	259
ออกซิเจน (0°C)	316
ฮีเลียม (0°C)	965
ของเหลว	
คลอโรฟอร์ม (20°C)	1004
เอทิลแอลกอฮอล์ (20°C)	1162
ปรอท (20°C)	1450
น้ำกลั่น (20°C)	1482
น้ำทะเล (20°C)	1552
ของแข็ง	
อะลูมิเนียม (20°C)	6420
เหล็ก (20°C)	5941
แกรนิต (20°C)	6000

สำหรับสมการ $v_t = 331 + 0.6t$ จะใช้ได้เมื่ออุณหภูมิของตัวกลางไม่เกิน 50°C
นอกจากนี้การหาอัตราเร็วของคลื่นเสียงยังหาได้จากสมการ

$$v = f\lambda \quad (6)$$

และ
$$v = \frac{S}{t} \quad (7)$$

เมื่อ v คือ อัตราเร็วเสียง มีหน่วย เมตรต่อวินาที (m/s)

f คือ ความถี่คลื่นเสียง มีหน่วย เฮิรตซ์ (Hz)

λ คือ ความยาวคลื่นเสียง มีหน่วย เมตร (m)

s คือ ระยะทาง มีหน่วย เมตร (m)

t คือ เวลา มีหน่วย วินาที (s)

ถ้าอุณหภูมิเกิน 50°C ต้องใช้สมการดังนี้

$$v_t \propto \sqrt{T}$$

$$v_t = 331 \sqrt{1 + \frac{t}{273}} \quad (8)$$

$$v_t = 331 \sqrt{\frac{T}{273}} \quad (9)$$

เมื่อ t คือ อุณหภูมิของอากาศ มีหน่วย องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$)

T คือ อุณหภูมิของอากาศ มีหน่วย องศาสัมบูรณ์หรือเคลวิน (K)

การหาอัตราเร็วของคลื่นเสียงที่อุณหภูมิ 30°C จากสมการทั้งสองจะมีค่าใกล้เคียงกัน

คือจากสมการที่ (5) จะได้

$$v_t = 331 + 0.6t$$

$$= 331 + 0.6 \times 30$$

$$= 349 \text{ m/s}$$

และจากสมการ (8)

$$v_t = 331 \sqrt{1 + \frac{t}{273}}$$

$$= 331 \sqrt{1 + \frac{30^{\circ}\text{C}}{273}}$$

$$= 348.7 \text{ m/s}$$

จะเห็นว่าอัตราเร็วของคลื่นเสียงที่อุณหภูมิ 30°C จากสมการที่ (5) และ (8) อัตราเร็วของคลื่นเสียงมีค่าเท่ากับ 349 m/s และ 348.7 m/s ตามลำดับ ซึ่งให้ค่าที่ใกล้เคียงกัน

แต่ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 50°C การหาอัตราเร็วเสียงจากทั้งสองสมการจะไม่เท่ากัน เช่น การหาอัตราเร็วเสียงที่ 200°C

จากสมการที่ (5) จะได้

$$v_t = 331 + 0.6t$$

$$= 331 + 0.6 \times 200$$

$$= 451 \text{ m/s}$$

และจากสมการที่ (8) จะได้

$$v = 331 \sqrt{1 + \frac{t}{273}}$$

$$= 331 \sqrt{1 + \frac{200}{273}}$$

$$= 435.7 \text{ m/s}$$

จะเห็นว่าถ้าอุณหภูมิตั้งแต่ 50°C ขึ้นไปจะใช้สมการที่ (5) $v_r = 331 + 0.6t$ ไม่ได้ เพราะค่าที่ได้ผิดพลาดมากเมื่อเทียบกับการหาโดยใช้สมการที่ (8)

อัตราเร็วเสียงในของแข็งที่เป็นเส้น

อัตราเร็วเสียงในของแข็งที่เป็นเส้น ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นและมอดูลัสของยัง (Young's Modulus) ของของแข็งที่เป็นเส้น ตามสมการ

$$v = \sqrt{\frac{Y}{\rho}} \quad (10)$$

เมื่อ v คือ อัตราเร็วเสียงในของแข็ง มีหน่วย เมตรต่อวินาที (m/s)

ρ คือ ความหนาแน่นของของแข็ง มีหน่วย กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (kg/m^3)

Y คือ ค่ามอดูลัสของยังของของแข็ง มีหน่วย นิวตันต่อตารางเมตร (N/m^2)

โดยค่า Y สามารถคำนวณหาได้จาก

$$Y = \frac{\text{stress}}{\text{strain}} = \frac{\text{ความเค้น}}{\text{ความเครียด}} = \frac{F/A}{\Delta L/L} \quad (11)$$

เมื่อ F คือ แรงดึงที่กระทำของเส้นของแข็ง มีหน่วย นิวตัน (N)

A คือ พื้นที่ภาคตัดขวางของเส้นของแข็ง มีหน่วย ตารางเมตร (m^2)

L คือ ความยาวของเส้นของแข็ง มีหน่วย เมตร (m)

ΔL คือ ความยาวที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อมีแรงดึงมากระทำ มีหน่วย เมตร (m)

ตารางที่ ข-2 สมบัติของสสารที่เป็นของแข็ง (DAVID T. BLACKSTOCK, 2000, pp. 461 – 463)

Material	Density ρ_0 (kg/m^3)	Young's Modulus Y (GPa)	Shear Modulus G (GPa)	Adiabatic Bulk Modulus B (GPa)	Speed c m/s		Characteristic Impedance $(\rho_0 c_0)$ (MKS Mrayls)	
					Bar	Bulk	Bar	Bulk
Aluminum	2700	71	24	75	5150	6300	13.9	17.0
Brass	8500	104	38	136	3500	4700	29.8	40.0
Copper	8900	122	44	160	3700	5000	33.0	44.5
Iron (cast)	7700	105	44	86	3700	4350	28.5	33.5
Lead	11300	16.5	5.5	42	1200	2050	13.6	23.2
Nickel	8800	210	80	190	4900	5850	43.0	51.5
Silver	10500	78	28	105	2700	3700	28.4	39.0
Steel	7700	195	83	170	5050	6100	39.0	47.0
Glass (Pyrex)	2300	62	25	39	5200	5600	12.0	12.9
Lucite	1200	4	1.4	6.5	1800	2650	2.15	3.2

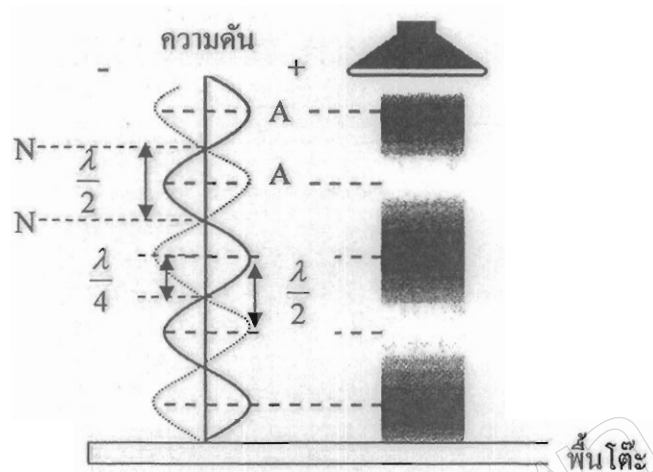
4.3 ความถี่ธรรมชาติ

ความถี่ธรรมชาติ (Natural Frequency) คือ จำนวนรอบของการแกว่งอย่างอิสระด้วยตัวเองของวัตถุในเวลา 1 วินาที มีหน่วยเป็น Hertz (รอบ/วินาที) ซึ่งเป็นความถี่เฉพาะตัวของวัตถุจะมีเพียงค่าเดียวหรืออาจมีได้หลายๆ ค่า ขึ้นอยู่กับชนิดและลักษณะการสั่นของวัตถุ ความถี่ธรรมชาติที่ต่ำที่สุดที่วัตถุสั่นได้ เรียกว่า ความถี่พื้นฐาน (Fundamental Frequency) ส่วนความถี่ธรรมชาติอื่นๆ เราจะเรียกว่า โอเวอร์ โทน (overtone) ซึ่งจะมีค่าเป็นจำนวนเท่าของความถี่พื้นฐาน ถ้าวัตถุสั่นด้วยความถี่ธรรมชาติวัตถุจะสั่นแรงกว่าปกติหรือแอมพลิจูดของการสั่นมีค่ามากที่สุด ซึ่งเรียกว่า การสั่นพ้อง (Resonance)

วัตถุต่าง ๆ ที่ถูกตึง เช่น สะพานแขวน ชิงช้า ลูกตุ้มที่แขวนเชือก สายไฟที่ขึงบนเสา กลางทุ่ง เมื่อถูกแรงกระทำแล้วปล่อยจะสั่นหรือแกว่ง เช่น ถ้าผูกเชือกคิควัดห้อยไว้ในแนวดิ่ง เมื่อให้มวลนั้นสั่น เราพบว่ามวลจะสั่นกลับไป-กลับมา แต่ถ้าเราผลักมวลต่อไปเรื่อยๆ โดยให้จังหวะของการผลักสอดคล้องกับการสั่นของมวลพอดี เราพบว่าใช้แรงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น มวลก็จะสั่นแรงขึ้น ในทางตรงข้ามถ้าแรงที่เราให้ไม่สอดคล้องกับการครบรอบของมวล จะทำให้มวลนั้นสั่นด้วยแอมพลิจูดที่เล็กลง ถึงแม้ว่าเราจะให้แรงมากก็ตาม

4.4 คลื่นนิ่งของเสียง

คลื่นนิ่ง (Standing Waves) เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจากการรวมกันของคลื่นเสียง 2 ขบวน ที่มีความยาวคลื่น ความถี่และแอมพลิจูดเท่ากัน ทำให้เกิดการรวมกันเป็นคลื่นนิ่ง เช่น เมื่อเสียงจากลำโพงเคลื่อนที่ไปกระทบพื้นโต๊ะจะมีคลื่นเสียงสะท้อนออกจากพื้นโต๊ะเสียงที่สะท้อนนี้ จะมีความถี่เท่ากับเสียงที่ตกกระทบพื้นโต๊ะ และเสียงสะท้อนนี้จะซ้อนทับกับเสียงที่ออกจากลำโพง โดยตรงทำให้เกิดปรากฏการณ์การแทรกสอดที่มีลักษณะเป็นคลื่นนิ่งได้โดยเราจะได้ยินเสียงดัง (ปฏิบัพ หรือ Antinode) และเสียงค่อย (บัพ หรือ Node) สลับกันดังภาพที่ ข-1



ภาพที่ ข-1 แสดงคลื่นนิ่งของเสียง (คัดแปลงจาก สสวท, 2551, หน้า 97)

จากภาพ ตำแหน่งบีบที่อยู่ติดกัน (N-N) ห่างกัน $\frac{\lambda}{2}$

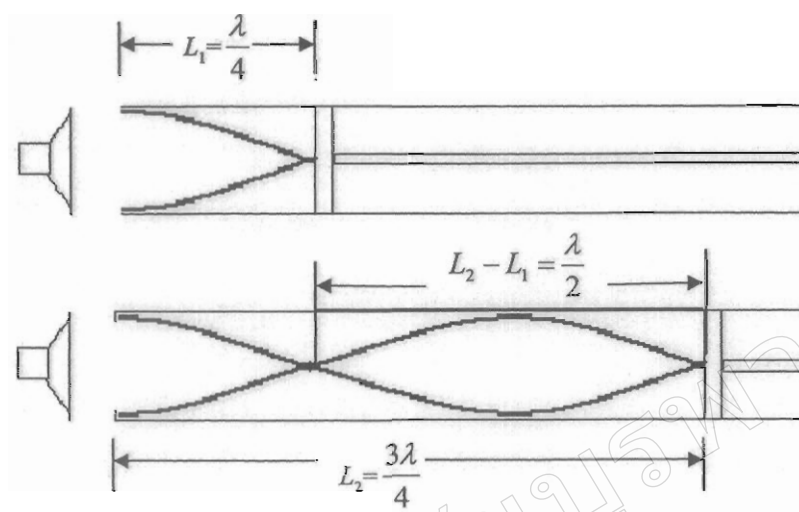
ตำแหน่งปฏิกิริยาที่อยู่ติดกัน (A-A) ห่างกัน $\frac{\lambda}{2}$

ตำแหน่งบีบและปฏิกิริยาที่อยู่ติดกัน (A-N) ห่างกัน $\frac{\lambda}{4}$

4.5 การสั่นพ้องของคลื่นในท่ออากาศ

เมื่อเกิดการรบกวนตัวกลางใด ๆ แล้วจะเกิดคลื่นขึ้นมาในตัวกลางนั้น โดยตัวกลางจะแกว่งด้วยความถี่เป็นไปตามธรรมชาติของตัวกลางนั้น ๆ ความถี่ของคลื่นที่เกิดขึ้นเรียกว่า ความถี่ธรรมชาติ โดยปกติอนุภาคในตัวกลางจะสั่นด้วยความถี่ธรรมชาติของมันถ้าเราให้ความถี่กับตัวกลาง เช่น เส้นเชือกหรืออากาศที่อยู่ในท่อ เท่ากับความถี่ธรรมชาติของตัวกลาง ผลก็คือจะทำให้อนุภาคในตัวกลางสั่นด้วยแอมพลิจูดสูงสุด ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การเกิดการสั่นพ้อง (Resonance)

การสั่นพ้องของเสียง คือปรากฏการณ์ที่เสียงเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางแล้วอนุภาคของตัวกลางมีการสั่นด้วยความถี่เดียวกับความถี่ของแหล่งกำเนิดเสียง ถ้าเราให้คลื่นเสียงเคลื่อนที่ผ่านอากาศที่อยู่ในท่อการสั่นพ้อง ณ ตำแหน่งที่เกิดการสั่นพ้องจะได้ยินเสียงดังที่สุด ขณะที่เกิดการสั่นพ้องของเสียงในท่ออากาศจะมีการแทรกสอดระหว่างคลื่นเสียงจากแหล่งกำเนิดกับคลื่นเสียงที่สะท้อนจากท่อสั่นพ้องทำให้เกิดคลื่นนิ่งขึ้น และระยะทางระหว่างตำแหน่งเสียงดังที่สุดครั้งที่หนึ่งกับครั้งที่สองจะมีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่นเสียงดังแสดงในภาพที่ ข-2



ภาพที่ ข-2 การเกิดการสั่นพ้องในท่ออากาศ

(คัดแปลงจาก: <http://www.thaigoodview.com/node/16869?page=0%2C15>)

จากภาพที่ ข-2 ถ้าให้ L_1 แทนระยะจากลำโพงถึงตำแหน่งเสียงดังที่สุดครั้งที่หนึ่ง โดย $L_1 = \lambda/4$ และ L_2 แทนระยะทางจากลำโพงถึงตำแหน่งเสียงดังที่สุดครั้งที่สองโดย $L_2 = 3\lambda/4$ จะได้

$$L_2 - L_1 = \frac{\lambda}{2} \quad (12)$$

ถ้าให้ $\Delta L = L_2 - L_1$ สมการที่ (12) สามารถเขียนได้ดังนี้

$$\Delta L = \frac{\lambda}{2} \quad (13)$$

ดังนั้นความยาวคลื่นของเสียงจะหาได้จากสองเท่าของผลต่างของระยะของตำแหน่งเสียงดังที่สุดที่อยู่ติดกันดังแสดงในสมการที่ (14)

$$\lambda = 2\Delta L \quad (14)$$

และเมื่อทราบความยาวคลื่นและความถี่เสียงก็สามารถคำนวณหาอัตราเร็วของเสียงในอากาศได้ดังสมการที่ (15)

$$v = \lambda f \quad (15)$$

5. กระบวนการเรียนรู้

5.1 ขั้นสร้างความสนใจ (10 นาที)

1. ครูตั้งปัญหาให้นักเรียนอภิปรายว่า ในสมัยก่อนทำไมคนถึงเอาหูแนบกับพื้นดิน เพื่อฟังเสียงว่ามีคนหรือสัตว์เคลื่อนที่หรือไม่ หรือถ้าต้องการจะทราบว่ามีรถไฟเคลื่อนที่มาหรือไม่ ก็ฟังเสียงโดยเอาหูแนบกับรางรถไฟ โดยครูยังไม่สรุปผลการอภิปราย

5.2 ขั้นสำรวจและค้นหา (เวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที)

1. ครูให้ความรู้โดยการบรรยายและอภิปรายในหัวข้อ อัตราเร็วของเสียงในตัวกลางแต่ละชนิดและการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียงผ่านตัวกลาง

2. ครูนำเสนอการทดลองเรื่องการหาค่าอัตราเร็วเสียงในของแข็งโดยวิธีการสั่นพ้องของเสียง โดยมีลำดับดังต่อไปนี้

- อธิบายทฤษฎีและการคำนวณหาค่าอัตราเร็วเสียงในของแข็ง
- อธิบายวัตถุประสงค์ของการทดลอง
- แนะนำอุปกรณ์การทดลอง
- อธิบายและสาธิตวิธีการทดลอง
- อธิบายวิธีการจัดกระทำข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

3. ครูให้นักเรียนลงมือทำการทดลองโดยใช้คู่มือปฏิบัติการเป็นแนวทางในการทดลอง โดยที่ครูคอยควบคุมและดูแลการทำการทดลองของนักเรียนให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์

4. เมื่อนักเรียนทำการทดลองเสร็จแล้ว ครูคอยควบคุมให้นักเรียนทำความสะอาดอุปกรณ์และเก็บอย่างเป็นระเบียบ

5.3 ขั้นอภิปรายและลงข้อสรุป (10 นาที)

1. ครูนำอภิปรายและซักถามนักเรียนเพื่อสรุปเนื้อหาด้วยคำถามต่อไปนี้

- ตัวแปรใดบ้างที่มีผลต่ออัตราเร็วเสียง
- อัตราเร็วเสียงในของแข็งแต่ละชนิดมีค่าเท่ากันหรือไม่ ปัจจัยใดส่งผลให้ค่าอัตราเร็วเสียงในของแข็งต่างกัน
- การใช้ชุดทดลองทดสอบค่าอัตราเร็วเสียงในของแข็ง มีความคลาดเคลื่อนมากน้อยเพียงใด มีสาเหตุจากอะไรบ้าง
- ผลที่ได้จากการทดลองมีความสัมพันธ์กับค่ามาตรฐานหรือไม่อย่างไร

2. ครูสรุปเนื้อหาและผลการทดลองที่ได้ พร้อมทั้งอธิบายเพิ่มเติมว่าการทดลองนี้สามารถใช้ตรวจสอบทฤษฎีได้หรือไม่ อย่างไร

5.4 ขั้ขยายความรู้ (เวลา 10 นาที)

1. ครูให้นักเรียนร่วมกันยกตัวอย่างการใช้ประโยชน์จากความรู้เรื่องอัตราเร็วเสียง
2. ครูมอบหมายให้นักเรียนกลับไปเขียนรายงานการทดลองเป็นการบ้านรายบุคคล แล้วนำมาส่งครูในชั่วโมงหน้า

5.5 ขั้ประเมิน

1. วัดความเข้าใจของนักเรียน โดยการสังเกตความสนใจ ความตั้งใจเรียน การแสดงความคิดเห็น การตอบคำถามและการมีส่วนร่วมในกิจกรรมการเรียนรู้
2. ตรวจสอบจากรายงานการทดลองของนักเรียนเป็นรายบุคคล

6. สื่อการเรียนรู้

1. หนังสือเรียน รายวิชาเพิ่มเติม ฟิสิกส์ เล่ม 3 สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีกระทรวงศึกษาธิการ
2. คู่มือปฏิบัติการเรื่องการหาอัตราเร็วเสียงในของแข็งโดยวิธีการสั่นพ้องของคลื่นเสียง
3. ชุดทดลองการหาอัตราเร็วเสียงในของแข็งโดยวิธีการสั่นพ้องของคลื่นเสียง

7. แหล่งการเรียนรู้

1. ห้องสมุดโรงเรียน
2. ห้องค้นคว้า (อินเทอร์เน็ต)

บันทึกหลังการสอน

ผลการสอน/ผลการจัดการเรียนรู้

.....

.....

.....

ปัญหาที่พบ

.....

.....

.....

แนวทางแก้ไขเพื่อปรับปรุงพัฒนา

.....

.....

.....

ผลการพัฒนา (เป็นบันทึกหลังจากที่ได้พัฒนาผู้เรียนด้วยวิธีต่างๆ แล้ว)

.....

.....

.....

ลงชื่อ

(คุณครูปริณาพรรณ พิมพ์พิศาล)

ผู้สอน

ความเห็นผู้นิเทศ

.....

.....

ลงชื่อ.....

(.....)

ใบความรู้

เรื่อง การหาอัตราเร็วเสียงในของแข็งโดยวิธีการสะท้อนของคลื่นเสียง

เนื้อหาและทฤษฎี

1. ธรรมชาติของเสียง

เสียงเป็นคลื่นกล (Mechanical waves) ที่เกิดจากการสั่นของวัตถุ เสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงต้องอาศัยตัวกลางในการถ่ายโอนพลังงานการสั่นของแหล่งกำเนิดเสียงนั้นไปยังที่ต่าง ๆ

2. อัตราเร็วของเสียง

เมื่อแหล่งกำเนิดเสียงสั่นและถ่ายโอนพลังงานของการสั่นผ่านตัวกลาง ทำให้คลื่นเสียงเคลื่อนที่ไป คลื่นเสียงจะมีอัตราเร็วมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับตัวกลาง โดยคลื่นเสียงจะเคลื่อนที่ได้เร็วที่สุดในตัวกลางที่เป็นของแข็ง และเร็วขึ้นในตัวของเหลว และแก๊ส ตามลำดับ

สำหรับการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียงในอากาศ ช่วงเวลาที่เสียงเคลื่อนที่จากแหล่งกำเนิดเสียงผ่านอากาศมาถึงผู้ฟังขึ้นอยู่กับอัตราเร็วของเสียงและระยะทางระหว่างแหล่งกำเนิดเสียงกับผู้รับฟัง ถ้าระยะทางมาก ต้องใช้เวลานานกว่าจะได้ยินเสียง แต่ถ้าระยะใกล้ก็จะใช้เวลาสั้นกว่า อัตราเร็วของคลื่นเสียงในตัวกลางหนึ่ง ๆ จะคงตัว เมื่ออุณหภูมิของตัวกลางคงตัว ดังแสดงในตารางที่ ข-1

นักฟิสิกส์ทดลองเรื่องความเร็วเสียง พบว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเสียงจะเคลื่อนที่ได้เร็วขึ้น โดยพบว่าอัตราเร็วเสียงและอุณหภูมิในหน่วยองศาสัมบูรณ์ (K) มีความสัมพันธ์กันดังนี้

$$v \propto \sqrt{T} \quad (1)$$

เมื่อ v คือ อัตราเร็วเสียงในอากาศ มีหน่วย เมตรต่อวินาที (m/s)

T คือ อุณหภูมิของอากาศ มีหน่วย องศาสัมบูรณ์หรือเคลวิน (K)

และจากการทดลองที่อุณหภูมิ $0^{\circ}C$ หรือ $273 K$ เสียงในอากาศมีอัตราเร็วเท่ากับ $331 m/s$

จาก (1)

$$v_i = K\sqrt{T_i} \quad (2)$$

เมื่อ K คือ ค่าคงที่ของการแปรผันตรง

$$v_0 = K\sqrt{T_0} \quad (3)$$

เมื่อ v_i คือ อัตราเร็วเสียงในอากาศที่อุณหภูมิ i องศาเซลเซียส (m/s)

v_0 คือ อัตราเร็วเสียงในอากาศที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส (m/s)

T_i คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ที่แปลตามค่าอุณหภูมิ i องศาเซลเซียส (K)

T_0 คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ที่แปลตามค่าอุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส (K)

หากนำสมการที่ (2) มารวบรวมสมการที่ (3) จะได้

$$\frac{v_i}{v_0} = \frac{K\sqrt{T_i}}{K\sqrt{T_0}}$$

$$\frac{v_i}{v_0} = \frac{\sqrt{T_i}}{\sqrt{T_0}}$$

$$\frac{v_i}{v_0} = \frac{\sqrt{273+t}}{\sqrt{273+0}}$$

$$\frac{v_i}{v_0} = \sqrt{1 + \frac{t}{273}}$$

(4)

จากสมการที่ (4) ถ้าให้ $t/273$ เท่ากับ x และเมื่อ x มีค่าน้อยมาก ๆ เมื่อเทียบกับ 1 หรือ $x \ll 1$

ถ้า

$$(1+x)^n = 1 + \frac{n}{1!}x + \frac{n(n-1)}{2!}x^2 + \dots + x^n$$

โดยพจน์ที่สามเป็นต้นไปจะมีค่าน้อยกว่าพจน์ที่หนึ่งและพจน์ที่สองมาก

จะได้เป็น

$$(1+x)^n = 1 + \frac{n}{1!}x$$

เมื่อ $n = \frac{1}{2}$ จะได้ว่า

$$(1+x)^{\frac{1}{2}} \approx 1 + \frac{x}{2}$$

ดังนั้น

$$\frac{v_i}{331} = 1 + \frac{t}{273 \times 2}$$

$$v_i = 331 \left(1 + \frac{t}{273 \times 2} \right)$$

$$v_i = 331 + \frac{331t}{273 \times 2}$$

$$v_i = 331 + 0.6t$$

(5)

สรุปได้ว่า ถ้าเสียงเคลื่อนที่ในตัวกลางที่มีอุณหภูมิสูงเสียงจะเคลื่อนที่ได้เร็ว และถ้าตัวกลางที่มีอุณหภูมิต่ำ เสียงจะเคลื่อนที่ช้า โดยจะเป็นไปตามสมการที่ (5) เมื่อ t คือ อุณหภูมิของอากาศ มีหน่วย องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$)

ตารางที่ ข-1 อัตราเร็วของเสียงในตัวกลางต่าง ๆ (สสวท., 2554, หน้า 68)

ตัวกลาง	อัตราเร็ว (m/s)
แก๊ส	
อากาศ (0°C)	331
อากาศ (20°C)	343
คาร์บอนไดออกไซด์ (0°C)	259
ออกซิเจน (0°C)	316
ฮีเลียม (0°C)	965
ของเหลว	
คลอโรฟอร์ม (20°C)	1004
เอทิลแอลกอฮอล์ (20°C)	1162
ปรอท (20°C)	1450
น้ำกลั่น (20°C)	1482
น้ำทะเล (20°C)	1552
ของแข็ง	
อะลูมิเนียม (20°C)	6420
เหล็ก (20°C)	5941
แกรนิต (20°C)	6000

สำหรับสมการ $v_t = 331 + 0.6t$ จะใช้ได้เมื่ออุณหภูมิของตัวกลางไม่เกิน 50°C นอกจากนี้การหาอัตราเร็วของคลื่นเสียงยังหาได้จากสมการ

$$v = f\lambda \quad (6)$$

และ
$$v = \frac{s}{t} \quad (7)$$

เมื่อ v คือ อัตราเร็วเสียง มีหน่วย เมตรต่อวินาที (m/s)

f คือ ความถี่คลื่นเสียง มีหน่วย เฮิรตซ์ (Hz)

λ คือ ความยาวคลื่นเสียง มีหน่วย เมตร (m)

s คือ ระยะทาง มีหน่วย เมตร (m)

t คือ เวลา มีหน่วย วินาที (s)

ถ้าอุณหภูมิเกิน $50^{\circ}C$ ต้องใช้สมการดังนี้

$$v_t \propto \sqrt{T}$$

$$v_t = 331 \sqrt{1 + \frac{t}{273}} \quad (8)$$

$$v_t = 331 \sqrt{\frac{T}{273}} \quad (9)$$

เมื่อ t คือ อุณหภูมิของอากาศ มีหน่วย องศาเซลเซียส ($^{\circ}C$)

T คือ อุณหภูมิของอากาศ หน่วย องศาสัมบูรณ์หรือเคลวิน (K)

การหาอัตราเร็วของคลื่นเสียงที่อุณหภูมิ $30^{\circ}C$ จากสมการทั้งสองจะมีค่าใกล้เคียงกัน
คือจากสมการที่ (5) จะได้

$$v_t = 331 + 0.6t$$

$$= 331 + 0.6 \times 30$$

$$= 349 \text{ m/s}$$

และจากสมการ (8)

$$v_t = 331 \sqrt{1 + \frac{t}{273}}$$

$$= 331 \sqrt{1 + \frac{30^{\circ}C}{273}}$$

$$= 348.7 \text{ m/s}$$

จะเห็นว่าอัตราเร็วของคลื่นเสียงที่อุณหภูมิ $30^{\circ}C$ จากสมการที่ (5) และ (8) อัตราเร็วของคลื่นเสียงมีค่าเท่ากับ 349 m/s และ 348.7 m/s ตามลำดับ ซึ่งให้ค่าที่ใกล้เคียงกัน

แต่ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า $50^{\circ}C$ การหาอัตราเร็วเสียงจากทั้งสองสมการจะไม่เท่ากัน เช่น การหาอัตราเร็วเสียงที่ $200^{\circ}C$

จากสมการที่ (5) จะได้

$$\begin{aligned}v_i &= 331 + 0.6t \\&= 331 + 0.6 \times 200 \\&= 451 \text{ m/s}\end{aligned}$$

และจากสมการที่ (8) จะได้

$$\begin{aligned}v &= 331 \sqrt{1 + \frac{t}{273}} \\&= 331 \sqrt{1 + \frac{200}{273}} \\&= 435.7 \text{ m/s}\end{aligned}$$

จะเห็นว่าถ้าอุณหภูมิตั้งแต่ 50°C ขึ้นไปจะใช้สมการที่ (5) $v_i = 331 + 0.6t$ ไม่ได้ เพราะค่าที่ได้ผิดพลาดมากเมื่อเทียบกับการหาโดยใช้สมการที่ (8)

อัตราเร็วเสียงในของแข็งที่เป็นเส้น

อัตราเร็วเสียงในของแข็งที่เป็นเส้น ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นและมอดูลัสของยัง (Young's Modulus) ของของแข็งที่เป็นเส้น ตามสมการ

$$v = \sqrt{\frac{Y}{\rho}} \quad (10)$$

เมื่อ v คือ อัตราเร็วเสียงในของแข็ง มีหน่วย เมตรต่อวินาที (m/s)

ρ คือ ความหนาแน่นของของแข็ง มีหน่วย กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (kg/m^3)

Y คือ ค่ามอดูลัสของยังของของแข็ง มีหน่วย นิวตันต่อตารางเมตร (N/m^2)

โดยค่า Y สามารถคำนวณหาได้จาก

$$Y = \frac{\text{stress}}{\text{strain}} = \frac{\text{ความเค้น}}{\text{ความเครียด}} = \frac{F/A}{\Delta L/L} \quad (11)$$

เมื่อ F คือ แรงดึงที่กระทำของเส้นของแข็ง มีหน่วย นิวตัน (N)

A คือ พื้นที่ภาคตัดขวางของเส้นของแข็ง มีหน่วย ตารางเมตร (m^2)

L คือ ความยาวของเส้นของแข็ง มีหน่วย เมตร (m)

ΔL คือ ความยาวที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อมีแรงดึงมากระทำ มีหน่วย เมตร (m)

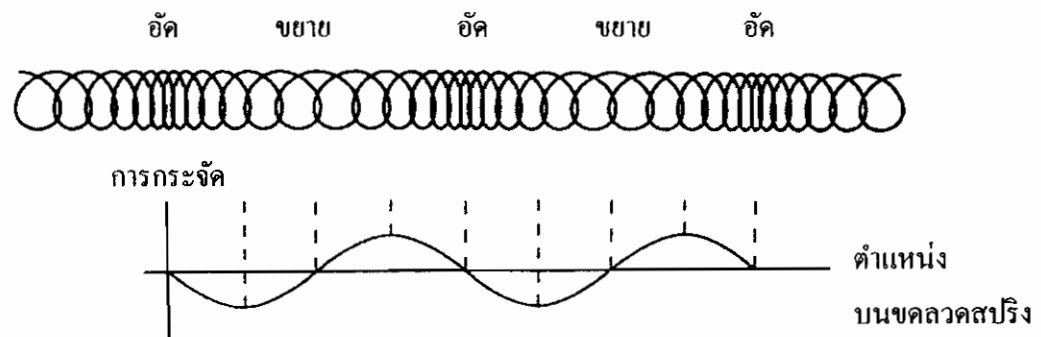
ตารางที่ ข-2 สมบัติของสารที่เป็นของแข็ง (DAVID T. BLACKSTOCK, 2000, pp. 461 – 463)

Material	Density ρ_0 (kg/m^3)	Young's Modulus Y (GPa)	Shear Modulus G (GPa)	Adiabatic Bulk Modulus B (GPa)	Speed c m/s		Characteristic Impedance $(\rho_0 c_0)$ (MKS Mrayls)	
					Bar	Bulk	Bar	Bulk
Aluminum	2700	71	24	75	5150	6300	13.9	17.0
Brass	8500	104	38	136	3500	4700	29.8	40.0
Copper	8900	122	44	160	3700	5000	33.0	44.5
Iron (cast)	7700	105	44	86	3700	4350	28.5	33.5
Lead	11300	16.5	5.5	42	1200	2050	13.6	23.2
Nickel	8800	210	80	190	4900	5850	43.0	51.5
Silver	10500	78	28	105	2700	3700	28.4	39.0
Steel	7700	195	83	170	5050	6100	39.0	47.0
Glass (Pyrex)	2300	62	25	39	5200	5600	12.0	12.9
Lucite	1200	4	1.4	6.5	1800	2650	2.15	3.2

3. การเคลื่อนที่ของคลื่นเสียงผ่านตัวกลาง

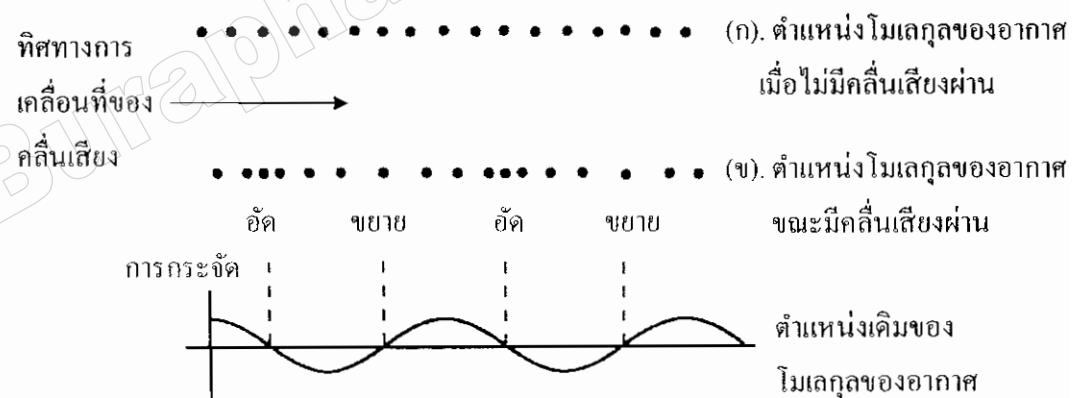
คลื่นเสียงเกิดจากการสั่นของวัตถุที่เป็นแหล่งกำเนิดเสียง พลังงานการสั่นของแหล่งกำเนิดจะถูกถ่ายโอนให้แก่โมเลกุลของตัวกลางที่ติดกับแหล่งกำเนิดนั้นและถ่ายโอนพลังงานให้แก่โมเลกุลถัดไปเรื่อย ๆ จนถึงหูผู้ฟัง ผลที่เกิดขึ้นคือ คลื่นเสียงเคลื่อนที่จากแหล่งกำเนิดเสียง โดยมีโมเลกุลตัวกลางทำหน้าที่ถ่ายโอนพลังงานของคลื่นเสียงนั้น โดยโมเลกุลของตัวกลางไม่ได้เคลื่อนที่ไปกับคลื่นเสียงนั้น

สำหรับคลื่นเสียงในอากาศ เมื่อแหล่งกำเนิดเสียงสั่น พลังงานของการสั่นจะถูกถ่ายโอนให้แก่โมเลกุลของอากาศที่อยู่รอบ ๆ โดยการชนระหว่างโมเลกุล เมื่อพิจารณาแนวการถ่ายโอนพลังงานของคลื่นเสียงกับแนวการสั่นของโมเลกุลของอากาศซึ่งเป็นอนุภาคของตัวกลางแล้วจะพบว่าอยู่ในแนวเดียวกัน ดังนั้น คลื่นเสียงจึงเป็นคลื่นตามยาว (Longitudinal Wave) เนื่องจากโมเลกุลของอากาศมีขนาดเล็กมาก จึงไม่สามารถสังเกตลักษณะการเคลื่อนที่ของโมเลกุลได้โดยตรง เราจะพิจารณาโดยใช้ขดลวดสปริงเป็นแบบจำลองแทน ขณะที่ไม่มีคลื่นเคลื่อนที่ผ่านขดลวดสปริงแต่ละขดลวดของสปริงจะอยู่ห่างเท่ากันตลอดเวลา เมื่อมีคลื่นตามยาวเคลื่อนที่ผ่านขดลวดสปริงอย่างต่อเนื่องจะพบว่าระยะห่างของแต่ละขดนี้จะมีค่าต่างกัน ถ้าพิจารณาที่เวลาขณะใดขณะหนึ่ง ส่วนของขดลวดสปริงที่อยู่ชิดกว่าปกติ เรียกว่า ส่วนอัด (Compression) ส่วนที่อยู่ห่างกว่าปกติ เรียกว่า ส่วนขยาย (Expansion) ถ้าพิจารณาบริเวณส่วนอัดจะเห็นว่าขดลวดสปริงที่อยู่ตรงกลางไม่มีการเคลื่อนที่เพราะถูกขดลวดส่วนที่อยู่ทางขวาและส่วนที่อยู่ทางซ้ายอัดเข้ามา การกระจัดของขดลวดตรงกลางส่วนอัดจึงเป็นศูนย์ เมื่อพิจารณาบริเวณส่วนขยายจะเห็นว่าขดลวดสปริงที่อยู่ตรงกลางก็ไม่มีการเคลื่อนที่เช่นกันเพราะถูกขดลวดส่วนที่อยู่ทางขวาและส่วนที่อยู่ทางซ้ายดึงการกระจัดของขดลวดตรงกลางส่วนขยายจึงเป็นศูนย์ เมื่อเขียนกราฟแสดงการกระจัดเทียบกับตำแหน่งบนขดลวดสปริง จะได้ดังภาพที่ ข-3



ภาพที่ ข-3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดออกจากตำแหน่งเดิมของขดลวดสปริงกับตำแหน่งต่าง ๆ บนสปริงขณะที่คลื่นตามยาวผ่าน (สสวท., 2551, หน้า 70)

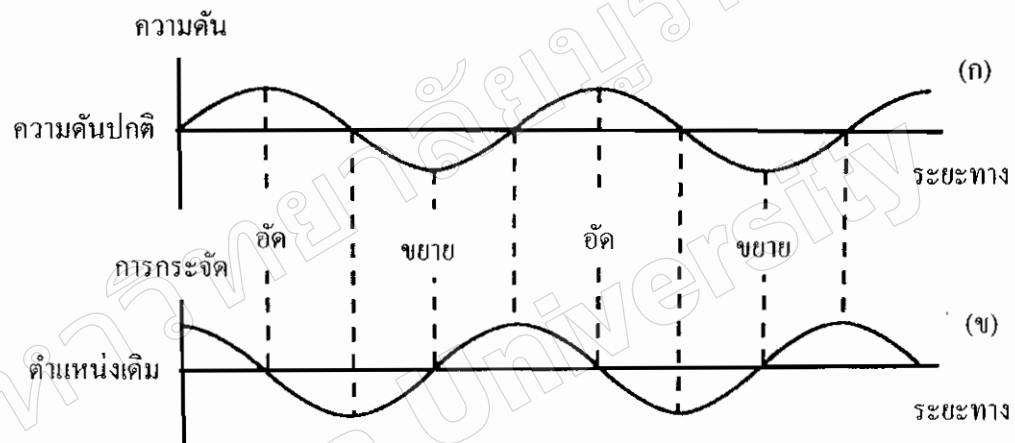
เมื่อพิจารณาโมเลกุลของอากาศอยู่ในแนวเส้นตรงจากแหล่งกำเนิดเสียง ขณะไม่มีคลื่นเสียงเคลื่อนที่ผ่าน โดยเฉลี่ยแต่ละโมเลกุลของอากาศอยู่ห่างกันเป็นระยะเท่ากัน โดยตลอด ดังภาพที่ ข-4 (ก) เมื่อมีคลื่นเสียงเคลื่อนที่ผ่าน ระยะระหว่างโมเลกุลของอากาศจะเปลี่ยนไปตามลักษณะที่เป็นส่วนอัดและส่วนขยายดังภาพที่ ข-4 (ข) และกราฟระหว่างระยะห่างจากตำแหน่งเดิมของอนุภาคอากาศตามแนวการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียงจะเป็นลักษณะเดียวกันกับการเกิดคลื่นตามยาวในขดลวดสปริง ดังแสดงในภาพที่ ข-4 (ค)



(ค). กราฟระหว่างการกระจัดของโมเลกุลของอากาศกับตำแหน่งต่าง ๆ ตามแนวการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียง

ภาพที่ ข-4 คลื่นเสียงขณะเคลื่อนที่ผ่านอากาศ (สสวท., 2551, หน้า 70)

ขณะที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่านอากาศ โมเลกุลของอากาศบริเวณที่เป็นส่วนอัดจะมีจำนวนมากกว่าปกติทำให้ความดันอากาศที่บริเวณส่วนอัดสูงกว่าความดันปกติ ส่วนโมเลกุลของอากาศในบริเวณที่เป็นส่วนขยายจะมีจำนวนน้อยกว่าปกติ ทำให้ความดันของอากาศในบริเวณส่วนขยายต่ำกว่าปกติ ดังนั้น บริเวณตรงกลางของส่วนอัดจึงมีความดันเพิ่มขึ้นจากปกติมากที่สุด และตรงกลางของส่วนขยายก็มีความดันลดลงจากปกติมากที่สุด ดังนั้นเมื่อพิจารณาคลื่นเสียงที่เคลื่อนที่ผ่านอากาศขณะใดขณะหนึ่ง กราฟระหว่างความดันของอากาศ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ตามแนวการเคลื่อนที่ของเสียงเป็นดังภาพที่ ข-5 (ก) และกราฟระหว่างการกระจัดของโมเลกุลอากาศตามแนวการเคลื่อนที่ของเสียงเป็นดังภาพที่ ข-5 (ข)



ภาพที่ ข-5 (ก). กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับตำแหน่งต่าง ๆ ตามแนวการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียง

(ข). กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดของอนุภาคกับตำแหน่งต่าง ๆ ตามแนวการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียง (สสวท., 2551, หน้า 71)

คลื่นเสียงเกิดจากการสั่นของแหล่งกำเนิดเสียง พลังงานการสั่นของแหล่งกำเนิดเสียงนี้จะถูกถ่ายโอนให้กับโมเลกุลของอากาศ ทำให้ความดันอากาศเปลี่ยนแปลงแต่ความถี่ของการเปลี่ยนแปลงก็ยังคงเท่ากับควมถี่ของแหล่งกำเนิดเสียงจนกระทั่งถึงหูผู้ฟัง ทำให้ผู้ฟังได้ยินเสียงที่มีความถี่เดียวกับความถี่ของแหล่งกำเนิดเสียง

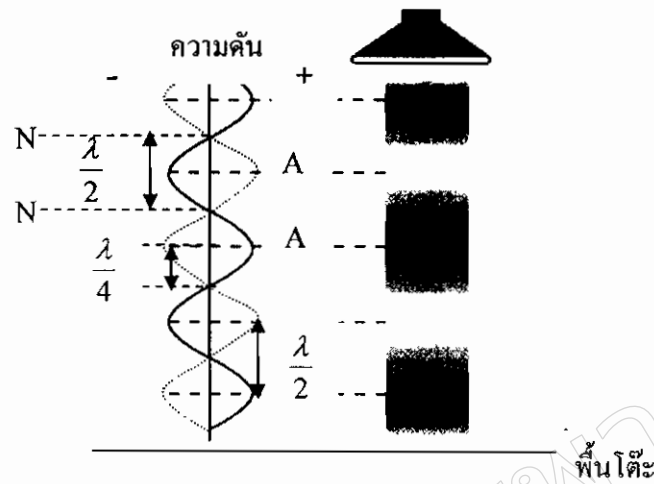
4. ความถี่ธรรมชาติ

ความถี่ธรรมชาติ (Natural Frequency) คือ จำนวนรอบของการแกว่งอย่างอิสระด้วยตัวเองของวัตถุในเวลา 1 วินาที มีหน่วยเป็น Hertz (รอบ/วินาที) ซึ่งเป็นความถี่เฉพาะตัวของวัตถุจะมีเพียงค่าเดียวหรืออาจมีได้หลายๆ ค่า ขึ้นอยู่กับชนิดและลักษณะการสั่นของวัตถุ ความถี่ธรรมชาติที่ต่ำที่สุดที่วัตถุสั่นได้ เรียกว่า ความถี่พื้นฐาน (Fundamental Frequency) ส่วนความถี่ธรรมชาติอื่นๆ เราจะเรียกว่า โอเวอร์โทน (overtone) ซึ่งจะมีค่าเป็นจำนวนเท่าของความถี่พื้นฐาน ถ้าวัตถุสั่นด้วยความถี่ธรรมชาติวัตถุจะสั่นแรงกว่าปกติหรือแอมพลิจูดของการสั่นมีค่ามากที่สุด ซึ่งเรียกว่า การสั่นพ้อง (Resonance)

วัตถุต่าง ๆ ที่ถูกตึง เช่น สะพานแขวน ชิงช้า ลูกตุ้มที่แขวนเชือก สายไฟที่ขึงบนเสากลางทุ่ง เมื่อถูกแรงกระทำแล้วปล่อยจะสั่นหรือแกว่ง เช่น ถ้าผูกเชือกตีวัตถุห้อยไว้ในแนวตั้งเมื่อให้มวลนั้นสั่น เราพบว่ามวลจะสั่นกลับไป-กลับมา แต่ถ้าเราผลักมวลต่อไปเรื่อยๆ โดยให้จังหวะของการผลักสอดคล้องกับการสั่นของมวลพอดี เราพบว่าใช้แรงเพียงเล็กน้อยเท่านั้นมวลก็จะสั่นแรงขึ้น ในทางตรงข้ามถ้าแรงที่เราให้ไม่สอดคล้องกับการครอบรอบของมวล จะทำให้มวลนั้นสั่นด้วยแอมพลิจูดที่เล็กลง ถึงแม้ว่าเราจะให้แรงมากก็ตาม

5. คลื่นนิ่งของเสียง

คลื่นนิ่ง (Standing Waves) เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจากการรวมกันของคลื่นเสียง 2 ขบวน ที่มีความยาวคลื่น ความถี่และแอมพลิจูดเท่ากัน ทำให้เกิดการรวมกันเป็นคลื่นนิ่ง เช่น เมื่อเสียงจากลำโพงเคลื่อนที่ไปกระทบพื้นโต๊ะจะมีคลื่นเสียงสะท้อนออกจากพื้นโต๊ะเสียงที่สะท้อนนี้จะมีค่าเท่ากับเสียงที่ตกกระทบพื้นโต๊ะ และเสียงสะท้อนนี้จะซ้อนทับกับเสียงที่ออกจากลำโพงโดยตรงทำให้เกิดปรากฏการณ์การแทรกสอดที่มีลักษณะเป็นคลื่นนิ่งได้โดยเราจะได้ยินเสียงดัง (ปฏิบัพ หรือ Antinode) และเสียงค่อย (บัพ หรือ Node) สลับกันดังภาพที่ ข-6



ภาพที่ ข-6 แสดงคลื่นนิ่งของเสียง (คัดแปลงจาก สสวท., 2551, หน้า 97)

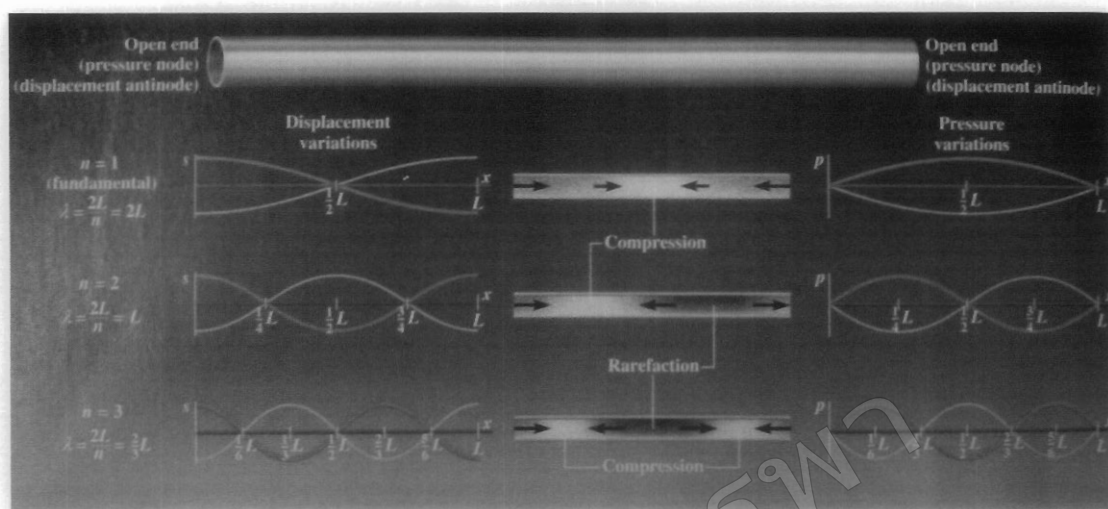
จากภาพ ตำแหน่งบัพที่อยู่ติดกัน (N-N) ห่างกัน $\frac{\lambda}{2}$

ตำแหน่งปฏิบัพที่อยู่ติดกัน (A-A) ห่างกัน $\frac{\lambda}{2}$

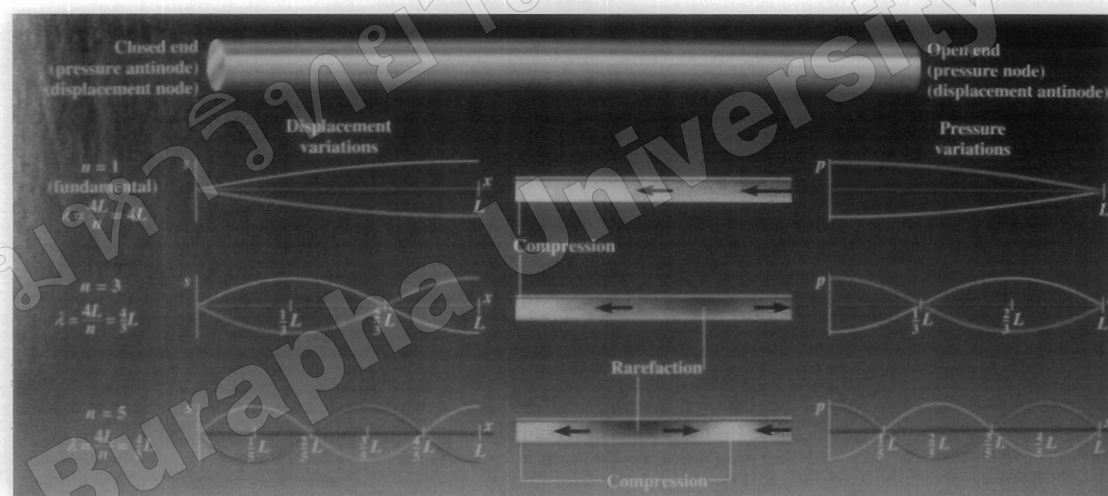
ตำแหน่งบัพและปฏิบัพที่อยู่ติดกัน (A-N) ห่างกัน $\frac{\lambda}{4}$

6. คลื่นนิ่งในท่ออากาศ

เครื่องดนตรีประเภทเครื่องเป่าได้แก่ ขลุ่ย ทรัมเป็ต และแซกโซโฟน อาศัยหลักการทำให้เกิดคลื่นนิ่งในท่ออากาศ โดยท่ออากาศที่ใช้มี 2 แบบ คือ ท่อปลายเปิด (Opened Pipe) และท่อปลายปิด (Closed Pipe) โดยบริเวณปลายปิดของท่อจะเป็นตำแหน่งบัพ ทั้งนี้เพราะตรงบริเวณปลายปิดจะเป็นบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงความดันมากที่สุด ทำให้บริเวณนั้นมีการอัดแน่นของโมเลกุลอากาศทำให้การกระจัดของโมเลกุลมีค่าน้อยที่สุด ส่วนบริเวณปลายเปิดเป็นตำแหน่งปฏิบัพ เพราะบริเวณนี้ความดันอากาศมีค่าคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากปลายท่อเปิดสู่บรรยากาศทำให้โมเลกุลอากาศตรงบริเวณนั้นมีการกระจัดสูงสุด โดยแสดงดังภาพที่ ข-7



(ก) คลื่นนิ่งในท่อปลายเปิด



(ข) คลื่นนิ่งในท่อปลายปิด

ภาพที่ ข-7 คลื่นนิ่งในท่อปลายเปิดและท่อปลายปิด

(ก) คลื่นนิ่งในท่อปลายเปิด

(ข) คลื่นนิ่งในท่อปลายปิด

(Giambattista, Betty Richardson, & Robert Richardson, 2010, pp. 430 – 431)

สมการแสดงความสัมพันธ์ของความยาวท่อ ความยาวคลื่น และความถี่ของการเกิดคลื่นนิ่งในท่อเป็นดังนี้

$$\text{ท่อปลายเปิด} \quad f_n = \frac{v}{\lambda} = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{B}{\rho}} \quad (12)$$

$$\text{ท่อปลายปิด} \quad f_n = \frac{v}{\lambda} = \frac{n}{4L} \sqrt{\frac{B}{\rho}} \quad (13)$$

เมื่อ f_n คือ ความถี่ มีหน่วย เฮิรตซ์ (Hz)

v คือ อัตราเร็วเสียง มีหน่วย เมตรต่อวินาที (m/s)

λ คือ ความยาวคลื่น มีหน่วย เมตร (m)

n คือ จำนวนคลื่นนิ่งที่เกิดขึ้น

L คือ ความยาวท่อ มีหน่วย เมตร (m)

B คือ Bulk Modulus ของตัวกลางที่คลื่นเคลื่อนที่ มีหน่วย นิวตันต่อตารางเมตร (N/m²)

ρ คือ ความหนาแน่นของตัวกลาง มีหน่วย กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (kg/m³)

ใบงานการทดลอง

เรื่อง การหาอัตราเร็วเสียงในของแข็งโดยวิธีการสั่นพ้องของคลื่นเสียง

1. หลักการและเหตุผล

เสียงเกิดจากการสั่นของแหล่งกำเนิดเสียง เสียงจากแหล่งกำเนิดเสียง ต้องอาศัยตัวกลางในการถ่ายโอนพลังงานการสั่นของแหล่งกำเนิดเสียงนั้นไปยังที่ต่าง ๆ โดยทั่วไปแล้วคลื่นเสียงจะเคลื่อนที่ได้เร็วที่สุดในตัวกลางที่เป็นของแข็ง และเร็วน้อยลงในตัวกลางที่เป็นของเหลว และแก๊ส ตามลำดับและถ้าเสียงเคลื่อนที่ในตัวกลางที่เป็นของแข็งที่มีความหนาแน่นและความยืดหยุ่นต่างกัน อัตราเร็วเสียงก็จะต่างกันด้วย

สามารถทำการทดลองหาค่าอัตราเร็วเสียงในของแข็งแบบง่าย ๆ ได้โดยวิธีการสั่นพ้องของคลื่นเสียง

2. วัตถุประสงค์

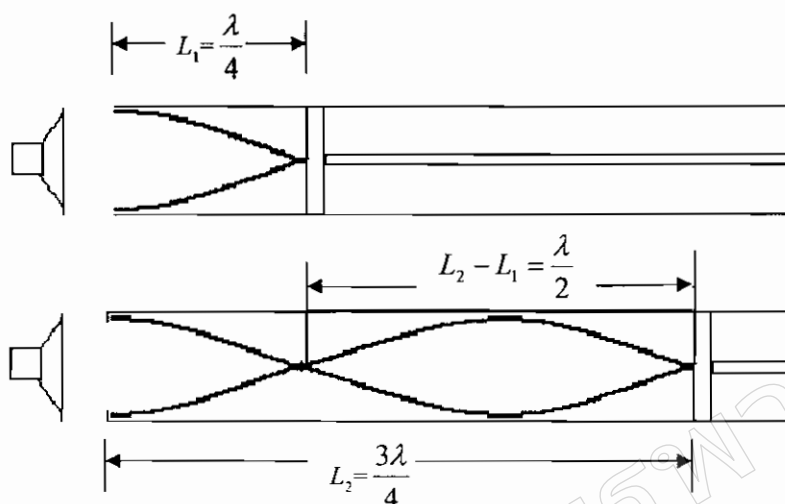
1. ศึกษาอัตราเร็วเสียงในของแข็งแต่ละชนิด
2. นักเรียนสามารถใช้ชุดทดลอง ทดลองหาค่าอัตราเร็วเสียงในของแข็งแต่ละชนิดได้
3. นักเรียนสามารถหาค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดลองได้

3. ทฤษฎี

3.1 การสั่นพ้องของคลื่นในท่ออากาศ

เมื่อเกิดการรบกวนตัวกลางใด ๆ แล้วจะเกิดคลื่นขึ้นในตัวกลางนั้น โดยตัวกลางจะแกว่งด้วยความถี่เป็นไปตามธรรมชาติของตัวกลางนั้น ๆ ความถี่ของคลื่นที่เกิดขึ้นเรียกว่า ความถี่ธรรมชาติ โดยปกติอนุภาคในตัวกลางจะสั่นด้วยความถี่ธรรมชาติของมันถ้าเราให้ความถี่กับตัวกลาง เช่น เส้นเชือกหรืออากาศที่อยู่ในท่อ เท่ากับความถี่ธรรมชาติของตัวกลาง ผลก็คือจะทำให้อนุภาคในตัวกลางสั่นด้วยแอมพลิจูดสูงสุด ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การเกิดการสั่นพ้อง (Resonance)

การสั่นพ้องของเสียง คือปรากฏการณ์ที่เสียงเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางแล้วอนุภาคของตัวกลางมีการสั่นด้วยความถี่เดียวกับความถี่ของแหล่งกำเนิดเสียง ถ้าเราให้คลื่นเสียงเคลื่อนที่ผ่านอากาศที่อยู่ในท่อการสั่นพ้อง ณ ตำแหน่งที่เกิดการสั่นพ้องจะได้ยินเสียงดังที่สุด ขณะที่เกิดการสั่นพ้องของเสียงในท่ออากาศจะมีการแทรกสอดระหว่างคลื่นเสียงจากแหล่งกำเนิดกับคลื่นเสียงที่สะท้อนจากท่อสั่นพ้องทำให้เกิดคลื่นนิ่งขึ้น และระยะทางระหว่างตำแหน่งเสียงดังที่สุดครั้งที่หนึ่งกับครั้งที่สองจะมีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่นเสียงดังแสดงในภาพที่ ข-8



ภาพที่ ข-8 การเกิดการสั่นพ้องในท่ออากาศ

(ดัดแปลงจาก: <http://www.thaigoodview.com/node/16869?page=0%2C15>)

จากภาพที่ ข-8 ถ้าให้ L_1 แทนระยะจากลำโพงถึงตำแหน่งเสียงดังที่สุดครั้งที่หนึ่ง โดย $L_1 = \lambda/4$ และ L_2 แทนระยะทางจากลำโพงถึงตำแหน่งเสียงดังที่สุดครั้งที่สองโดย $L_2 = 3\lambda/4$ จะได้

$$L_2 - L_1 = \frac{\lambda}{2} \quad (14)$$

ถ้าให้ $\Delta L = L_2 - L_1$ สมการที่ (14) สามารถเขียนได้ดังนี้

$$\Delta L = \frac{\lambda}{2} \quad (15)$$

ดังนั้นความยาวคลื่นของเสียงจะหาได้จากสองเท่าของผลต่างของระยะของตำแหน่งเสียงดังที่สุดที่อยู่ติดกันดังแสดงในสมการที่ (16)

$$\lambda = 2\Delta L \quad (16)$$

และเมื่อทราบความยาวคลื่นและความถี่เสียงก็สามารถคำนวณหาอัตราเร็วของเสียงในอากาศได้ดังสมการที่ (17)

$$v = \lambda f \quad (17)$$

3.2 หลักการคำนวณหาค่าอัตราเร็วของคลื่นเสียงในของแข็งมีดังนี้

ทำการวัดความยาวของแท่งเหล็กที่ใช้ทดลอง จะมีค่าเท่ากับ $L_m = \lambda_m / 2$ เนื่องจากตรงจุดกึ่งกลางของแท่งเหล็กติดด้วย ตัวยึด ซึ่งจะเสมือนเป็นจุด บัพ หรือ Node และระหว่างกองของฝุ่นไม้ไผ่ที่ติดกันจะมีค่าเท่ากับ $\lambda_a / 2$ เมื่อรู้ค่าความยาวคลื่นของเสียงในอากาศก็สามารถคำนวณหาความถี่ของอัตราเร็วเสียงในอากาศได้และความถี่ของเสียงในอากาศจะมีค่าเท่ากับความถี่ของเสียงในแท่งเหล็กเพราะว่าเกิดจากแหล่งกำเนิดเสียงเดียวกัน สามารถคำนวณหาอัตราเร็วเสียงในแท่งเหล็กได้ดังนี้

จากสมการ

$$f_a = \frac{v_a}{\lambda_a} \quad (18)$$

โดยที่ f_a คือ ความถี่ของเสียงในอากาศ มีหน่วย เฮิรตซ์ (Hz)

v_a คือ อัตราเร็วเสียงในอากาศ มีหน่วย เมตรต่อวินาที (m/s)

λ_a คือ ความยาวคลื่นเสียงในอากาศ มีหน่วย เมตร (m)

และหาอัตราเร็วเสียงในอากาศได้จาก $v = 331 + 0.6t$; t คืออุณหภูมิในหน่วยองศาเซลเซียส

จากสมการ

$$f_m = \frac{v_m}{\lambda_m} \quad (19)$$

โดยที่ f_m คือ ความถี่ของเสียงในแท่งเหล็ก มีหน่วย เฮิรตซ์ (Hz)

v_m คือ อัตราเร็วเสียงในแท่งเหล็ก มีหน่วย เมตรต่อวินาที (m/s)

λ_m คือ ความยาวคลื่นเสียงในแท่งเหล็ก มีหน่วย เมตร (m)

เนื่องจาก $f_a = f_m$

จะได้ว่า (18) = (19)

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

$$v_m = \frac{v_a \lambda_m}{\lambda_a} \quad (20)$$

$$v_m = f_a \lambda_m \quad (21)$$

จาก $\lambda_m = 2L$

ดังนั้น

$$v_m = f_a 2L \quad (22)$$

4. ขั้นตอนการทดสอบชุดทดลอง

เปรียบเทียบค่าอัตราเร็วเสียงของวัสดุแต่ละชนิดได้จากการทดลองกับค่าอัตราเร็วเสียงมาตรฐานของวัสดุแต่ละชนิด โดยคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง (Percentage Error) ระหว่างอัตราเร็วเสียงจาก 2 วิธีนี้ ได้ดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง} = \frac{|E - A|}{A} \times 100 \quad (23)$$

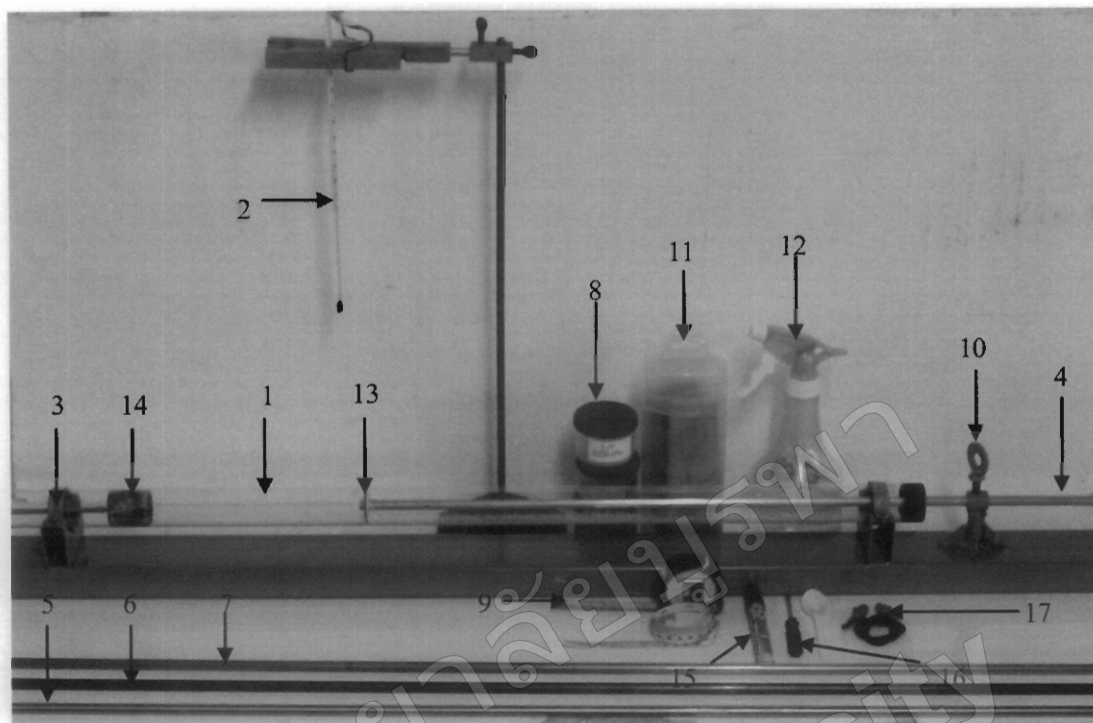
โดยที่ E คือ ค่าที่คำนวณได้จากผลการทดลอง

A คือ ค่ามาตรฐาน

5. อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำชุดทดลองการหาอัตราเร็วคลื่นเสียงในของแข็ง โดยวิธีการสั่นพ้องของคลื่นเสียง ที่จัดทำขึ้นประกอบด้วยอุปกรณ์ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

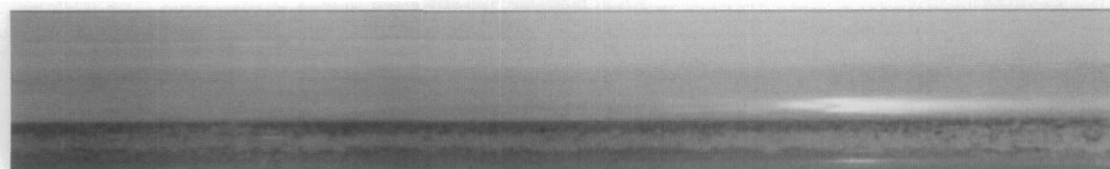
1. ท่อแก้วใส (ทำจากหลอดไฟ) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.035 m มีความยาว 1 m จำนวน 1 หลอด
2. เทอร์โมมิเตอร์
3. ฐานเหล็กสำหรับยึดท่อทดลอง
4. แท่งอลูมิเนียม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.01 m ยาว 1.20 m 1 แท่ง
5. แท่งเหล็ก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.01 m ยาว 1.20 m 1 แท่ง
6. แท่งทองแดง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.01 m ยาว 1.20 m 1 แท่ง
7. แท่งทองเหลือง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.01 m ยาว 1.20 m 1 แท่ง
8. ผงไม้ไผ่
9. ตลับเมตร
10. สกรูยึด
11. ผ้าขาววอร์
12. กระป๋องฉีดยา
13. กระดาษแข็งวงกลม มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.033 m
14. ลูกสูบ
15. ปากกาเคมี
16. ไขควง
17. ที่วัดอุณหภูมิความดังเสียง



ภาพที่ ข-9 อุปกรณ์การทดลอง

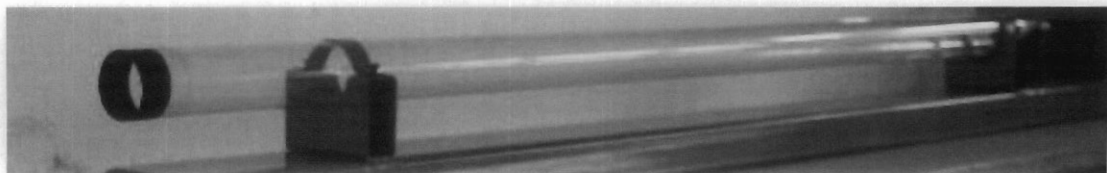
6. วิธีการทดลอง

1. วัดอุณหภูมิเมื่อเริ่มทำการทดลองและเมื่อทดลองเสร็จเพื่อหาค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิเพื่อนำไปคำนวณหาความเร็วเสียงในอากาศจากสมการ $v = 331 + 0.6 \times t$
2. นำผงไม้ไสนเทใส่ลงไปในท่อแก้วใสและเกลี่ยให้ผงไม้ไสนมีความหนาสม่ำเสมอ ดังภาพที่ ข-10



ภาพที่ ข-10 ผงไม้ไสนในท่อแก้วใส

3. ติดตั้งท่อแก้วใสไว้บนฐานหลักยึดให้มั่นคง เพื่อป้องกันการเคลื่อนที่ดังภาพที่ ข-11



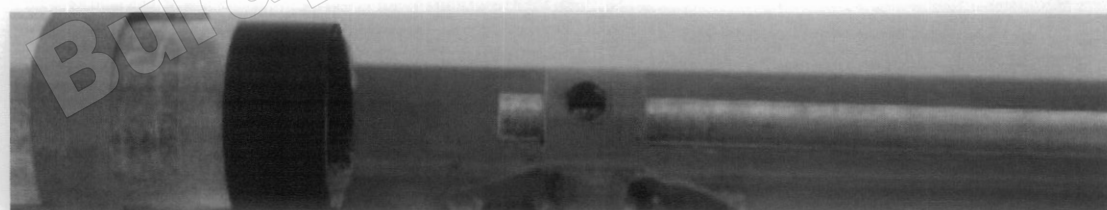
ภาพที่ ข-11 การติดตั้งท่อแก้วใสกับฐานหลัก

4. วัดความยาวแท่งวัสดุและขีดด้วยปากกาเคมีที่จุดกึ่งกลางของแท่งวัสดุเพื่อนำไปคำนวณหาความยาวคลื่นในแท่งวัสดุ ($\lambda_m = 2L$) ดังภาพที่ ข-12



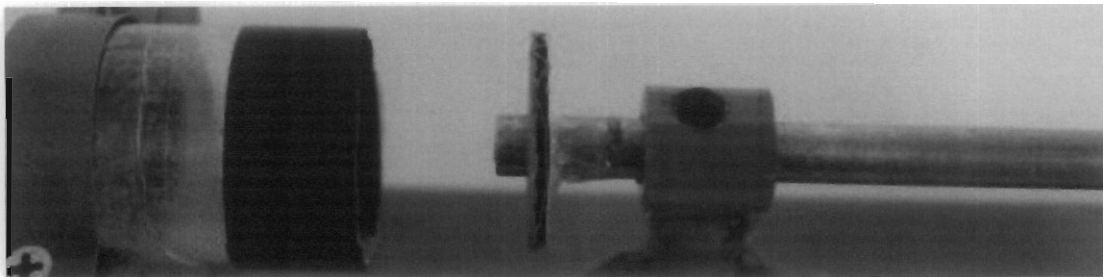
ภาพที่ ข-12 วัดความยาวครึ่งหนึ่งของแท่งวัสดุและทำสัญลักษณ์

5. นำแท่งวัสดุใส่ผ่านจุดล็อกดังภาพดังภาพที่ ข-13



ภาพที่ ข-13 การนำแท่งวัสดุใส่ผ่านจุดล็อก

6. นำแผ่นกระดาษแข็งวงกลมมาติดไว้ที่ปลายของแท่งวัสดุ ดังภาพที่ ข-14



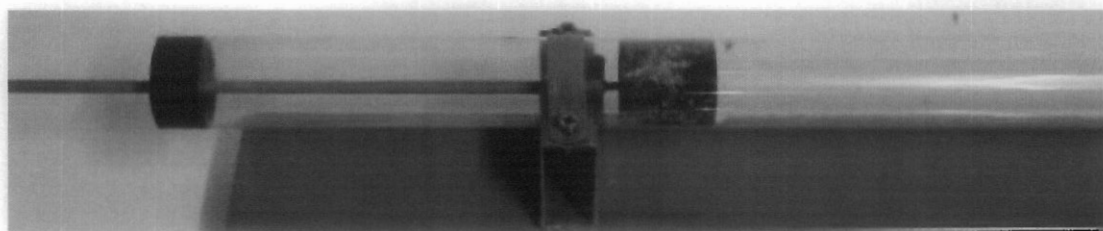
ภาพที่ ข-14 การติดแผ่นกระดาษแข็งวงกลมที่ปลายแท่งวัสดุ

7. ค่อย ๆ เคลื่อนแท่งวัสดุเข้าไปในท่อ จนจุดกึ่งกลางของแท่งวัสดุตรงกับจุดล็อกและทำการขันล็อกให้แน่นดังภาพที่ ข-15



ภาพที่ ข-15 การขันตัวล็อกที่จุดกึ่งกลางของแท่งวัสดุ

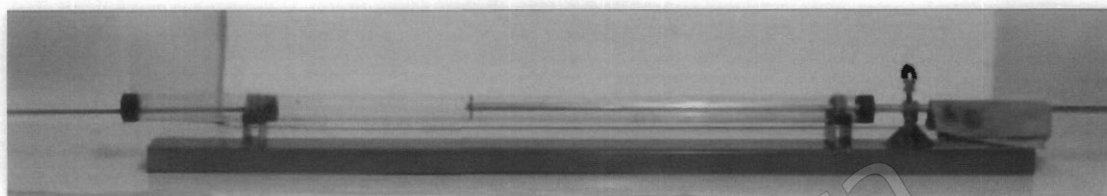
8. นำลูกสูบมาใส่ไว้ที่ปลายอีกด้านของท่อแก้วใสซึ่งจะทำหน้าที่เป็นปลายปิด ดังภาพที่ ข-16



ภาพที่ ข-16 การใส่ลูกสูบที่ปลายของท่อแก้วใส

9. ถัดพรมน้ำที่ผ้าขาววอร์ให้พอชื้น ๆ

10. นำผ้าขาววอร์มาลูที่แท่งเหล็กส่วนที่ยื่นออกมาด้านนอก สังเกตผงไม้ไสนในท่อว่ามีลักษณะเป็นลูกคลื่น ดังภาพที่ ข-17 และ ข-18



ภาพที่ ข-17 การลูแท่งวัสดุด้วยผ้าขาววอร์

11. ทำการวัดความยาวของตำแหน่งผงไม้ไสนที่มีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดมีลักษณะเป็นลูกคลื่นที่อยู่ติดกัน จะมีค่าเท่ากับ $\lambda/2$ ดังภาพที่ ข-18



$$\frac{\lambda}{2}$$

ภาพที่ ข-18 วัดความยาวของตำแหน่งลูกคลื่นที่อยู่ติดกันจะมีค่าเท่ากับ $\lambda/2$

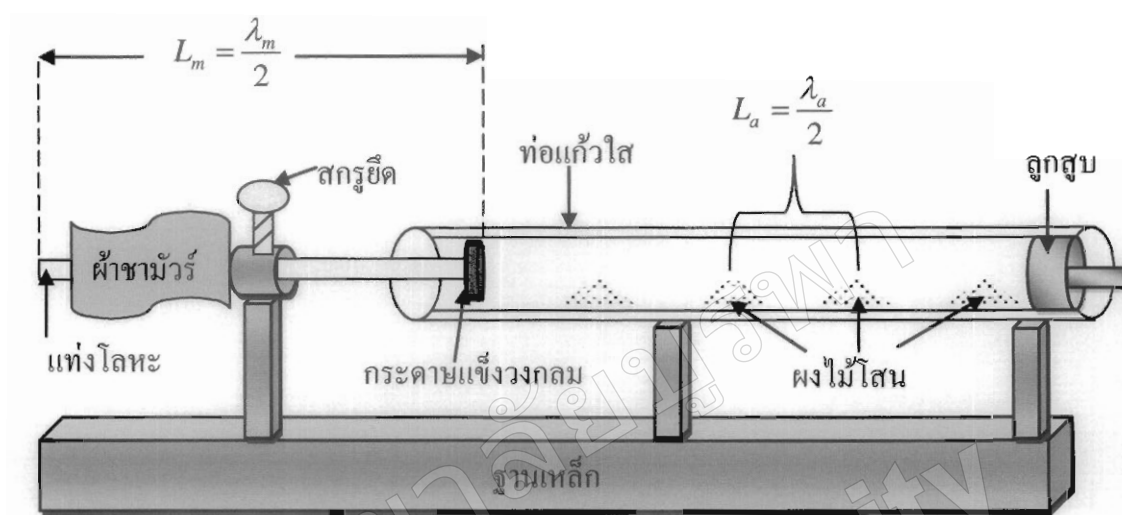
12. ทำการทดลองข้อ 1-11 ซ้ำอีก 5 ครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ยความยาวคลื่น

13. เมื่อได้ความยาวคลื่นเสียงในอากาศก็สามารถคำนวณหาความถี่ของอัตราเร็วเสียงในอากาศได้และความถี่ที่ได้จะมีค่าเท่ากับความถี่ของแท่งวัสดุเนื่องจากเกิดจากแหล่งกำเนิดเสียงเดียวกัน แล้วนำความถี่ที่ได้ไปคำนวณหาอัตราเร็วเสียงในแท่งวัสดุได้

14. ทำการเปลี่ยนแท่งวัสดุเป็นชนิดอื่น ๆ ต่อไป

15. ทำการคำนวณหาร้อยละความคลาดเคลื่อนจากการทดลองเทียบกับค่ามาตรฐาน

16. แบบจำลองโครงสร้างโดยรวมของอุปกรณ์การทดลองหาค่าอัตราเร็วเสียงในของแข็งโดยวิธีการสั่นพ้องของคลื่นเสียง แสดงในภาพที่ ข-19



ภาพที่ ข-19 โครงสร้าง โดยรวมของอุปกรณ์การทดลองหาค่าอัตราเร็วเสียงในของแข็งโดยวิธีการสั่นพ้องของคลื่นเสียง

7. การบันทึกผลการทดลองและการจัดกระทำข้อมูลการทดลอง

ตารางที่ ข-3 การหาอัตราเร็วคลื่นเสียงในแท่งทองเหลือง

ตัวแปร	การคำนวณ	ค่าที่วัดได้
อุณหภูมิห้อง $t (^{\circ}\text{C})$	$t_{\text{average}} = \frac{t_1 + t_2}{2}$	
อัตราเร็วเสียงในอากาศ $v_{\text{air}} (\text{m/s})$	$v_{\text{air}} = 331 + 0.6t$	
ความยาวคลื่นเสียงในอากาศ $\lambda_{\text{air-average}} (\text{m})$	$\lambda_{\text{air-average}}$	
ความถี่ของเสียงในอากาศ $f_{\text{air}} (\text{Hz})$	$f_{\text{air}} = \frac{v_{\text{air}}}{\lambda_{\text{air}}}$	
ความยาวของแท่งทองเหลือง $L_{\text{brass}} (\text{m})$	วัดความยาวของแท่งทองเหลือง	1.2 m
ความยาวคลื่นของแท่งทองเหลือง $\lambda_{\text{brass}} (\text{m})$	$\lambda_{\text{brass}} = 2 \times L_{\text{brass}}$	
ความถี่ของแท่งทองเหลือง $f_{\text{brass}} (\text{Hz})$	$f_{\text{brass}} = f_{\text{air}}$	
อัตราเร็วเสียงในแท่งทองเหลือง $v_{\text{brass}} (\text{m/s})$	$v_{\text{brass}} = f_{\text{brass}} \times \lambda_{\text{brass}}$	
อัตราเร็วเสียงตามทฤษฎี $v_{\text{brass-theory}} (\text{m/s})$	$v_{\text{theory}} = \sqrt{\frac{Y}{\rho}}$	
ร้อยละความคลาดเคลื่อน % error	$\% \text{ error} = \frac{ E - A }{A} \times 100$	

ตารางที่ ข-4 การหาอัตราเร็วคลื่นเสียงในแท่งทองแดง

ตัวแปร	การคำนวณ	ค่าที่วัดได้
อุณหภูมิห้อง $t (^{\circ}C)$	$t_{average} = \frac{t_1 + t_2}{2}$	
อัตราเร็วเสียงในอากาศ $v_{air} (m/s)$	$v_{air} = 331 + 0.6t$	
ความยาวคลื่นเสียงในอากาศ $\lambda_{air-average} (m)$	$\lambda_{air-average}$	
ความถี่ของเสียงในอากาศ $f_{air} (Hz)$	$f_{air} = \frac{v_{air}}{\lambda_{air}}$	
ความยาวของแท่งทองแดง $L_{copper} (m)$	วัดความยาวของแท่งทองแดง	1.2 m
ความยาวคลื่นของแท่งทองแดง $\lambda_{copper} (m)$	$\lambda_{copper} = 2 \times L_{copper}$	
ความถี่ของแท่งทองแดง $f_{copper} (Hz)$	$f_{copper} = f_{air}$	
อัตราเร็วเสียงในแท่งทองแดง $v_{copper} (m/s)$	$v_{copper} = f_{copper} \times \lambda_{copper}$	
อัตราเร็วเสียงตามทฤษฎี $v_{copper-theory} (m/s)$	$v_{theory} = \sqrt{\frac{Y}{\rho}}$	
ร้อยละความคลาดเคลื่อน % error	$\% \text{ error} = \frac{ E - A }{A} \times 100$	

ตารางที่ ข-5 การหาอัตราเร็วคลื่นเสียงในแท่งเหล็ก

ตัวแปร	การคำนวณ	ค่าที่วัดได้
อุณหภูมิห้อง $t (^{\circ}\text{C})$	$t_{\text{average}} = \frac{t_1 + t_2}{2}$	
อัตราเร็วเสียงในอากาศ $v_{\text{air}} (\text{m/s})$	$v_{\text{air}} = 331 + 0.6t$	
ความยาวคลื่นเสียงในอากาศ $\lambda_{\text{air-average}} (\text{m})$	$\lambda_{\text{air-average}}$	
ความถี่ของเสียงในอากาศ $f_{\text{air}} (\text{Hz})$	$f_{\text{air}} = \frac{v_{\text{air}}}{\lambda_{\text{air}}}$	
ความยาวของแท่งเหล็ก $L_{\text{steel}} (\text{m})$	วัดความยาวของแท่งเหล็ก	1.2 m
ความยาวคลื่นของแท่งเหล็ก $\lambda_{\text{steel}} (\text{m})$	$\lambda_{\text{steel}} = 2 \times L_{\text{steel}}$	
ความถี่ของแท่งเหล็ก $f_{\text{steel}} (\text{Hz})$	$f_{\text{steel}} = f_{\text{air}}$	
อัตราเร็วเสียงในแท่งเหล็ก $v_{\text{steel}} (\text{m/s})$	$v_{\text{steel}} = f_{\text{steel}} \times \lambda_{\text{steel}}$	
อัตราเร็วเสียงตามทฤษฎี $v_{\text{steel-theory}} (\text{m/s})$	$v_{\text{theory}} = \sqrt{\frac{Y}{\rho}}$	
ร้อยละความคลาดเคลื่อน % error	$\% \text{ error} = \frac{ E - A }{A} \times 100$	

ตารางที่ ข-6 การหาอัตราเร็วคลื่นเสียงในแท่งอลูมิเนียม

ตัวแปร	การคำนวณ	ค่าที่วัดได้
อุณหภูมิห้อง $t (^{\circ}C)$	$t_{average} = \frac{t_1 + t_2}{2}$	
อัตราเร็วเสียงในอากาศ $v_{air} (m/s)$	$v_{air} = 331 + 0.6t$	
ความยาวคลื่นเสียงในอากาศ $\lambda_{air-average} (m)$	$\lambda_{air-average}$	
ความถี่ของเสียงในอากาศ $f_{air} (Hz)$	$f_{air} = \frac{v_{air}}{\lambda_{air}}$	
ความยาวของแท่งอลูมิเนียม $L_{aluminum} (m)$	วัดความยาวของแท่งอลูมิเนียม	1.2 m
ความยาวคลื่นของแท่ง อลูมิเนียม $\lambda_{aluminum} (m)$	$\lambda_{aluminum} = 2 \times L_{aluminum}$	
ความถี่ของแท่งอลูมิเนียม $f_{aluminum} (Hz)$	$f_{aluminum} - f_{air}$	
อัตราเร็วเสียงใน แท่งอลูมิเนียม $v_{aluminum} (m/s)$	$v_{aluminum} = f_{aluminum} \times \lambda_{aluminum}$	
อัตราเร็วเสียงตามทฤษฎี $v_{aluminum-theory} (m/s)$	$v_{theory} = \sqrt{\frac{Y}{\rho}}$	
ร้อยละความคลาดเคลื่อน % error	$\% error = \frac{ E - A }{A} \times 100$	

8. คำถามนำไปสู่การอภิปรายผลการทดลอง

1. ให้นักเรียนบอกตัวแปรที่มีผลต่อค่าอัตราเร็วเสียง
2. นักเรียนคิดว่าค่าอัตราเร็วเสียงในของแข็งแต่ละชนิดมีค่าเท่ากันหรือไม่ และปัจจัยใดส่งผลให้ค่าอัตราเร็วเสียงในของแข็งต่างกัน
3. การใช้ชุดทดลองทดสอบหาค่าอัตราเร็วเสียงในของแข็งมีความคลาดเคลื่อนมากน้อยเพียงใด มีสาเหตุจากอะไรบ้าง
4. ข้อมูลและผลที่ได้จากการทดลองมีความสัมพันธ์กับค่าตามมาตรฐานหรือไม่อย่างไร

9. การอภิปรายผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

10. สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

11. ตัวอย่างการบันทึกผลการทดลองและการจัดกระทำข้อมูลจากการทดลอง

ตารางที่ ข-7 ผลการหาอัตราเร็วคลื่นเสียงในแท่งทองเหลือง

ตัวแปร	การคำนวณ	ค่าที่วัดได้
อุณหภูมิห้อง $t (^{\circ}C)$	$t_{average} = \frac{t_1 + t_2}{2}$	$29^{\circ}C$
อัตราเร็วเสียงในอากาศ $v_{air} (m/s)$	$v_{air} = 331 + 0.6t$	$348.4 m/s$
ความยาวคลื่นเสียงในอากาศ $\lambda_{air-average} (m)$	$\lambda_{air-average}$	$0.24 m$
ความถี่ของเสียงในอากาศ $f_{air} (Hz)$	$f_{air} = \frac{v_{air}}{\lambda_{air}}$	$1451.67 Hz$
ความยาวของแท่งทองเหลือง $L_{brass} (m)$	วัดความยาวของแท่งทองเหลือง	$1.2 m$
ความยาวคลื่นของแท่งทองเหลือง $\lambda_{brass} (m)$	$\lambda_{brass} = 2 \times L_{brass}$	$2.4 m$
ความถี่ของแท่งทองเหลือง $f_{brass} (Hz)$	$f_{brass} - f_{air}$	$1451.67 Hz$
อัตราเร็วเสียงในแท่งทองเหลือง $v_{brass} (m/s)$	$v_{brass} = f_{brass} \times \lambda_{brass}$	$3484 m/s$
อัตราเร็วเสียงตามทฤษฎี $v_{brass-theory} (m/s)$	$v_{theory} = \sqrt{\frac{Y}{\rho}}$	$3500 m/s$
ร้อยละความคลาดเคลื่อน % error	$\% error = \frac{ E - A }{A} \times 100$	0.46%

แสดงขั้นตอนการคำนวณ

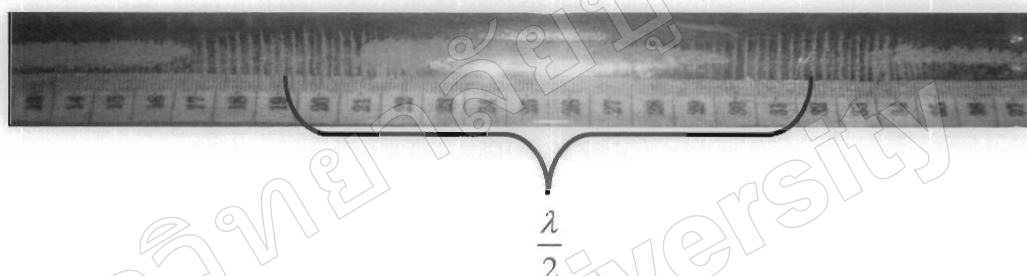
การคำนวณหาอุณหภูมิ

$$t_{average} = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{29 + 29}{2} = 29 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

การคำนวณหาอัตราเร็วเสียงในอากาศ

$$v_{air} = 331 + 0.6t = 331 + 0.6 \times 29 = 348.4 \text{ m/s}$$

การคำนวณหาความยาวคลื่นในอากาศดังภาพที่



ภาพที่ ข-20 แสดงการเกิดลูกคลื่นของแท่งทองเหลือง

$$\lambda_1 = 0.24\text{m}, \lambda_2 = 0.24\text{m}, \lambda_3 = 0.25\text{m}, \lambda_4 = 0.24\text{m}, \lambda_5 = 0.23\text{m}$$

ความยาวคลื่นเฉลี่ย ($\lambda_{air-average}$)

$$\lambda_{air-average} = \frac{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 + \lambda_5}{5} = \frac{0.24 + 0.24 + 0.25 + 0.24 + 0.23}{5} = 0.24 \text{ m}$$

การคำนวณหาความถี่ของเสียงในอากาศ

$$f_{air} = \frac{v_{air}}{\lambda_{air}} = \frac{348.4}{0.24} = 1451.67 \text{ Hz}$$

การคำนวณหาความยาวคลื่นในแท่งทองเหลือง

$$\lambda_{brass} = 2 \times L_{brass} = 2 \times 1.20 = 2.4 \text{ m}$$

การคำนวณหาความถี่ของแท่งทองเหลืองจะเท่ากับความถี่ของเสียงในอากาศเพราะเกิดจากแหล่งกำเนิดเสียงเดียวกัน จะได้ว่า

$$f_{brass} = f_{air} = 1451.67 \text{ Hz}$$

การคำนวณหาอัตราเร็วเสียงในแท่งทองเหลือง

$$v_{brass} = f_{brass} \times \lambda_{brass} = 1451.67 \times 2.4 = 3484 \text{ m/s}$$

การคำนวณหาอัตราเร็วเสียงในแท่งทองเหลืองตามทฤษฎี

$$v_{theory} = \sqrt{\frac{Y}{\rho}} = \sqrt{\frac{104 \times 10^9}{8500}} = 3500 \text{ m/s}$$

คำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของผลการทดลอง สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง} = \frac{|E - A|}{A} \times 100 = \frac{|3484 - 3500|}{3500} \times 100 = 0.46 \%$$

มหาวิทยาลัยบูรพา
Burapha University

ตารางที่ ข-8 ผลการหาอัตราเร็วคลื่นเสียงในแท่งทองแดง

ตัวแปร	การคำนวณ	ค่าที่วัดได้
อุณหภูมิห้อง $t (^{\circ}\text{C})$	$t_{\text{average}} = \frac{t_1 + t_2}{2}$	29°C
อัตราเร็วเสียงในอากาศ $v_{\text{air}} (\text{m/s})$	$v_{\text{air}} = 331 + 0.6t$	348.4 m/s
ความยาวคลื่นเสียงในอากาศ $\lambda_{\text{air-average}} (\text{m})$	$\lambda_{\text{air-average}}$	0.23 m
ความถี่ของเสียงในอากาศ $f_{\text{air}} (\text{Hz})$	$f_{\text{air}} = \frac{v_{\text{air}}}{\lambda_{\text{air}}}$	1514.78 Hz
ความยาวของแท่งทองแดง $L_{\text{copper}} (\text{m})$	วัดความยาวของแท่งทองแดง	1.2 m
ความยาวคลื่นของแท่งทองแดง $\lambda_{\text{copper}} (\text{m})$	$\lambda_{\text{copper}} = 2 \times L_{\text{copper}}$	2.4 m
ความถี่ของแท่งทองแดง $f_{\text{copper}} (\text{Hz})$	$f_{\text{copper}} = f_{\text{air}}$	1514.78 Hz
อัตราเร็วเสียงในแท่งทองแดง $v_{\text{copper}} (\text{m/s})$	$v_{\text{copper}} = f_{\text{copper}} \times \lambda_{\text{copper}}$	3635.48 m/s
อัตราเร็วเสียงตามทฤษฎี $v_{\text{copper-theory}} (\text{m/s})$	$v_{\text{theory}} = \sqrt{\frac{Y}{\rho}}$	3700 m/s
ร้อยละความคลาดเคลื่อน $\% \text{ error}$	$\% \text{ error} = \frac{ E - A }{A} \times 100$	1.74%

แสดงขั้นตอนการคำนวณ

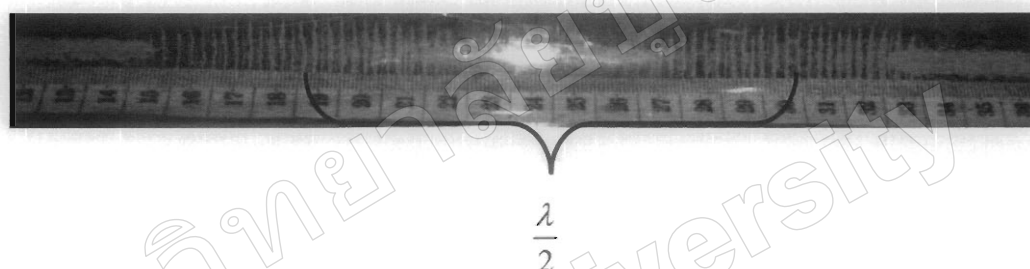
การคำนวณหาอุณหภูมิ

$$t_{average} = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{29 + 292}{2} = 29^\circ C$$

การคำนวณหาอัตราเร็วเสียงในอากาศ

$$v_{air} = 331 + 0.6t = 331 + 0.6 \times 29 = 348.4 \text{ m/s}$$

การคำนวณหาความยาวคลื่นในอากาศดังภาพที่



ภาพที่ ข-21 แสดงการเกิดลูกคลื่นของแท่งทองแดง

$$\lambda_1 = 0.24 \text{ m}, \lambda_2 = 0.22 \text{ m}, \lambda_3 = 0.22 \text{ m}, \lambda_4 = 0.23 \text{ m}, \lambda_5 = 0.24 \text{ m}$$

ความยาวคลื่นเฉลี่ย ($\lambda_{air-average}$)

$$\lambda_{air-average} = \frac{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 + \lambda_5}{5} = \frac{0.24 + 0.22 + 0.22 + 0.23 + 0.24}{5} = 0.23 \text{ m}$$

การคำนวณหาความถี่ของเสียงในอากาศ

$$f_{air} = \frac{v_{air}}{\lambda_{air}} = \frac{348.4}{0.23} = 1514.78 \text{ Hz}$$

การคำนวณหาความยาวคลื่นในแท่งทองแดง

$$\lambda_{copper} = 2 \times L_{copper} = 2 \times 1.20 = 2.4 \text{ m}$$

การคำนวณหาความถี่ของแท่งทองแดงจะเท่ากับความถี่ของเสียงในอากาศเพราะเกิดจากแหล่งกำเนิดเสียงเดียวกัน จะได้ว่า

$$f_{copper} = f_{air} = 1514.78 \text{ Hz}$$

การคำนวณหาอัตราเร็วเสียงในแท่งทองแดง

$$v_{\text{copper}} = f_{\text{copper}} \times \lambda_{\text{copper}} = 1514.78 \times 2.4 = 3635.48 \text{ m/s}$$

การคำนวณหาอัตราเร็วเสียงในแท่งทองแดงตามทฤษฎี

$$v_{\text{theory}} = \sqrt{\frac{Y}{\rho}} = \sqrt{\frac{122 \times 10^9}{8900}} = 3700 \text{ m/s}$$

คำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของผลการทดลอง สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง} = \frac{|E - A|}{A} \times 100 = \left| \frac{3635.48 - 3700}{3700} \right| \times 100 = 1.74 \%$$

ตารางที่ ข-9 ผลการหาอัตราเร็วคลื่นเสียงในแท่งเหล็ก

ตัวแปร	การคำนวณ	ค่าที่วัดได้
อุณหภูมิห้อง $t (^{\circ}C)$	$t_{average} = \frac{t_1 + t_2}{2}$	$28^{\circ}C$
อัตราเร็วเสียงในอากาศ $v_{air} (m/s)$	$v_{air} = 331 + 0.6t$	347.8 m/s
ความยาวคลื่นเสียงในอากาศ $\lambda_{air-average} (m)$	$\lambda_{air-average}$	0.17 m
ความถี่ของเสียงในอากาศ $f_{air} (Hz)$	$f_{air} = \frac{v_{air}}{\lambda_{air}}$	2045.88 Hz
ความยาวของแท่งเหล็ก $L_{steel} (m)$	วัดความยาวของแท่งเหล็ก	1.2 m
ความยาวคลื่นของแท่งเหล็ก $\lambda_{steel} (m)$	$\lambda_{steel} = 2 \times L_{steel}$	2.4 m
ความถี่ของแท่งเหล็ก $f_{steel} (Hz)$	$f_{steel} = f_{air}$	2045.88 Hz
อัตราเร็วเสียงในแท่งเหล็ก $v_{steel} (m/s)$	$v_{steel} = f_{steel} \times \lambda_{steel}$	4910.11 m/s
อัตราเร็วเสียงตามทฤษฎี $v_{steel \text{ theory}} (m/s)$	$v_{theory} = \sqrt{\frac{Y}{\rho}}$	5050 m/s
ร้อยละความคลาดเคลื่อน % error	$\% \text{ error} = \frac{ E - A }{A} \times 100$	2.77%

แสดงขั้นตอนการคำนวณ

การคำนวณหาอุณหภูมิ

$$t_{average} = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{28 + 28}{2} = 28^\circ C$$

การคำนวณหาอัตราเร็วเสียงในอากาศ

$$v_{air} = 331 + 0.6t = 331 + 0.6 \times 28 = 347.8 \text{ m/s}$$

การคำนวณหาความยาวคลื่นในอากาศดังภาพที่



ภาพที่ ข-22 แสดงการเกิดลูกคลื่นของแท่งเหล็ก

$$\lambda_1 = 0.176m, \lambda_2 = 0.172m, \lambda_3 = 0.17m, \lambda_4 = 0.17m, \lambda_5 = 0.162m$$

ความยาวคลื่นเฉลี่ย ($\lambda_{air-average}$)

$$\begin{aligned} \lambda_{air-average} &= \frac{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 + \lambda_5}{5} \\ &= \frac{0.176 + 0.172 + 0.17 + 0.17 + 0.162}{5} = 0.17 \text{ m} \end{aligned}$$

การคำนวณหาความถี่ของเสียงในอากาศ

$$f_{air} = \frac{v_{air}}{\lambda_{air}} = \frac{347.8}{0.17} = 2045.88 \text{ Hz}$$

การคำนวณหาความยาวคลื่นในแท่งเหล็ก

$$\lambda_{steel} = 2 \times L_{steel} = 2 \times 1.20 = 2.4 \text{ m}$$

การคำนวณหาความถี่ของแท่งเหล็กจะเท่ากับความถี่ของเสียงในอากาศเพราะเกิดจากแหล่งกำเนิดเสียงเดียวกัน จะได้ว่า

$$f_{steel} = f_{air} = 2045.88 \text{ Hz}$$

การคำนวณหาอัตราเร็วเสียงในแท่งเหล็ก

$$v_{steel} = f_{steel} \times \lambda_{steel \text{ แท่งเหล็ก}} = 2045.88 \times 2.4 = 4910.11 \text{ m/s}$$

การคำนวณหาอัตราเร็วเสียงในแท่งเหล็กตามทฤษฎี

$$v_{theory} = \sqrt{\frac{Y}{\rho}} = \sqrt{\frac{195 \times 10^9}{7700}} = 5050 \text{ m/s}$$

คำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของผลการทดลอง สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง} = \frac{|E - A|}{A} \times 100 = \frac{|4910.11 - 5050|}{5050} \times 100 = 2.77 \%$$

ตารางที่ ข-10 ผลการหาอัตราเร็วคลื่นเสียงในแท่งอลูมิเนียม

ตัวแปร	การคำนวณ	ค่าที่วัดได้
อุณหภูมิห้อง $t (^{\circ}C)$	$t_{average} = \frac{t_1 + t_2}{2}$	$28.5^{\circ}C$
อัตราเร็วเสียงในอากาศ $v_{air} (m/s)$	$v_{air} = 331 + 0.6t$	$348.1 m/s$
ความยาวคลื่นเสียงในอากาศ $\lambda_{air-average} (m)$	$\lambda_{air-average}$	$0.17 m$
ความถี่ของเสียงในอากาศ $f_{air} (Hz)$	$f_{air} = \frac{v_{air}}{\lambda_{air}}$	$2047.65 Hz$
ความยาวของแท่งอลูมิเนียม $L_{aluminum} (m)$	วัดความยาวของแท่งอลูมิเนียม	$1.2 m$
ความยาวคลื่นของแท่ง อลูมิเนียม $\lambda_{aluminum} (m)$	$\lambda_{aluminum} = 2 \times L_{aluminum}$	$2.4 m$
ความถี่ของแท่งอลูมิเนียม $f_{aluminum} (Hz)$	$f_{aluminum} = f_{air}$	$2047.65 Hz$
อัตราเร็วเสียงใน แท่งอลูมิเนียม $v_{aluminum} (m/s)$	$v_{aluminum} = f_{aluminum} \times \lambda_{aluminum}$	$4914.35 m/s$
อัตราเร็วเสียงตามทฤษฎี $v_{aluminum-theory} (m/s)$	$v_{theory} = \sqrt{\frac{Y}{\rho}}$	$5,150 m/s$
ร้อยละความคลาดเคลื่อน % error	$\% error = \frac{ E - A }{A} \times 100$	4.58%

แสดงขั้นตอนการคำนวณ

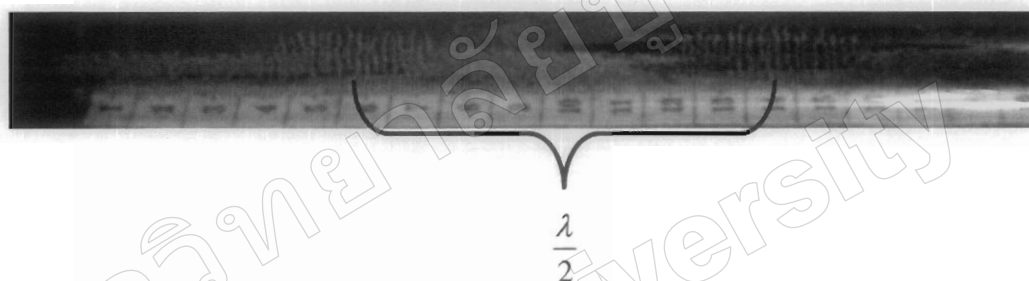
การคำนวณหาอุณหภูมิ

$$t_{average} = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{28.5 + 28.5}{2} = 28.5^\circ\text{C}$$

การคำนวณหาอัตราเร็วเสียงในอากาศ

$$v_{air} = 331 + 0.6t = 331 + 0.6 \times 28.5 = 348.1 \text{ m/s}$$

การคำนวณหาความยาวคลื่นในอากาศดังภาพที่



ภาพที่ ข-23 แสดงการเกิดลูกคลื่นของแท่งอลูมิเนียม

$$\lambda_1 = 0.176\text{m}, \lambda_2 = 0.17\text{m}, \lambda_3 = 0.17\text{m}, \lambda_4 = 0.176\text{m}, \lambda_5 = 0.158\text{m}$$

ความยาวคลื่นเฉลี่ย ($\lambda_{air-average}$)

$$\begin{aligned} \lambda_{air-average} &= \frac{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 + \lambda_5}{5} \\ &= \frac{0.176 + 0.17 + 0.17 + 0.176 + 0.158}{5} = 0.17 \text{ m} \end{aligned}$$

การคำนวณหาความถี่ของเสียงในอากาศ

$$f_{air} = \frac{v_{air}}{\lambda_{air}} = \frac{348.1}{0.17} = 2047.65 \text{ Hz}$$

การคำนวณหาความยาวคลื่นในแท่งอลูมิเนียม

$$\lambda_{aluminum} = 2 \times L_{aluminum} = 2 \times 1.20 = 2.4 \text{ m}$$

การคำนวณหาความถี่ของแท่งอลูมิเนียมจะเท่ากับความถี่ของเสียงในอากาศเพราะเกิดจาก

แหล่งกำเนิดเสียงเดียวกัน จะได้ว่า

$$f_{aluminum} = f_{air} = 2047.65 \text{ Hz}$$

การคำนวณหาอัตราเร็วเสียงในแท่งอลูมิเนียม

$$v_{aluminum} = f_{aluminum} \times \lambda_{aluminum} = 2047.65 \times 2.4 = 4914.35 \text{ m/s}$$

การคำนวณหาอัตราเร็วเสียงในแท่งอลูมิเนียมตามทฤษฎี

$$v_{theory} = \sqrt{\frac{Y}{\rho}} = \sqrt{\frac{71 \times 10^9}{2700}} = 5150 \text{ m/s}$$

คำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของผลการทดลอง สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง} = \frac{|E - A|}{A} \times 100 = \frac{|4914.35 - 5150|}{5150} \times 100 = 4.58\%$$

ตารางที่ ข-11 ตารางแสดงค่าความหนาแน่นและค่ายังมอดูลัสของแท่งวัสดุชนิดต่างๆ ค่าความยาวคลื่น ความถี่และอัตราเร็วเสียงในของแข็งที่ได้จากการทดลอง ค่าอัตราเร็วเสียงตามทฤษฎี และค่าความคลาดเคลื่อนของอัตราเร็วเสียงในของแข็งที่ได้จากการทดลองเทียบกับค่ามาตรฐาน (DAID T. BLACKSTOCK, 2000, pp. 461 – 463)

วัสดุทดสอบ	ความหนาแน่น (kg/m^3)	ยังมอดูลัส (GPa)	ความยาวคลื่น (m)	ความถี่ที่ได้จากการทดลอง (Hz)	อัตราเร็วเสียงในของแข็งที่ได้จากการทดลอง (m/s)	อัตราเร็วเสียงตามทฤษฎี (m/s)	%error
ทองเหลือง	8,500.00	104.00	0.24	1,451.67	3,484.00	3,500.00	0.46%
ทองแดง	8,900.00	122.00	0.23	1,514.78	3,635.48	3,700.00	1.74%
เหล็ก	7,700.00	195.00	0.17	2,045.88	4,910.11	5,050.00	2.77%
อลูมิเนียม	2,700.00	71.00	0.17	2,047.65	4,914.35	5,150.00	4.58%

12. ตัวอย่างการอภิปรายและสรุปผลการทดลอง

ตัวอย่างการอภิปรายผลการทดลอง

จากการทดลองหาค่าอัตราเร็วเสียงในของแข็งโดยวิธีการสั่นพ้องของคลื่นเสียง โดยใช้วัสดุทดสอบ 4 ชนิด คือ ทองเหลือง ทองแดง เหล็ก และอลูมิเนียม ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.01 m มีความยาว 1.20 m จากผลการทดลองพบว่าอลูมิเนียมมีค่าความคลาดเคลื่อนมาก เนื่องจากมีความหนาแน่นน้อยกว่าโลหะชนิดอื่นทำให้เสียงสั่นบนแท่งโลหะสั้นกว่าโลหะอื่น ๆ ส่วนวัสดุที่ให้ผลการทดลองที่ดีที่สุดคือทองเหลือง เนื่องจากทองเหลืองมีความยืดหยุ่นและมีระยะเวลาการเกิดเสียงสั่นนานกว่าโลหะชนิดอื่น ๆ ซึ่งค่าอัตราเร็วเสียงในของแข็งจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับค่ามอดุลัสของยังและค่าความหนาแน่นของวัสดุและพบว่าเมื่อค่าความยาวคลื่นน้อยลง ค่าความถี่จะมากขึ้นและความถี่ที่มากขึ้นจะทำให้อัตราเร็วเสียงมากขึ้นด้วยและรู้ว่าสมบัติเชิงกลของวัสดุบางอย่าง เช่น ทองเหลืองมีความเหมาะสมที่จะนำมาทำเครื่องดนตรีประเภทเครื่องเป่าเครื่องคิด หรือดี เช่น ระฆัง ฉิ่ง ฉาบ

ตัวอย่างการสรุปผลการทดลอง

การทดลองการหาค่าอัตราเร็วเสียงในของแข็งโดยวิธีการสั่นพ้องของคลื่นเสียง โดยใช้วัสดุทดสอบ 4 ชนิด คือ ทองเหลือง ทองแดง อลูมิเนียมและเหล็ก ได้ผลการทดลองดังนี้ 3484.00, 3635.48, 4910.11 และ 4914.35 m/s ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่าตามทฤษฎีแล้ว มีค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0.46, 1.74, 2.77 และ 4.58% ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

มหาวิทยาลัยบูรพา
Burapha University

ภาคผนวก ก

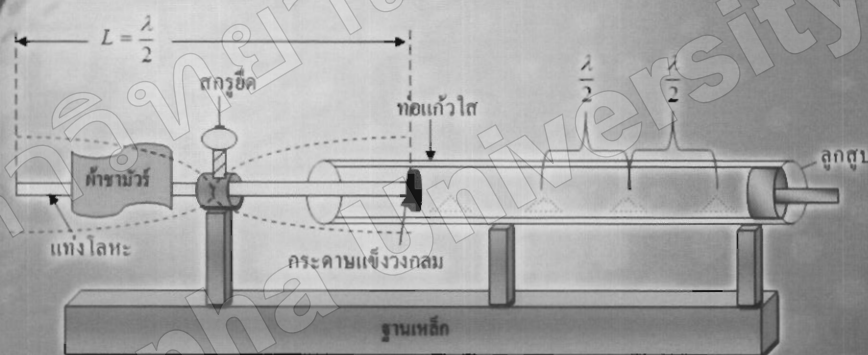
คู่มือปฏิบัติการ

คู่มือการใช้ชุดทดลองและปฏิบัติการ เพื่อหาค่าอัตราเร็วเสียงในของแข็ง โดยวิธีการสั่นพ้องของคลื่นเสียง

สำหรับนักเรียน



รายวิชาฟิสิกส์ 3 รหัสวิชา ว32203



โรงเรียนธรรมโชติศึกษาลัย

อำเภอเดิมบางนางบวช จังหวัดสุพรรณบุรี

สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษาเขต 9

คำนำ

คู่มือปฏิบัติการ เรื่อง การหาค่าอัตราเร็วเสียงในของแข็งโดยวิธีการสั่นพ้องของคลื่นเสียง ใช้สำหรับปฏิบัติการทดลองในวิชาฟิสิกส์ เรื่อง เสียง ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน 2551 เพื่อให้ง่ายต่อการใช้อย่าง ผู้จัดทำจึงได้เรียบเรียงคู่มือชุดนี้ประกอบด้วย ใบความรู้ และใบงานการทดลอง สำหรับนักเรียนใช้เป็นแนวทางในการทดลองตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

ผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่าคู่มือปฏิบัติการชุดนี้ จะเป็นประโยชน์และเป็นสิ่งที่อำนวยความสะดวกต่อนักเรียนที่ต้องการแนวทางในการทดลอง เรื่อง การหาค่าอัตราเร็วเสียงในของแข็งโดยวิธีการสั่นพ้องของคลื่นเสียงได้เป็นอย่างดี

ปรีณาพรรณ พิมพ์พิศาล

ผู้จัดทำ

สารบัญ

หน้า

ข้อเสนอแนะในการใช้คู่มือปฏิบัติการ	1
ใบความรู้	2
ใบงานการทดลอง	16
1. หลักการและเหตุผล	16
2. วัตถุประสงค์	16
3. ทฤษฎี	16
4. ขั้นตอนการทดสอบชุดทดลอง	19
5. อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	19
6. วิธีการทดลอง	20
7. การบันทึกผลการทดลองและการจัดกระทำข้อมูลการทดลอง	25
8. คำถามนำไปสู่การอภิปรายผลการทดลอง	29
9. อภิปรายผลการทดลอง	29
10. สรุปผลการทดลอง	29

ข้อเสนอแนะในการใช้คู่มือปฏิบัติการ

คู่มือปฏิบัติการประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

1. ใบความรู้
2. ใบงานการทดลอง

สื่อการสอนประกอบด้วย

1. คู่มือปฏิบัติการ
2. ชุดทดลองเรื่อง การหาค่าอัตราเร็วเสียงในของแข็งโดยวิธีการสั่นพ้องของคลื่นเสียง

กระบวนการจัดการเรียนรู้

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

แนวปฏิบัติของนักเรียน

1. นักเรียนต้องมีความสนใจในเนื้อหาที่ครูผู้สอนบรรยาย และสาธิตการใช้ชุดทดลองเป็นอย่างดี
2. นักเรียนต้องปฏิบัติตามระเบียบของห้องปฏิบัติการของโรงเรียนอย่างเคร่งครัด
3. นักเรียนต้องใช้ชุดทดลองอย่างระมัดระวังและคำนึงถึงความปลอดภัยของตนเองอย่างสูงสุด
4. หลังจกทำการทดลองแล้วนักเรียนต้องเขียนรายงานการทดลองส่งครูผู้สอนภายใน 1 สัปดาห์หลังจากทำการทดลอง
5. หากนักเรียนมีข้อสงสัยเกี่ยวกับการทดลอง ให้ถามครูผู้สอนโดยตรง

ใบความรู้

เรื่อง การหาอัตราเร็วเสียงในของแข็งโดยวิธีการสั่นพ้องของคลื่นเสียง

เนื้อหาและทฤษฎี

1. ธรรมชาติของเสียง

เสียงเป็นคลื่นกล (Mechanical waves) ที่เกิดจากการสั่นของวัตถุ เสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงต้องอาศัยตัวกลางในการถ่ายโอนพลังงานการสั่นของแหล่งกำเนิดเสียงนั้นไปยังที่ต่าง ๆ

2. อัตราเร็วของเสียง

เมื่อแหล่งกำเนิดเสียงสั่นและถ่ายโอนพลังงานของการสั่นผ่านตัวกลาง ทำให้คลื่นเสียงเคลื่อนที่ไป คลื่นเสียงจะมีอัตราเร็วมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับตัวกลาง โดยคลื่นเสียงจะเคลื่อนที่ได้เร็วที่สุดในตัวกลางที่เป็นของแข็ง และเร็วน้อยลงในตัวกลางที่เป็นของเหลว และแก๊ส ตามลำดับ

สำหรับการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียงในอากาศ ช่วงเวลาที่เสียงเคลื่อนที่จากแหล่งกำเนิดเสียงผ่านอากาศมาถึงผู้ฟังขึ้นอยู่กับอัตราเร็วของเสียงและระยะทางระหว่างแหล่งกำเนิดเสียงกับผู้รับฟัง ถ้าระยะห่างมาก ต้องใช้เวลานานกว่าจะได้ยินเสียง แต่ถ้าระยะใกล้ก็จะใช้เวลาน้อยกว่า อัตราเร็วของคลื่นเสียงในตัวกลางหนึ่ง ๆ จะคงตัว เมื่ออุณหภูมิของตัวกลางคงตัว ดังแสดงในตารางที่ ก-1

นักฟิสิกส์ทดลองเรื่องความเร็วเสียง พบว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเสียงจะเคลื่อนที่ได้เร็วขึ้น โดยพบว่าอัตราเร็วเสียงและอุณหภูมิในหน่วยองศาสัมบูรณ์ (K) มีความสัมพันธ์กันดังนี้

$$v \propto \sqrt{T} \quad (1)$$

เมื่อ v คือ อัตราเร็วเสียงในอากาศ มีหน่วย เมตรต่อวินาที (m/s)

T คือ อุณหภูมิของอากาศ มีหน่วย องศาสัมบูรณ์หรือเคลวิน (K)

และจากการทดลองที่อุณหภูมิ $0^{\circ}C$ หรือ $273 K$ เสียงในอากาศมีอัตราเร็วเท่ากับ $331 m/s$

จาก (1)

$$v \propto \sqrt{T}$$

$$v_i = K\sqrt{T_i} \quad (2)$$

เมื่อ K คือ ค่าคงที่ของการแปรผันตรง

$$v_0 = K\sqrt{T_0} \quad (3)$$

เมื่อ v_i คือ อัตราเร็วเสียงในอากาศที่อุณหภูมิ i องศาเซลเซียส มีหน่วย เมตรต่อวินาที (m/s)

v_0 คือ อัตราเร็วเสียงในอากาศที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส มีหน่วย เมตรต่อวินาที(m/s)

T_t คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ที่แปลตามค่าอุณหภูมิ t องศาเซลเซียส มีหน่วย เคลวิน (K)

T_0 คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ที่แปลตามค่าอุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส มีหน่วย เคลวิน (K)

หากนำสมการที่ (2) หาค่าสมการที่ (3) จะได้

$$\frac{v_t}{v_0} = \frac{K\sqrt{T_t}}{K\sqrt{T_0}}$$

$$\frac{v_t}{v_0} = \frac{\sqrt{T_t}}{\sqrt{T_0}}$$

$$\frac{v_t}{v_0} = \sqrt{\frac{273+t}{273+0}}$$

$$\frac{v_t}{v_0} = \sqrt{1 + \frac{t}{273}}$$

(4)

จากสมการที่ (4) ถ้าให้ $t/273$ เท่ากับ x และ x มีค่าน้อยมาก ๆ เมื่อเทียบกับ 1 หรือ $x \ll 1$

ค่า

$$(1+x)^n = 1 + \frac{n}{1!}x + \frac{n(n-1)}{2!}x^2 + \dots + x^n$$

โดยพจน์ที่สามเป็นต้นไปจะมีค่าน้อยกว่าพจน์ที่หนึ่งและพจน์ที่สองมาก

จะได้

$$(1+x)^n = 1 + \frac{n}{1!}x$$

เมื่อ $n = \frac{1}{2}$ จะได้ว่า

$$(1+x)^{\frac{1}{2}} \cong 1 + \frac{x}{2}$$

ดังนั้น

$$\frac{v_t}{331} = 1 + \frac{t}{273 \times 2}$$

$$v_t = 331 \left(1 + \frac{t}{273 \times 2} \right)$$

$$v_t = 331 + \frac{331t}{273 \times 2}$$

$$v_t = 331 + 0.6t$$

(5)

สรุปได้ว่า ถ้าเสียงเคลื่อนที่ในตัวกลางที่มีอุณหภูมิสูงเสียงจะเคลื่อนที่ได้เร็ว และในตัวกลางที่มีอุณหภูมิต่ำ เสียงจะเคลื่อนที่ช้า โดยจะเป็นไปตามสมการที่ (5) เมื่อ t คือ อุณหภูมิของอากาศ มีหน่วย องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$)

ตารางที่ ค-1 อัตราเร็วของเสียงในตัวกลางต่าง ๆ (สสวท., 2554, หน้า 68)

ตัวกลาง	อัตราเร็ว (m/s)
แก๊ส	
อากาศ (0°C)	331
อากาศ (20°C)	343
คาร์บอนไดออกไซด์ (0°C)	259
ออกซิเจน (0°C)	316
ฮีเลียม (0°C)	965
ของเหลว	
คลอโรฟอร์ม (20°C)	1004
เอทิลแอลกอฮอล์ (20°C)	1162
ปรอท (20°C)	1450
น้ำกลั่น (20°C)	1482
น้ำทะเล (20°C)	1552
ของแข็ง	
อะลูมิเนียม (20°C)	6420
เหล็ก (20°C)	5941
แกรนิต (20°C)	6000

สำหรับสมการ $v_t = 331 + 0.6t$ จะใช้ได้เมื่ออุณหภูมิของตัวกลางไม่เกิน 50°C นอกจากนี้การหาอัตราเร็วของคลื่นเสียงยังหาได้จากสมการ

$$v = f\lambda \quad (6)$$

และ
$$v = \frac{s}{t} \quad (7)$$

เมื่อ v คือ อัตราเร็วเสียง มีหน่วย เมตรต่อวินาที (m/s)

f คือ ความถี่คลื่นเสียง มีหน่วย เฮิรตซ์ (Hz)

λ คือ ความยาวคลื่นเสียง มีหน่วย เมตร (m)

s คือ ระยะทาง มีหน่วย เมตร (m)

t คือ เวลา มีหน่วย วินาที (s)

ถ้าอุณหภูมิเกิน $50^{\circ}C$ ต้องใช้สมการดังนี้

$$v_t \propto \sqrt{T}$$

$$v_t = 331 \sqrt{1 + \frac{t}{273}} \quad (8)$$

$$v_t = 331 \sqrt{\frac{T}{273}} \quad (9)$$

เมื่อ t คือ อุณหภูมิของอากาศ มีหน่วย องศาเซลเซียส ($^{\circ}C$)

T คือ อุณหภูมิของอากาศ หน่วย องศาสัมบูรณ์หรือเคลวิน (K)

การหาอัตราเร็วของคลื่นเสียงที่อุณหภูมิ $30^{\circ}C$ จากสมการทั้งสองจะมีค่าใกล้เคียงกันคือ จากสมการที่ (5) จะได้

$$v_t = 331 + 0.6t$$

$$= 331 + 0.6 \times 30$$

$$= 349 \text{ m/s}$$

และจากสมการ (8)

$$v_t = 331 \sqrt{1 + \frac{t}{273}}$$

$$= 331 \sqrt{1 + \frac{30^{\circ}C}{273}}$$

$$= 348.7 \text{ m/s}$$

จะเห็นว่าอัตราเร็วของคลื่นเสียงที่อุณหภูมิ $30^{\circ}C$ จากสมการที่ (5) และ (8) อัตราเร็วของคลื่นเสียงมีค่าเท่ากับ 349 m/s และ 348.7 m/s ตามลำดับ ซึ่งให้ค่าที่ใกล้เคียงกัน

แต่ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 50°C การหาอัตราเร็วเสียงจากทั้งสองสมการจะไม่เท่ากัน เช่น การหาอัตราเร็วเสียงที่ 200°C

จากสมการที่ (5) จะได้

$$v_t = 331 + 0.6t$$

$$= 331 + 0.6 \times 200$$

$$= 451 \text{ m/s}$$

และจากสมการที่ (8) จะได้

$$v = 331 \sqrt{1 + \frac{t}{273}}$$

$$= 331 \sqrt{1 + \frac{200}{273}}$$

$$= 435.7 \text{ m/s}$$

จะเห็นว่าถ้าอุณหภูมิตั้งแต่ 50°C ขึ้นไปจะใช้สมการที่ (5) $v_t = 331 + 0.6t$ ไม่ได้ เพราะค่าที่ได้ผิดพลาดมากเมื่อเทียบกับการหาโดยใช้สมการที่ (8)

อัตราเร็วเสียงในของแข็งที่เป็นเส้น

อัตราเร็วเสียงในของแข็งที่เป็นเส้น ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นและมอดูลัสของยัง (Young's Modulus) ของของแข็งที่เป็นเส้น ตามสมการ

$$v = \sqrt{\frac{Y}{\rho}} \quad (10)$$

เมื่อ v คือ อัตราเร็วเสียงในของแข็ง มีหน่วย เมตรต่อวินาที (m/s)

ρ คือ ความหนาแน่นของของแข็ง มีหน่วย กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (kg/m^3)

Y คือ ค่ามอดูลัสของยังของของแข็ง มีหน่วย นิวตันต่อตารางเมตร (N/m^2)

โดยค่า Y สามารถคำนวณได้จาก

$$Y = \frac{\text{stress}}{\text{strain}} = \frac{\text{ความเค้น}}{\text{ความเครียด}} = \frac{F/A}{\Delta L/L} \quad (11)$$

เมื่อ F คือ แรงดึงที่กระทำของเส้นของแข็ง มีหน่วย นิวตัน (N)

A คือ พื้นที่ภาคตัดขวางของเส้นของแข็ง มีหน่วย ตารางเมตร (m^2)

L คือ ความยาวของเส้นของแข็ง มีหน่วย เมตร (m)

ΔL คือ ความยาวที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อมีแรงดึงมากระทำ มีหน่วย เมตร (m)

มหาวิทยาลัยบูรพา
Burapha University

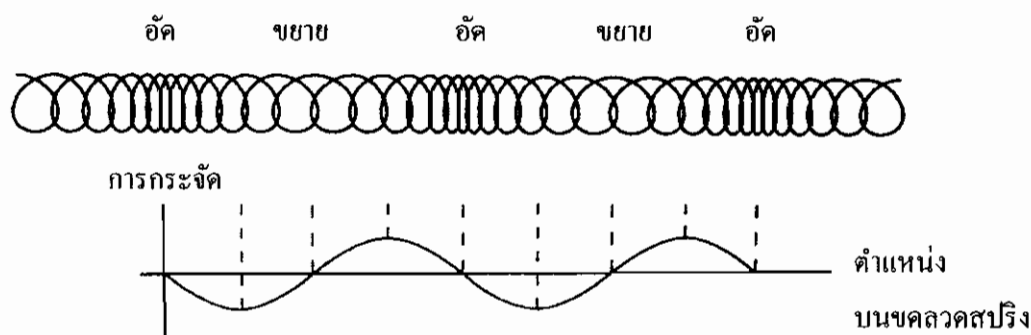
ตารางที่ ก-2 สมบัติของสารที่เป็นของแข็ง (DAID T. BLACKSTOCK, 2000, pp. 461 – 463)

Material	Density ρ_0 (kg/m^3)	Young's Modulus Y (GPa)	Shear Modulus G (GPa)	Adiabatic Bulk Modulus B (GPa)	Speed c m/s		Characteristic Impedance $(\rho_0 c_0)$ (MKS Mrayls)	
					Bar	Bulk	Bar	Bulk
Aluminum	2700	71	24	75	5150	6300	13.9	17.0
Brass	8500	104	38	136	3500	4700	29.8	40.0
Copper	8900	122	44	160	3700	5000	33.0	44.5
Iron (cast)	7700	105	44	86	3700	4350	28.5	33.5
Lead	11300	16.5	5.5	42	1200	2050	13.6	23.2
Nickel	8800	210	80	190	4900	5850	43.0	51.5
Silver	10500	78	28	105	2700	3700	28.4	39.0
Steel	7700	195	83	170	5050	6100	39.0	47.0
Glass (Pyrex)	2300	62	25	39	5200	5600	12.0	12.9
Lucite	1200	4	1.4	6.5	1800	2650	2.15	3.2

3. การเคลื่อนที่ของคลื่นเสียงผ่านตัวกลาง

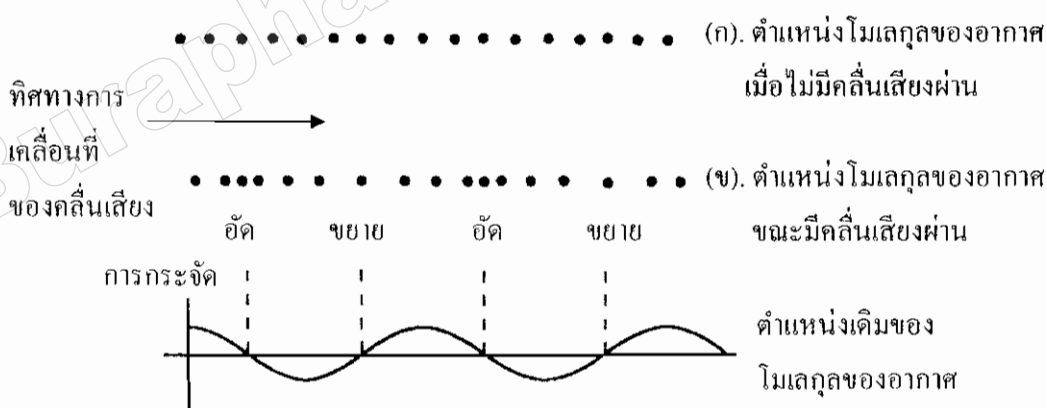
คลื่นเสียงเกิดจากการสั่นของวัตถุที่เป็นแหล่งกำเนิดเสียง พลังงานการสั่นของแหล่งกำเนิดจะถูกถ่ายโอนให้แก่โมเลกุลของตัวกลางที่ติดกับแหล่งกำเนิดนั้นและถ่ายโอนพลังงานให้แก่โมเลกุลถัดไปเรื่อย ๆ จนถึงหูผู้ฟัง ผลที่เกิดขึ้นคือ คลื่นเสียงเคลื่อนที่จากแหล่งกำเนิดเสียง โดยมีโมเลกุลตัวกลางทำหน้าที่ถ่ายโอนพลังงานของคลื่นเสียงนั้น โดยโมเลกุลของตัวกลางไม่ได้เคลื่อนที่ไปกับคลื่นเสียงนั้น

สำหรับคลื่นเสียงในอากาศ เมื่อแหล่งกำเนิดเสียงสั่น พลังงานของการสั่นจะถูกถ่ายโอนให้แก่โมเลกุลของอากาศที่อยู่รอบ ๆ โดยการชนระหว่างโมเลกุล เมื่อพิจารณาแนวการถ่ายโอนพลังงานของคลื่นเสียงกับแนวการสั่นของโมเลกุลของอากาศซึ่งเป็นอนุภาคของตัวกลางแล้ว จะพบว่าอยู่ในแนวเดียวกันคั้งนั้น คลื่นเสียงจึงเป็นคลื่นตามยาว (Longitudinal Wave) เนื่องจากโมเลกุลของอากาศมีขนาดเล็กมาก จึงไม่สามารถสังเกตลักษณะการเคลื่อนที่ของโมเลกุลได้โดยตรง เราจะพิจารณาโดยใช้ขดลวดสปริงเป็นแบบจำลองแทน ขณะที่ไม่มีคลื่นเคลื่อนที่ผ่าน ขดลวดสปริงแต่ละขดลวดของสปริงจะอยู่ห่างเท่ากันตลอดเวลา เมื่อมีคลื่นตามยาวเคลื่อนที่ผ่าน ขดลวดสปริงอย่างต่อเนื่องจะพบว่าระยะห่างของแต่ละขดนี้จะมีค่าต่างกัน ถ้าพิจารณาที่เวลาขณะใดขณะหนึ่ง ส่วนของขดลวดสปริงที่อยู่ชิดกว่าปกติ เรียกว่า ส่วนอัด (Compression) ส่วนที่อยู่ห่างกว่าปกติ เรียกว่า ส่วนขยาย (Expansion) ถ้าพิจารณาบริเวณส่วนอัดจะเห็นว่าขดลวดสปริงที่อยู่ตรงกลางไม่มีการเคลื่อนที่เพราะถูกขดลวดส่วนที่อยู่ทางขวาและส่วนที่อยู่ทางซ้ายอัดเข้ามา การกระจัดของขดลวดตรงกลางส่วนอัดจึงเป็นศูนย์ เมื่อพิจารณาบริเวณส่วนขยายจะเห็นว่าขดลวดสปริงที่อยู่ตรงกลางก็ไม่มีการเคลื่อนที่เช่นกันเพราะถูกขดลวดส่วนที่อยู่ทางขวาและส่วนที่อยู่ทางซ้ายดึง การกระจัดของขดลวดตรงกลางส่วนขยายจึงเป็นศูนย์ เมื่อเขียนกราฟแสดงการกระจัดเทียบกับตำแหน่งบนขดลวดสปริง จะได้ดังภาพที่ ข-3



ภาพที่ ค-3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดออกจากตำแหน่งเดิมของขดลวดสปริงกับตำแหน่งต่าง ๆ บนสปริงขณะที่คลื่นตามยาวผ่าน (สสวท., 2551, หน้า 70)

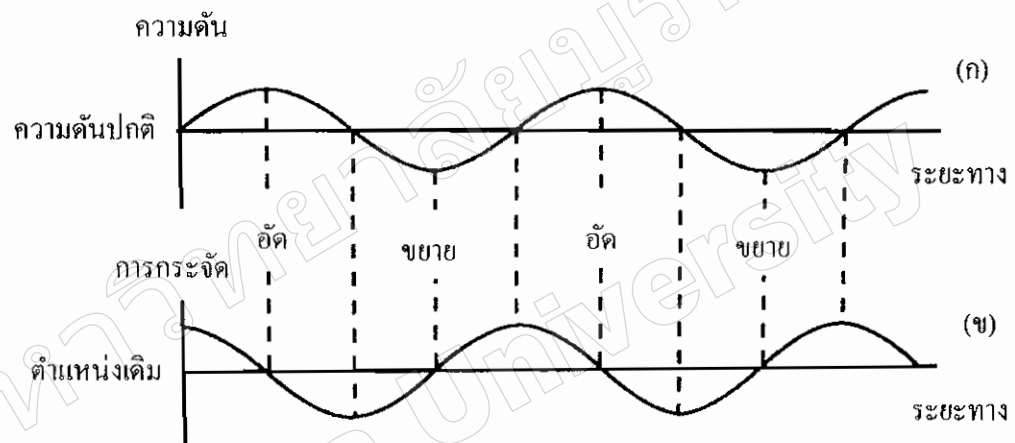
เมื่อพิจารณาโมเลกุลของอากาศอยู่ในแนวเส้นตรงจากแหล่งกำเนิดเสียง ขณะไม่มีคลื่นเสียงเคลื่อนที่ผ่าน โดยเฉลี่ยแต่ละโมเลกุลของอากาศอยู่ห่างกันเป็นระยะเท่ากันโดยตลอด ดังภาพที่ ค-4 (ก) เมื่อมีคลื่นเสียงเคลื่อนที่ผ่าน ระยะระหว่างโมเลกุลของอากาศจะเปลี่ยนไปตามลักษณะที่เป็นส่วนอัดและส่วนขยายดังภาพที่ ค-4 (ข) และกราฟระหว่างระยะห่างจากตำแหน่งเดิมของอนุภาคอากาศตามแนวการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียงจะเป็นลักษณะเดียวกับการเกิดคลื่นตามยาวในขดลวดสปริง ดังแสดงในภาพที่ ค-4 (ค)



(ค). กราฟระหว่างการกระจัดของโมเลกุลของอากาศกับตำแหน่งต่าง ๆ ตามแนวการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียง

ภาพที่ ค-4 คลื่นเสียงขณะเคลื่อนที่ผ่านอากาศ (สสวท., 2551, หน้า 70)

ขณะที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่านอากาศ โมเลกุลของอากาศบริเวณที่เป็นส่วนอัดจะมีจำนวนมากกว่าปกติทำให้ความดันอากาศที่บริเวณส่วนอัดสูงกว่าความดันปกติ ส่วนโมเลกุลของอากาศในบริเวณที่เป็นส่วนขยายจะมีจำนวนน้อยกว่าปกติ ทำให้ความดันของอากาศในบริเวณส่วนขยายต่ำกว่าปกติ ดังนั้น บริเวณตรงกลางของส่วนอัดจึงมีความดันเพิ่มขึ้นจากปกติมากที่สุด และตรงกลางของส่วนขยายก็มีความดันลดลงจากปกติมากที่สุด ดังนั้นเมื่อพิจารณาคลื่นเสียงที่เคลื่อนที่ผ่านอากาศขณะใดขณะหนึ่ง กราฟระหว่างความดันของอากาศ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ตามแนวการเคลื่อนที่ของเสียงเป็นดังภาพที่ ค-5 (ก) และกราฟระหว่างการจัดของโมเลกุลอากาศตามแนวการเคลื่อนที่ของเสียงเป็นดังภาพที่ ค-5 (ข)



ภาพที่ ค-5 (ก). กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับตำแหน่งต่าง ๆ ตามแนวการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียง

(ข). กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดของอนุภาคกับตำแหน่งต่าง ๆ ตามแนวการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียง (สสวท.. 2551, หน้า 71)

คลื่นเสียงเกิดจากการสั่นของแหล่งกำเนิดเสียง พลังงานการสั่นของแหล่งกำเนิดเสียงนี้จะถูกถ่ายโอนให้กับโมเลกุลของอากาศ ทำให้ความดันอากาศเปลี่ยนแปลงแต่ความถี่ของการเปลี่ยนแปลงก็ยังคงเท่ากับความถี่ของแหล่งกำเนิดเสียงจนกระทั่งถึงหูผู้ฟัง ทำให้ผู้ฟังได้ยินเสียงที่มีความถี่เดียวกับความถี่ของแหล่งกำเนิดเสียง

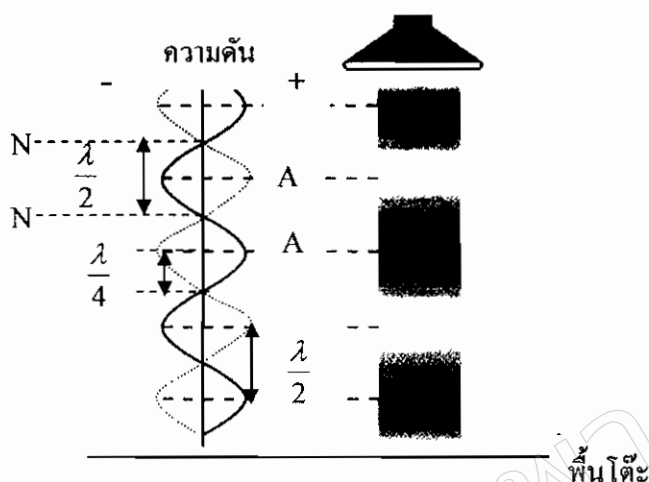
4. ความถี่ธรรมชาติ

ความถี่ธรรมชาติ (Natural Frequency) คือ จำนวนรอบของการแกว่งอย่างอิสระด้วยตัวเองของวัตถุในเวลา 1 วินาที มีหน่วยเป็น Hertz (รอบ/วินาที) ซึ่งเป็นความถี่เฉพาะตัวของวัตถุ จะมีเพียงค่าเดียวหรืออาจมีได้หลายๆ ค่า ขึ้นอยู่กับชนิดและลักษณะการสั่นของวัตถุ ความถี่ธรรมชาติที่ค่าที่สุดที่วัตถุสั่นได้ เรียกว่า ความถี่พื้นฐาน (Fundamental Frequency) ส่วนความถี่ธรรมชาติอื่นๆ เราจะเรียกว่า โอเวอร์โทน (Overtone) ซึ่งจะมีค่าเป็นจำนวนเท่าของความถี่พื้นฐาน ถ้าวัตถุสั่นด้วยความถี่ธรรมชาติวัตถุจะสั่นแรงกว่าปกติหรือแอมพลิจูดของการสั่นมีค่ามากที่สุด ซึ่งเรียกว่า การสั่นพ้อง (Resonance)

วัตถุต่าง ๆ ที่ถูกตึง เช่น สะพานแขวน ชิงช้า ลูกตุ้มที่แขวนเชือก สายไฟที่ขึงบนเสา กลางทุ่ง เมื่อถูกแรงกระทำแล้วปล่อยจะสั่นหรือแกว่ง เช่น ถ้าผูกเชือกติดวัตถุห้อยไว้ในแนวดิ่ง เมื่อให้มวลนั้นสั่น เราพบว่ามวลจะสั่นกลับไป-กลับมา แต่ถ้าเราผลักมวลต่อไปเรื่อยๆ โดยให้จังหวะของการผลักสอดคล้องกับการสั่นของมวลพอดี เราพบว่าใช้แรงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น มวลก็จะสั่นแรงขึ้น ในทางตรงข้ามถ้าแรงที่เราให้ไม่สอดคล้องกับการครบรอบของมวล จะทำให้มวลนั้นสั่นด้วยแอมพลิจูดที่เล็กลง ถึงแม้ว่าเราจะให้แรงมากก็ตาม

5. คลื่นนิ่งของเสียง

คลื่นนิ่ง (Standing Waves) เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจากการรวมกันของคลื่นเสียง 2 ขบวน ที่มีความยาวคลื่น ความถี่และแอมพลิจูดเท่ากัน ทำให้เกิดการรวมกันเป็นคลื่นนิ่ง เช่น เมื่อเสียงจากลำโพงเคลื่อนที่ไปกระทบพื้นโต๊ะจะมีคลื่นเสียงสะท้อนออกจากพื้น โต๊ะเสียงที่สะท้อนนี้จะมีค่าเท่ากับเสียงที่ตกกระทบพื้นโต๊ะ และเสียงสะท้อนนี้จะซ้อนทับกับเสียงที่ออกจากลำโพงโดยตรงทำให้เกิดปรากฏการณ์การแทรกสอดที่มีลักษณะเป็นคลื่นนิ่งได้โดยเราจะได้ยินเสียงดังและเสียงค่อยสลับกันดังภาพที่ ค-6



ภาพที่ ค-6 แสดงคลื่นนิ่งของเสียง (สสวท., 2551, หน้า 97)

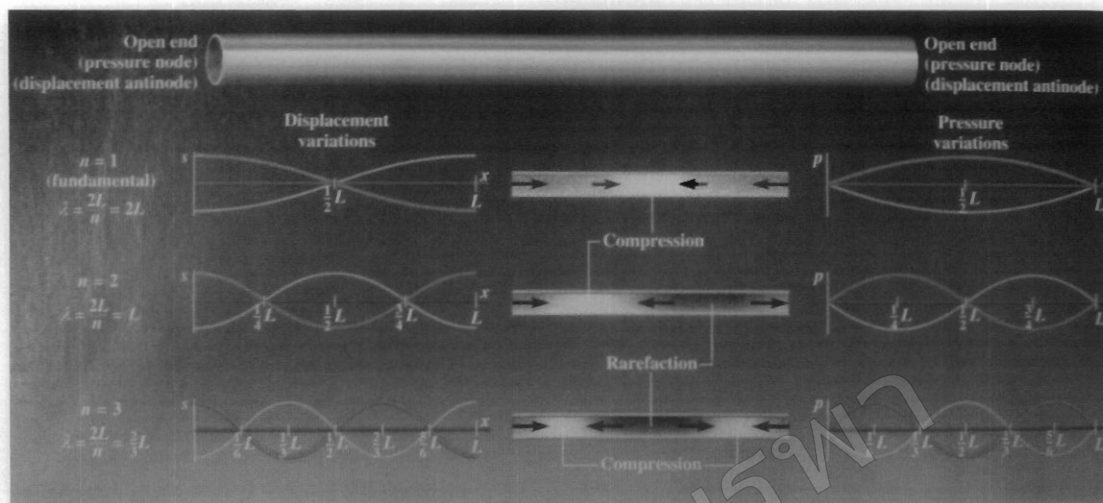
จากภาพ ตำแหน่งบัพที่อยู่ติดกัน (N-N) ห่างกัน $\frac{\lambda}{2}$

ตำแหน่งปฏิบัพที่อยู่ติดกัน (A-A) ห่างกัน $\frac{\lambda}{2}$

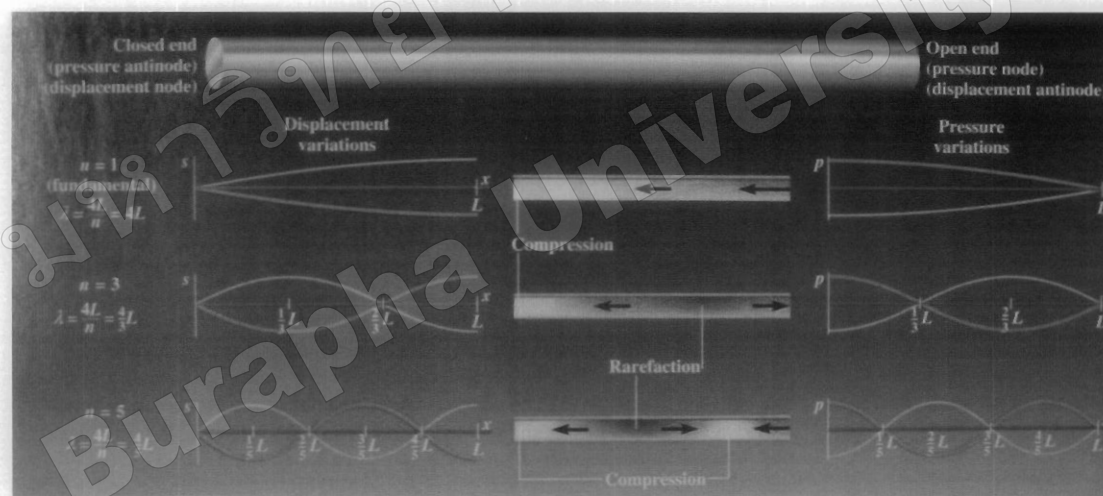
ตำแหน่งบัพและปฏิบัพที่อยู่ติดกัน (A-N) ห่างกัน $\frac{\lambda}{4}$

6. คลื่นนิ่งในท่ออากาศ

เครื่องดนตรีประเภทเครื่องเป่าได้แก่ ขลุ่ย ทรัมเป็ต และแซกโซโฟน อาศัยหลักการทำให้เกิดคลื่นนิ่งในท่ออากาศ โดยท่ออากาศที่ใช้มี 2 แบบ คือ ท่อปลายเปิด (Opened Pipe) และท่อปลายปิด (Closed Pipe) โดยบริเวณปลายปิดของท่อจะเป็นตำแหน่งบัพ ทั้งนี้เพราะตรงบริเวณปลายปิดจะเป็นบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงความดันมากที่สุด ทำให้บริเวณนั้นมีการอัดแน่นของโมเลกุลอากาศทำให้การกระจัดของโมเลกุลมีค่าน้อยที่สุด ส่วนบริเวณปลายเปิดเป็นตำแหน่งปฏิบัพ เพราะบริเวณนี้ความดันอากาศมีค่าคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากปลายท่อเปิดสู่บรรยากาศ ทำให้โมเลกุลอากาศตรงบริเวณนั้นมีการกระจัดสูงสุด โดยแสดงดังภาพที่ ข-7



(ก) คลื่นนิ่งในท่อปลายเปิด



(ข) คลื่นนิ่งในท่อปลายปิด

ภาพที่ ก-7 คลื่นนิ่งในท่อปลายเปิดและท่อปลายปิด

(ก) คลื่นนิ่งในท่อปลายเปิด

(ข) คลื่นนิ่งในท่อปลายปิด

(Giambattista, Betty Richardson, & Robert Richardson, 2010, pp. 430 -- 431)

สมการแสดงความสัมพันธ์ของความยาวท่อ ความยาวคลื่น และความถี่ของการเกิดคลื่นนิ่งในท่อเป็นดังนี้

$$\text{ท่อปลายเปิด} \quad f_n = \frac{v}{\lambda} = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{B}{\rho}} \quad (12)$$

$$\text{ท่อปลายปิด} \quad f_n = \frac{v}{\lambda} = \frac{n}{4L} \sqrt{\frac{B}{\rho}} \quad (13)$$

เมื่อ f_n คือ ความถี่ มีหน่วย เฮิรตซ์ (Hz)

v คือ อัตราเร็วเสียง มีหน่วย เมตรต่อวินาที (m/s)

λ คือ ความยาวคลื่น มีหน่วย เมตร (m)

n คือ จำนวนคลื่นนิ่งที่เกิดขึ้น

L คือ ความยาวท่อ มีหน่วย เมตร (m)

B คือ Bulk Modulus ของตัวกลางที่คลื่นเคลื่อนที่ มีหน่วย นิวตันต่อตารางเมตร (N/m²)

ρ คือ ความหนาแน่นของตัวกลาง มีหน่วย กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (kg/m³)

ใบงานการทดลอง

เรื่อง การหาอัตราเร็วเสียงในของแข็งโดยวิธีการสั่นพ้องของคลื่นเสียง

1. หลักการและเหตุผล

เสียงเกิดจากการสั่นของแหล่งกำเนิดเสียง เสียงจากแหล่งกำเนิดเสียง ต้องอาศัยตัวกลางในการถ่ายโอนพลังงานการสั่นของแหล่งกำเนิดเสียงนั้นไปยังที่ต่าง ๆ และถ้าเสียงเคลื่อนที่ในตัวกลางที่เป็นของแข็งที่มีความหนาแน่นและความยืดหยุ่นต่างกันอัตราเร็วเสียงก็จะต่างกันด้วย สามารถทำการทดลองหาค่าอัตราเร็วเสียงในของแข็งแบบง่าย ๆ ได้โดยวิธีการสั่นพ้องของคลื่นเสียง

2. วัตถุประสงค์

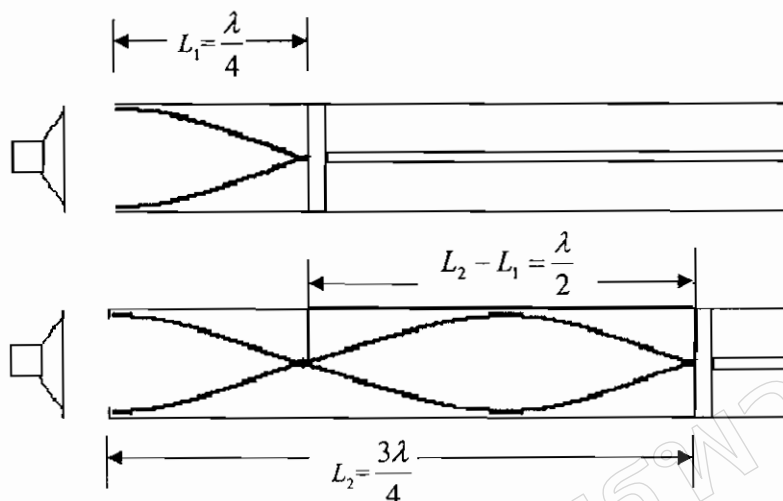
1. ศึกษาอัตราเร็วเสียงในของแข็งแต่ละชนิด
2. นักเรียนสามารถใช้ชุดทดลอง ทดลองหาค่าอัตราเร็วเสียงในของแข็งแต่ละชนิดได้
3. นักเรียนสามารถหาค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดลองได้

3. ทฤษฎี

3.1 การสั่นพ้องของคลื่นในท่ออากาศ

เมื่อเกิดการรบกวนตัวกลางใด ๆ แล้วจะเกิดคลื่นขึ้นในตัวกลางนั้น โดยตัวกลางจะแกว่งด้วยความถี่เป็นไปตามธรรมชาติของตัวกลางนั้น ๆ ความถี่ของคลื่นที่เกิดขึ้นเรียกว่า ความถี่ธรรมชาติ โดยปกติอนุภาคในตัวกลางจะสั่นด้วยความถี่ธรรมชาติของตัวมันถ้าเราให้ความถี่กับตัวกลาง เช่น เส้นเชือกหรืออากาศที่อยู่ในท่อ เท่ากับความถี่ธรรมชาติของตัวกลาง ผลก็คือจะทำให้อนุภาคในตัวกลางสั่นด้วยแอมพลิจูดสูงสุด ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การเกิดการสั่นพ้อง (Resonance)

การสั่นพ้องของเสียง คือปรากฏการณ์ที่เสียงเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางแล้วอนุภาคของตัวกลางมีการสั่นด้วยความถี่เดียวกับความถี่ของแหล่งกำเนิดเสียง ถ้าเราให้คลื่นเสียงเคลื่อนที่ผ่านอากาศที่อยู่ในท่อการสั่นพ้อง ณ ตำแหน่งที่เกิดการสั่นพ้องจะได้ยินเสียงดังที่สุด ขณะที่เกิดการสั่นพ้องของเสียงในท่ออากาศจะมีการแทรกสอดระหว่างคลื่นเสียงจากแหล่งกำเนิดกับคลื่นเสียงที่สะท้อนจากท่อสั่นพ้องทำให้เกิดคลื่นนิ่งขึ้น และระยะทางระหว่างตำแหน่งเสียงดังที่สุดครั้งที่หนึ่งกับครั้งที่สองจะมีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่นเสียงดังแสดงในภาพที่ ค-8



ภาพที่ ก-8 การเกิดการสั่นพ้องในท่ออากาศ

(ดัดแปลงจาก: <http://www.thaigoodview.com/node/16869?page=0%2C15>)

จากภาพที่ 7 ถ้าให้ L_1 แทนระยะจากลำโพงถึงตำแหน่งเสียงดังที่สุดครั้งที่หนึ่ง โดย $L_1 = \lambda/4$ และ L_2 แทนระยะทางจากลำโพงถึงตำแหน่งเสียงดังที่สุดครั้งที่สองโดย $L_2 = 3\lambda/4$ จะได้

$$L_2 - L_1 = \frac{\lambda}{2} \quad (14)$$

ถ้าให้ $\Delta L = L_2 - L_1$ สมการที่ (14) สามารถเขียนได้ดังนี้

$$\Delta L = \frac{\lambda}{2} \quad (15)$$

ดังนั้นความยาวคลื่นของเสียงจะหาได้จากสองเท่าของผลต่างของระยะของตำแหน่งเสียงดังที่สุดที่อยู่ติดกันดังแสดงในสมการที่ (16)

$$\lambda = 2\Delta L \quad (16)$$

และเมื่อทราบความยาวคลื่นและความถี่เสียงก็สามารถคำนวณหาอัตราเร็วของเสียงในอากาศได้ดังสมการที่ (17)

$$v = \lambda f \quad (17)$$

3.2 หลักการคำนวณหาตำแหน่งอัตราเร็วของคลื่นเสียงในของแข็งมีดังนี้

ทำการวัดความยาวของแท่งเหล็กที่ใช้ทดลอง จะมีค่าเท่ากับ $L_m = \lambda_m / 2$ เนื่องจากตรงจุดกึ่งกลางของแท่งเหล็กติดด้วย ตัวยึด ซึ่งจะเสมือนเป็นจุด บัพ หรือ Node และระหว่างกองของฝุ่นไม้โสรที่ติดกันจะมีค่าเท่ากับ $\lambda_a / 2$ เมื่อรู้ค่าความยาวคลื่นของเสียงในอากาศก็สามารถคำนวณหาความถี่ของอัตราเร็วเสียงในอากาศได้และความถี่ของเสียงในอากาศจะมีค่าเท่ากับความถี่ของเสียงในแท่งเหล็กเพราะว่าเกิดจากแหล่งกำเนิดเสียงเดียวกัน สามารถคำนวณหาอัตราเร็วเสียงในเหล็กได้ดังนี้

จากสมการ

$$f_a = \frac{v_a}{\lambda_a} \quad (18)$$

โดยที่ f_a คือ ความถี่ของเสียงในอากาศ มีหน่วย เฮิรตซ์ (Hz)

v_a คือ อัตราเร็วเสียงในอากาศ มีหน่วย เมตรต่อวินาที (m/s)

λ_a คือ ความยาวคลื่นเสียงในอากาศ มีหน่วย เมตร (m)

และหาอัตราเร็วเสียงในอากาศได้จาก $v = 331 + 0.6t$; t คืออุณหภูมิในหน่วยองศาเซลเซียส)

จากสมการ

$$f_m = \frac{v_m}{\lambda_m} \quad (19)$$

โดยที่ f_m คือ ความถี่ของเสียงในแท่งเหล็ก มีหน่วย เฮิรตซ์ (Hz)

v_m คือ อัตราเร็วเสียงในแท่งเหล็ก มีหน่วย เมตรต่อวินาที (m/s)

λ_m คือ ความยาวคลื่นเสียงในแท่งเหล็ก มีหน่วย เมตร (m)

เนื่องจาก $f_a = f_m$

จะได้ว่า (18) = (19)

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

$$v_m = \frac{v_a \lambda_m}{\lambda_a} \quad (20)$$

$$v_m = f_a \lambda_m \quad (21)$$

จาก $\lambda_m = 2L$

ดังนั้น

$$v_m = f_a 2L \quad (22)$$

4. ขั้นตอนการทดสอบชุดทดลอง

เปรียบเทียบค่าอัตราเร็วเสียงของวัสดุแต่ละชนิดได้จากการทดลองกับค่าอัตราเร็วเสียงมาตรฐานของวัสดุแต่ละชนิด โดยคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง (Percentage Error) ระหว่างอัตราเร็วเสียงจาก 2 วิธีนี้ ได้ดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง} = \frac{|E - A|}{A} \times 100 \quad (23)$$

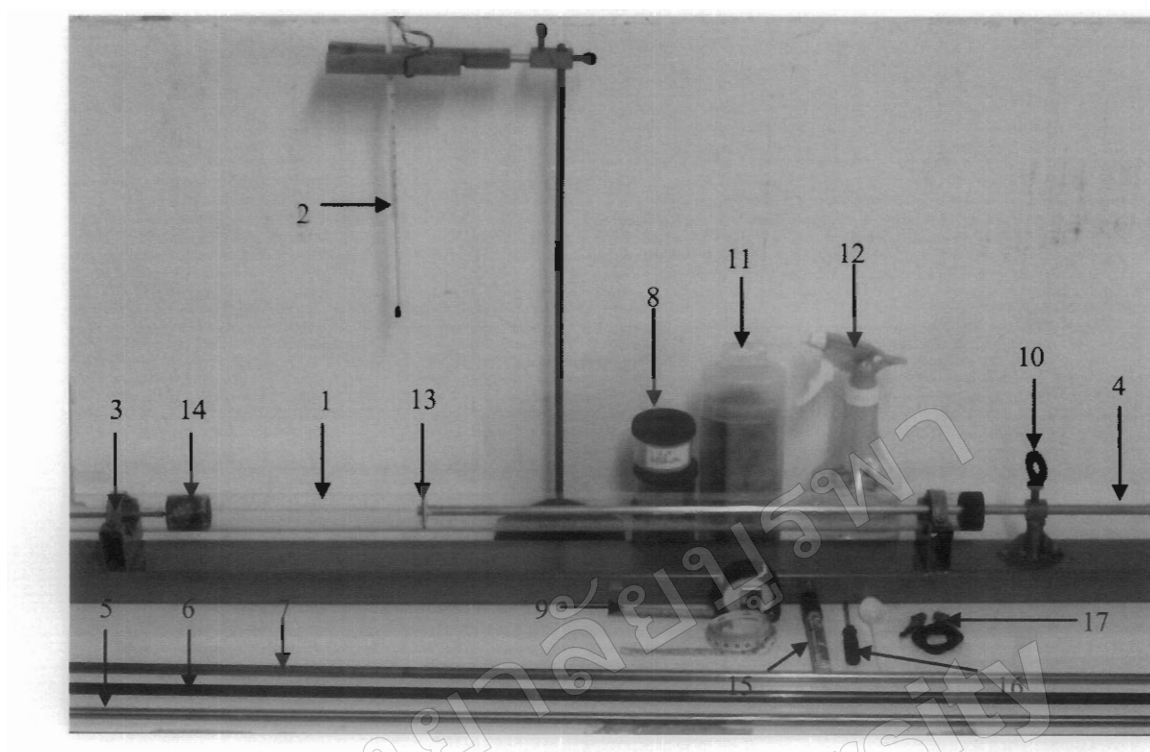
โดยที่ E คือ ค่าที่คำนวณได้จากผลการทดลอง

A คือ ค่ามาตรฐาน

5. อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำชุดทดลองการหาค่าอัตราเร็วคลื่นเสียงในของแข็ง โดยวิธีการสั่นพ้องของเสียง ที่จัดทำขึ้นประกอบด้วยอุปกรณ์ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

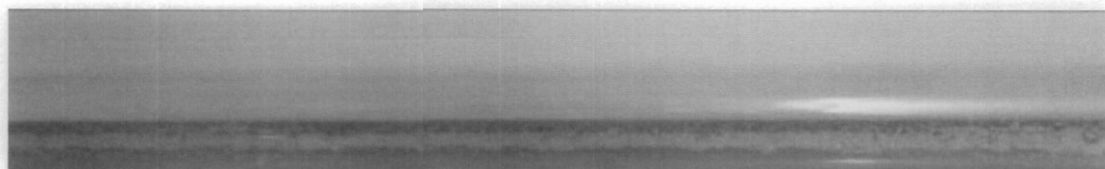
1. ท่อแก้วใส (ทำจากหลอดไฟ) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.035 m. มีความยาว 1 m จำนวน 1 หลอด
2. เทอร์โมมิเตอร์
3. ฐานเหล็กสำหรับยึดท่อทดลอง
4. แท่งอลูมิเนียม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.01 m ยาว 1.20 m 1 แท่ง
5. แท่งเหล็ก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.01 m ยาว 1.20 m 1 แท่ง
6. แท่งทองแดง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.01 m ยาว 1.20 m 1 แท่ง
7. แท่งทองเหลือง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.01 m ยาว 1.20 m 1 แท่ง
8. ผงไม้โสน
9. คลับเมตร
10. สกรูยึด
11. ผ้าขาววูล์
12. กระบอกฉีดน้ำ
13. กระดาษแข็งวงกลม มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.033 m
14. ลูกสูบ
15. ปากกาเคมี
16. ไขควง
17. ที่ดูดหลอดความดันเสียง



ภาพที่ ค-9 อุปกรณ์การทดลอง

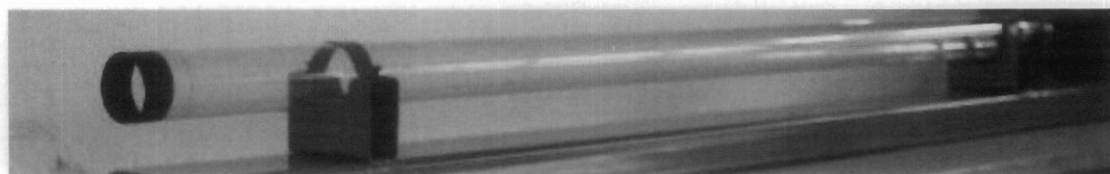
6. วิธีการทดลอง

1. วัดอุณหภูมิเมื่อเริ่มทำการทดลองและเมื่อทดลองเสร็จเพื่อหาค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิเพื่อนำไปคำนวณหาอัตราเร็วเสียงในอากาศจากสมการ $v = 331 + 0.6 \times t$
 2. นำผงไม้ไสนเทใส่ลงไปในท่อแก้วใสและเกลี่ยให้ผงไม้ไสนมีความหนาสม่ำเสมอ
- ดังภาพที่ ค-10



ภาพที่ ค-10 ผงไม้ไสนในท่อแก้วใส

3. ติดตั้งท่อแก้วใสไว้บนฐานเหล็กยึดให้มั่นคง เพื่อป้องกันการเคลื่อนที่ดังภาพที่ ค-11



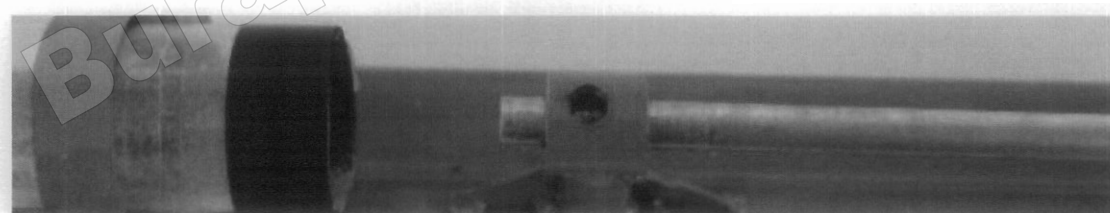
ภาพที่ ค-11 การติดตั้งท่อแก้วใสกับฐานเหล็ก

4. วัดความยาวแท่งวัสดุและขีดด้วยปากกาเคมีที่จุดกึ่งกลางของแท่งวัสดุเพื่อนำไปคำนวณหาความยาวคลื่นในแท่งวัสดุ ($\lambda_m = 2L$) ดังภาพที่ ค-12



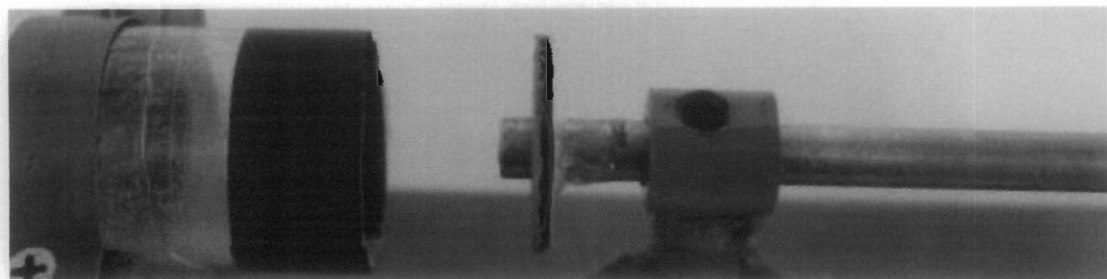
ภาพที่ ค-12 วัดความยาวครึ่งหนึ่งของแท่งวัสดุและทำสัญลักษณ์

5. นำแท่งวัสดุใส่ผ่านจุดล็อกดังภาพดังภาพที่ ค-13



ภาพที่ ค-13 การนำแท่งวัสดุใส่ผ่านจุดล็อก

6. นำแผ่นกระดาษแข็งวงกลมมาติดไว้ที่ปลายของแท่งวัสดุดังภาพที่ ค-14



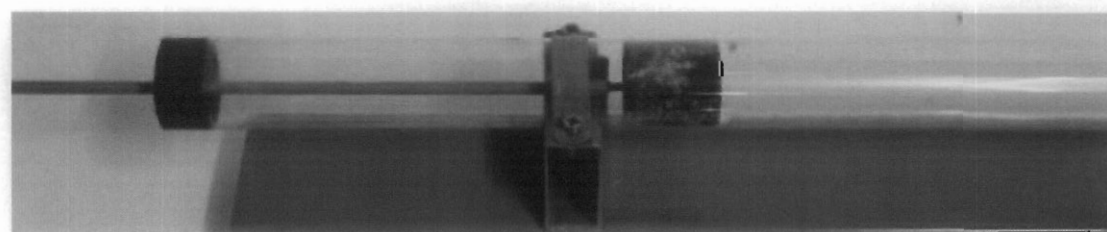
ภาพที่ ค-14 การติดแผ่นกระดาษแข็งวงกลมที่ปลายแท่งวัสดุ

7. ค่อย ๆ เคลื่อนแท่งวัสดุเข้าไปในท่อ จนจุดกึ่งกลางของแท่งวัสดุตรงกับจุดล็อกและทำการขันล็อกให้แน่นดังภาพที่ ค-15



ภาพที่ ค-15 การขันตัวล็อกที่จุดกึ่งกลางของแท่งวัสดุ

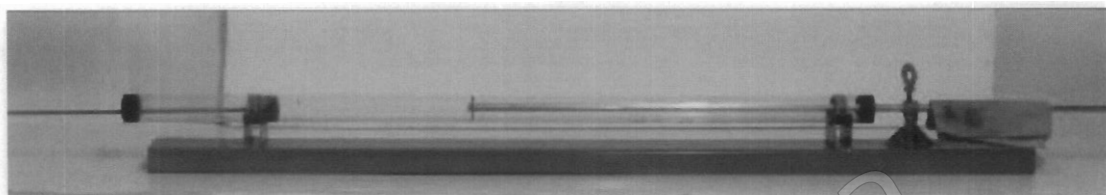
8. นำลูกสูบมาใส่ไว้ที่ปลายอีกด้านของท่อแก้วใสซึ่งจะทำหน้าที่เป็นปลายปิด ดังภาพที่ ค-16



ภาพที่ ค-16 การใส่ลูกสูบที่ปลายของท่อแก้วใส

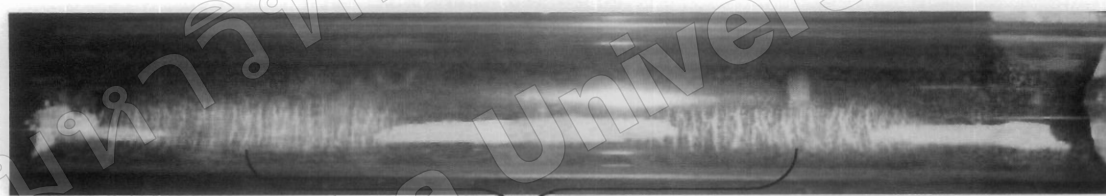
9. ถัดพรมน้ำที่ผ้าขาวมัวร์ให้พอขึ้น ๆ

10. นำผ้าขาวมัวร์มาลูที่แท่งเหล็กส่วนที่ยื่นออกมาด้านนอก สังเกตผงไม้ไสนในท่อว่ามีลักษณะเป็นลูกคลื่น ดังภาพที่ ค-17 และ ค-18



ภาพที่ ค-17 การลูแท่งวัสดุด้วยผ้าขาวมัวร์

11. ทำการวัดความยาวของตำแหน่งผงไม้ไสนที่มีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดมีลักษณะเป็นลูกคลื่นที่อยู่ติดกัน จะมีค่าเท่ากับ $\lambda/2$ ดังภาพที่ ค-18



$$\frac{\lambda}{2}$$

ภาพที่ ค-18 วัดความยาวของตำแหน่งลูกคลื่นที่อยู่ติดกันจะมีค่าเท่ากับ $\lambda/2$

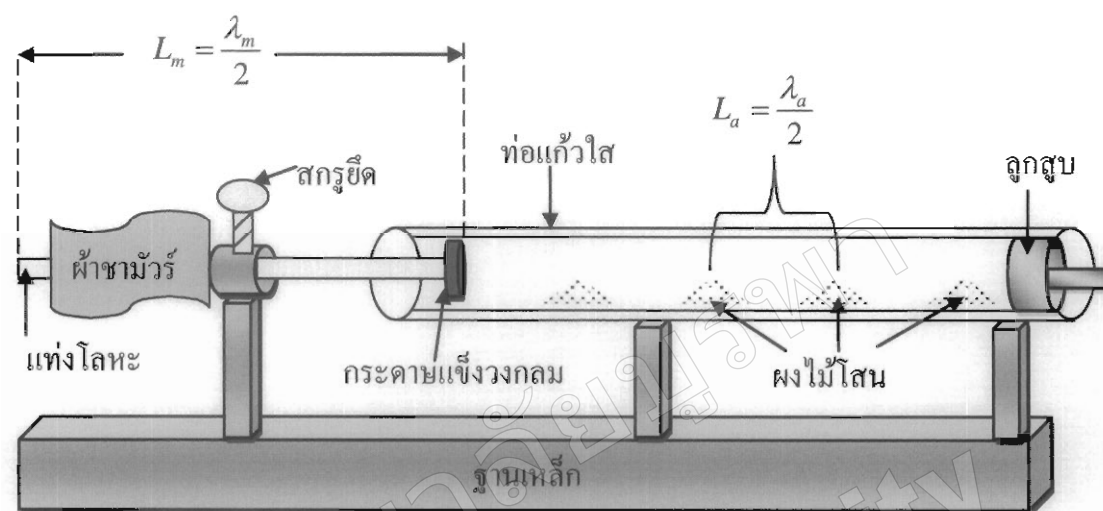
12. ทำการทดลองข้อ I-11 ซ้ำอีก 2 ครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ยความยาวคลื่น

13. เมื่อได้ความยาวคลื่นเสียงในอากาศก็สามารถคำนวณหาความถี่ของอัตราเร็วเสียงในอากาศได้และความถี่ที่ได้จะมีค่าเท่ากับความเร็วของแท่งวัสดุเนื่องจากเกิดจากแหล่งกำเนิดเสียงเดียวกัน แล้วนำความถี่ที่ได้ไปคำนวณหาอัตราเร็วเสียงในแท่งวัสดุได้

14. ทำการเปลี่ยนแท่งวัสดุเป็นชนิดอื่น ๆ ต่อไป

15. ทำการคำนวณหาร้อยละความคลาดเคลื่อนจากการทดลองเทียบกับค่ามาตรฐาน

16. แบบจำลองโครงสร้างโดยรวมของอุปกรณ์การทดลองหาค่าอัตราเร็วเสียงในของแข็ง แสดงในภาพที่ ค-19



ภาพที่ ค-19 โครงสร้างโดยรวมของอุปกรณ์การทดลองหาค่าอัตราเร็วเสียงในของแข็ง

7. การบันทึกผลการทดลองและการจัดกระทำข้อมูลการทดลอง

ตารางที่ ค-3 การหาอัตราเร็วคลื่นเสียงในแท่งทองเหลือง

ตัวแปร	การคำนวณ	ค่าที่วัดได้
อุณหภูมิห้อง $t (^{\circ}C)$	$t_{average} = \frac{t_1 + t_2}{2}$	
อัตราเร็วเสียงในอากาศ $v_{air} (m/s)$	$v_{air} = 331 + 0.6t$	
ความยาวคลื่นเสียงในอากาศ $\lambda_{air-average} (m)$	$\lambda_{air-average}$	
ความถี่ของเสียงในอากาศ $f_{air} (Hz)$	$f_{air} = \frac{v_{air}}{\lambda_{air}}$	
ความยาวของแท่งทองเหลือง $L_{brass} (m)$	วัดความยาวของแท่งทองเหลือง	1.2 m
ความยาวคลื่นของแท่งทองเหลือง $\lambda_{brass} (m)$	$\lambda_{brass} = 2 \times L_{brass}$	
ความถี่ของแท่งทองเหลือง $f_{brass} (Hz)$	$f_{brass} = f_{air}$	
อัตราเร็วเสียงในแท่งทองเหลือง $v_{brass} (m/s)$	$v_{brass} = f_{brass} \times \lambda_{brass}$	
อัตราเร็วเสียงตามทฤษฎี $v_{brass \text{ theory}} (m/s)$	$v_{theory} = \sqrt{\frac{Y}{\rho}}$	
ร้อยละความคลาดเคลื่อน % error	$\% \text{ error} = \frac{ E - A }{A} \times 100$	

ตารางที่ ค-4 การหาอัตราเร็วคลื่นเสียงในแท่งทองแดง

ตัวแปร	การคำนวณ	ค่าที่วัดได้
อุณหภูมิห้อง $t (^{\circ}\text{C})$	$t_{\text{average}} = \frac{t_1 + t_2}{2}$	
อัตราเร็วเสียงในอากาศ $v_{\text{air}} (\text{m/s})$	$v_{\text{air}} = 331 + 0.6t$	
ความยาวคลื่นเสียงในอากาศ $\lambda_{\text{air-average}} (\text{m})$	$\lambda_{\text{air-average}}$	
ความถี่ของเสียงในอากาศ $f_{\text{air}} (\text{Hz})$	$f_{\text{air}} = \frac{v_{\text{air}}}{\lambda_{\text{air}}}$	
ความยาวของแท่งทองแดง $L_{\text{copper}} (\text{m})$	วัดความยาวของแท่งทองแดง	1.2 m
ความยาวคลื่นของแท่งทองแดง $\lambda_{\text{copper}} (\text{m})$	$\lambda_{\text{copper}} = 2 \times L_{\text{copper}}$	
ความถี่ของแท่งทองแดง $f_{\text{copper}} (\text{Hz})$	$f_{\text{copper}} = f_{\text{air}}$	
อัตราเร็วเสียงในแท่งทองแดง $v_{\text{copper}} (\text{m/s})$	$v_{\text{copper}} = f_{\text{copper}} \times \lambda_{\text{copper}}$	
อัตราเร็วเสียงตามทฤษฎี $v_{\text{copper-theory}} (\text{m/s})$	$v_{\text{theory}} = \sqrt{\frac{Y}{\rho}}$	
ร้อยละความคลาดเคลื่อน % error	$\% \text{ error} = \frac{ E - A }{A} \times 100$	

ตารางที่ ค-5 การหาอัตราเร็วคลื่นเสียงในแท่งเหล็ก

ตัวแปร	การคำนวณ	ค่าที่วัดได้
อุณหภูมิห้อง $t (^{\circ}\text{C})$	$t_{\text{average}} = \frac{t_1 + t_2}{2}$	
อัตราเร็วเสียงในอากาศ $v_{\text{air}} (\text{m/s})$	$v_{\text{air}} = 331 + 0.6t$	
ความยาวคลื่นเสียงในอากาศ $\lambda_{\text{air-average}} (\text{m})$	$\lambda_{\text{air-average}}$	
ความถี่ของเสียงในอากาศ $f_{\text{air}} (\text{Hz})$	$f_{\text{air}} = \frac{v_{\text{air}}}{\lambda_{\text{air}}}$	
ความยาวของแท่งเหล็ก $L_{\text{steel}} (\text{m})$	วัดความยาวของแท่งเหล็ก	1.2 m
ความยาวคลื่นของแท่งเหล็ก $\lambda_{\text{steel}} (\text{m})$	$\lambda_{\text{steel}} = 2 \times L_{\text{steel}}$	
ความถี่ของแท่งเหล็ก $f_{\text{steel}} (\text{Hz})$	$f_{\text{steel}} - f_{\text{air}}$	
อัตราเร็วเสียงในแท่งเหล็ก $v_{\text{steel}} (\text{m/s})$	$v_{\text{steel}} = f_{\text{steel}} \times \lambda_{\text{steel}}$	
อัตราเร็วเสียงตามทฤษฎี $v_{\text{steel-theory}} (\text{m/s})$	$v_{\text{theory}} = \sqrt{\frac{Y}{\rho}}$	
ร้อยละความคลาดเคลื่อน % error	$\% \text{ error} = \frac{ E - A }{A} \times 100$	

ตารางที่ ค-6 การหาอัตราเร็วคลื่นเสียงในแท่งอลูมิเนียม

ตัวแปร	การคำนวณ	ค่าที่วัดได้
อุณหภูมิห้อง $t (^{\circ}C)$	$t_{average} = \frac{t_1 + t_2}{2}$	
อัตราเร็วเสียงในอากาศ $v_{air} (m/s)$	$v_{air} = 331 + 0.6t$	
ความยาวคลื่นเสียงในอากาศ $\lambda_{air-average} (m)$	$\lambda_{air-average}$	
ความถี่ของเสียงในอากาศ $f_{air} (Hz)$	$f_{air} = \frac{v_{air}}{\lambda_{air}}$	
ความยาวของแท่งอลูมิเนียม $L_{aluminum} (m)$	วัดความยาวของแท่งอลูมิเนียม	1.2 m
ความยาวคลื่นของแท่งอลูมิเนียม $\lambda_{aluminum} (m)$	$\lambda_{aluminum} = 2 \times L_{aluminum}$	
ความถี่ของแท่งอลูมิเนียม $f_{aluminum} (Hz)$	$f_{aluminum} = f_{air}$	
อัตราเร็วเสียงในแท่งอลูมิเนียม $v_{aluminum} (m/s)$	$v_{aluminum} = f_{aluminum} \times \lambda_{aluminum}$	
อัตราเร็วเสียงตามทฤษฎี $v_{aluminum-theory} (m/s)$	$v_{theory} = \sqrt{\frac{Y}{\rho}}$	
ร้อยละความคลาดเคลื่อน % error	$\% \text{ error} = \left \frac{E - A}{A} \right \times 100$	

8. คำถามนำไปสู่การอภิปรายผลการทดลอง

1. ให้นักเรียนบอกตัวแปรที่มีผลต่อค่าอัตราเร็วเสียง
2. นักเรียนคิดว่าค่าอัตราเร็วเสียงในของแข็งแต่ละชนิดมีค่าเท่ากันหรือไม่ และปัจจัยใดส่งผลให้ค่าอัตราเร็วเสียงในของแข็งต่างกัน
3. การใช้ชุดทดลองทดสอบหาค่าอัตราเร็วเสียงในของแข็งมีความคลาดเคลื่อนมากน้อยเพียงใด มีสาเหตุจากอะไรบ้าง
4. ข้อมูลและผลที่ได้จากการทดลองมีความสัมพันธ์กับค่าตามมาตรฐานหรือไม่อย่างไร

9. อภิปรายผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

10. สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....