

1-10. 기주공명을 이용한 음속측정

1. 실험목적

한쪽 끝이 닫혀있는 폐관의 공명현상을 이용하여 소리의 속력을 측정해 보자.

2. 이론 및 원리

소리는 공기가 압축과 이완을 반복하면서 발생하는 압력변화가 전파해 가는 역학적 파동이다. 공기의 연속적 압력변화가 우리의 고막을 진동시킴으로서 소리를 인식하게 된다. 일반적으로 파동은 매질을 필요로 하는 역학적 파동과 매질을 필요로 하지 않는 전자기파동(전자기파=전파)으로 구분된다. 음파, 수면파, 지진파 등은 각각 공기, 물, 지각이라는 매질의 진동을 통해 전달되는 파동이며, 전자기파는 전기장과 자기장이 서로 번갈아 가며 진동하면서 광속으로 공간속을 전파해 가는 파동으로 이러한 파동을 또한 “복사파”라고 한다. 또한 파동이 전파해 가는 방향과 진동방향에 따라 횡파와 종파로 구분하기도 한다. 파동의 진행방향과 진동방향이 나란할 경우 이러한 파동을 종파(longitudinal wave)라 하며, 진행방향과 진동방향이 수직인 파동을 횡파(transverse wave)라 한다. 음파와 빛은 종파와 횡파의 대표적인 경우로 그림 1과 같이 나타낼 수 있다.

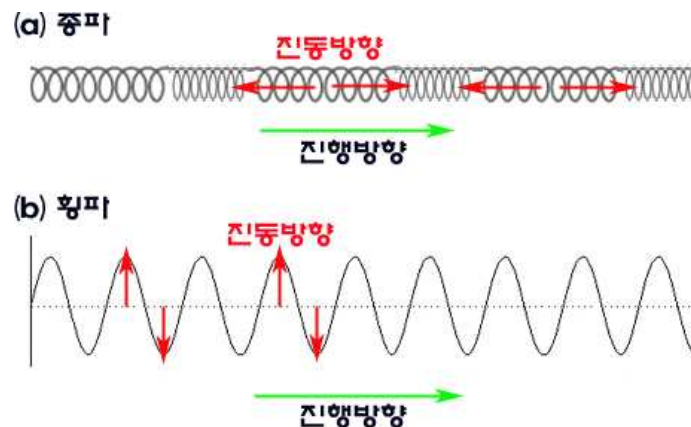


그림 1. 그림으로 나타낸 종파와 횡파

본 실험은 한쪽 끝이 닫혀있는 폐관 속을 진행하는 소리의 공명현상을 이용하여 소리의 속력을 측정하는 것이다. 관 내부를 진행하는 소리는 반대쪽 끝에서 반사되어 나오는 소리와 간섭하게 된다. 일반적으로 소한 매질에서 밀한 매질로 진행하는 파동이 그 경계면에서 반사될 경우, 반사파는 입사파와 180° 또는 $\lambda/2$ 만큼의 위상차를 가진다. 이와 달리 밀한 매질에서 소한 매질로 파동이 진행할 경우, 그 경계면에서 반사되는 파동은 입사파와 동일한 위상을 가진다. 한쪽 끝이 열려있는 즉 소한 매질에서 진행하는 음파가 끝이 닫혀있는 밀한 매질의 경계면에서 반사될 경우, 반사되는 음파는 180° 의 위상차를 가지게 되며 열려있는 관의 입구는 자유단의 진동과 같이 진폭이 최대인 배(anti-node)가 되며 닫혀있는 관의 끝은 고정단의 진동과 같이 진폭이 최소인 마디(node)가 된다. 음파를 이용하여 한쪽

끝이 닫혀있는 폐관 내부의 공기를 진동시키면, 관 내부에는 방향이 반대이며 서로 $\lambda/2$ 의 위상차를 가진 입사파와 반사파의 간섭이 일어나게 되며, 그림 2와 같이 관의 길이가 $\lambda/4$, $3\lambda/4$, $5\lambda/4$ 등일 때 공명이 일어나게 된다. 공명조건이 만족 될 경우 관 내부의 공기는 그림 2와 같이 정상파를 형성하게 된다.

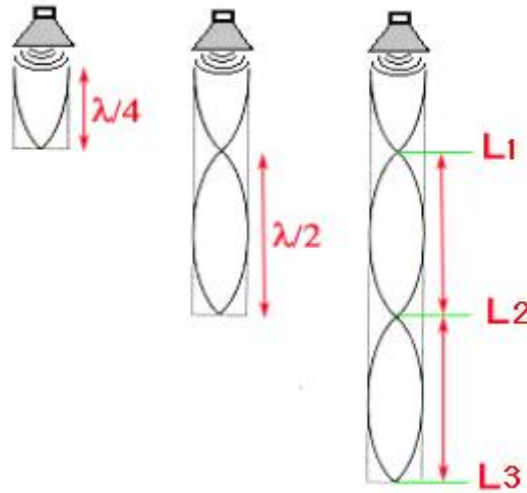


그림2. 관의 길이에 따른 정상파의 모양

입사된 음파의 파장을 λ 라 하면 이웃하는 마디들 사이의 거리는 $\lambda/2$ 가 된다. 그림 2로부터 공명이 일어나는 두 위치 사이의 거리로부터 파장, λ 는 다음과 같이 주어짐을 알 수 있다.

$$\therefore \lambda = 2(L_{n+1} - L_n) \quad (1)$$

식 (1)에서 n 은 양의 정수이며, L_i 는 폐관 내의 공명 위치를 나타내며, 관의 입구로부터 첫 번째 공명 위치, L_0 까지의 길이는 $\lambda/4$ 에 가까우나 실제로는 이 값보다 조금 작다. 일반적으로 진동수 f , 파장 λ 인 파동의 전파속도는 다음과 같이 주어진다.

$$\therefore v = \frac{ds}{dt} = \frac{\lambda}{T} = \lambda f \quad (2)$$

식 (1)과 (2)를 이용하여 소리의 속력을 나타내면 다음과 같다.

$$\therefore v = \lambda f = 2f(L_{n+1} - L_n) \quad (3)$$

일반적으로 역학적 파동의 전파속도는 매질의 상태 (밀도와 압력 등)에 따라 결정된다. 예를 들어, 줄의 한쪽 끝을 진동시켜 반대쪽까지 전달할 경우 파동의 전파속도는 줄이 팽팽하게 당겨졌을 때가 느슨할 때 보다 훨씬 빠르며, 또한 줄이 가벼울 때가 무거울 때 보다 훨씬 빠르다는 것을 경험을 통해 알 수 있다. 줄의 경우와 마찬가지로 공기를 매질로 하여 전파되는 음파의 속력도 역시 매질의 상태, 즉 공기의 온도, 밀도 그리고 압력 등에 영향을

받는다. 일반적으로 온도가 $t^{\circ}\text{C}$ 인 공기 중에서 음파의 속력은 다음과 같은 관계식에 의해 보정된다.

$$\therefore V_{corr} = \sqrt{\frac{kP_0}{\rho_0}} \left(1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{273}t\right) = V_0 (1 + 0.00183t) = 331.4 + 0.61t$$

(4)

식 (4)에서 V_0 는 0°C , 1기압하의 공기 중을 전파해 가는 음파의 속도로 그 값은 331.4 m/s 이다. 그리고 κ 는 공기의 정압비열과 정적비열의 비로 1.403의 값을 가진다. 아래의 표 1은 여러 매질 내에서의 소리의 전파속도를 각각 나타낸다.

표 1. 다양한 매질 내에서의 소리의 전파속도

Gases		liquids		solids	
물질 (온도)	속도 (m/s)	물질 (25°C)	속도 (m/s)	물질 (25°C)	속도 (m/s)
수소 (0°C)	1286	글리세롤	1904	다이아몬드	12000
헬륨 (0°C)	972	바닷물	1533	철	5130
공기 (0°C)	331	담수	1493	알루미늄	5100
공기 (20°C)	343	메탄올	1143	구리	3560

참고) 자료출처: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/>

3. 실험장치 및 방법

1) 실험장치

기주공명 실험장치 (음원용 스피커, 기주 및 길이조절용 피스톤, 마이크로폰), 음파발생용 신호발생기, 오실로스코프, 온도계

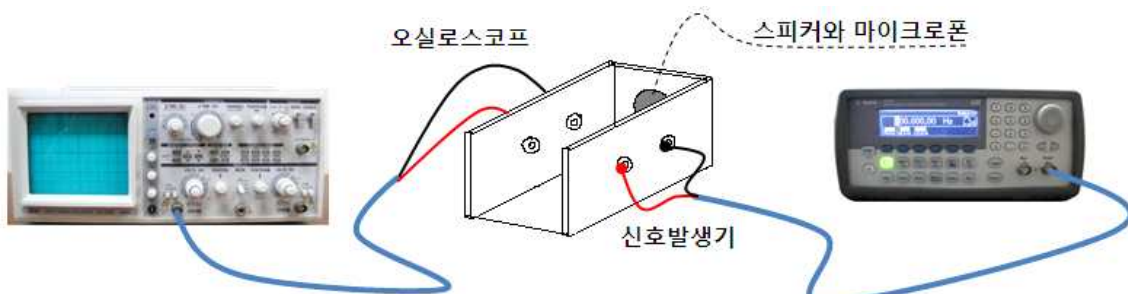


그림 3. 신호발생기와 오실로스코프의 연결

2) 실험방법

- ① 기주공명 실험장치, 신호발생기, 오실로스코프를 그림 3과 같이 연결한다.
- ② 신호발생기와 오실로스코프에 전원을 공급한 후 전원스위치를 켜다.
- ③ 신호발생기에서 사인파를 선택한 후, 500 Hz ~ 2 kHz 사이의 주파수를 선택한다.
(마이크로폰이 민감하기 때문에 주위 소음에 의한 잡음을 최소화하기 위하여 사인파의 진폭을 20 mV_{p-p}로 맞춘다.)

※ 실험을 시작하기 전에 마이크로폰 증폭장치의 스위치가 “ON” 상태인지 확인한다.

- ④ 신호발생기의 "output" 스위치를 눌러 스피커를 진동시킨다.
- ⑤ 오실로스코프의 "A TIME/DIV"과 "VOLTS/DIV"를 이용하여 파형이 오실로스코프 화면 상에 잘 나타나도록 적절히 조절한다. (사인파의 진폭이 화면을 벗어나지 않도록 조절한다.)
- 먼저 트리거 기능을 이용하여 파형이 흐르지 않고 화면상에 정지하도록 조절한다.
- ⑥ 스피커로부터 피스톤을 천천히 이동시켜가며 관내의 소리변화를 오실로스코프를 이용하여 관측한다.
- ⑦ 피스톤을 천천히 이동시켜가며 오실로스코프 상에서 진폭의 크기가 처음으로 최대가 되는 첫 번째 공명 지점 (L_1)을 확인하고 그 위치에 대응되는 눈금을 표에 기록한다. (처음으로 진폭이 최대인 공명위치는 관의 입구효과 때문에 정확히 $\lambda/4$ 가 아닐 수도 있다.)
- ⑧ 피스톤을 뒤로 이동시켜 가며 두 번째 공명 지점의 눈금, L_2 를 표에 기록한다.
- ⑨ 피스톤을 계속 이동시켜 세 번째 공명 지점의 눈금, L_3 를 표에 기록한다.
- ⑩ 식 (1)과 L_2 , L_3 를 이용하여 소리의 파장을 계산한다. (단위는 cm \rightarrow m로 나타낸다.)
- ⑪ 소리신호의 주파수, 파장 그리고 식 (3)을 이용하여 소리의 속력, V (m/s)를 계산한다.
- ⑫ 온도계를 이용하여 실험실 내의 온도를 측정하고, 식 (4)를 이용하여 소리의 속력을 보정한다. [V_{corr} (m/s)]
- ⑬ V (m/s)와 V_{corr} (m/s)를 비교한다.
- ⑭ 소리의 주파수를 변화시켜 가며 위 "⑦~⑪" 과정을 반복한다.

성 명: _____

학 번: _____

분반/조: _____

조 원: _____

담당교수: _____

담당조교: _____

실험일시: 년 월 일 요일 시

제출일시: 년 월 일 요일 시

4. 결과 및 분석

1) 공명위치를 찾아 아래 표에 기록하고, 이 자료를 이용하여 주어진 평가들을 완성하라.

표 2. 각 진동수에서 공명위치와 파장 구하기

f (Hz)	L_1 (cm)	L_2 (cm)	L_3 (cm)	L_4 (cm)	$L_3 - L_2 = \lambda_1/2$ (cm)	$L_4 - L_3 = \lambda_2/2$ (cm)
600						
800						
1200						
1400						
1600						
1800						
실내온도: $T =$ (°C) $\rightarrow V_{\text{corr}} = 331.4 + 0.61 \times ($) $=$ (m/s)						

㉠ 표 2로부터 각 주파수에 대응되는 평균파장을 구하여 공기기둥 속에서의 소리 전파속력을 평가하라. 이 결과를 실내온도로 보정한 실제 음파의 속력과 비교해 보고 각 주파수에서의 상대오차를 구하라.

2) 위 표 2의 자료를 이용하여 아래 표를 작성하고 주어진 평가들을 완성하라. (d = 관의내경)

표 3. 관 입구효과에 따른 보정

f (Hz)	L_1 (cm)	λ (m)	$\lambda' = 4(L_1 + 0.3d)(m)$
600			
800			
1200			
1400			
1600			
1800			

㉓ 표 3의 L_1 을 이용하여 $f - \lambda^{-1}$ 그래프를 얻은 다음 linear fitting하여 소리의 속력을 구하고, 이 결과가 유의미한지 아닌지를 상관계수 (R^2)로부터 판단하라.

⑤ 표 3의 자료로부터 $f - \lambda'^{-1}$ 그래프를 얻은 다음 보정식 $\lambda' = 4(L_1 + 0.3d)$ 이 타당한지를 R^2 의 값을 통해 평가하고, 주어진 그래프의 기울기로부터 소리의 속력도 구해보라.

㉔ 만약 ㉑에서 얻은 R^2 값이 ㉓에서 얻은 값에 비해 선형성이 높게 평가되었지만 0.95 이하일 경우에는 R^2 가 0.98 이상이 되도록 새로운 보정식 $\lambda' = 4(L_1 + xd)$ 을 완성하라. ("x"를 변화시키면서 선형맞춤(linear fitting)을 실행한다. 단 ㉓의 R^2 가 0.98 이상이었다면 ㉔ 과정을 생략한다.)

㉕ 위의 1)과 2) 전체 과정에서 실내온도로 보정한 소리속력과 가장 잘 맞지 않는 경우를 찾아보고 그 이유를 간단히 설명해 보자.

5. 결론 (본 실험을 통해 얻은 결과를 간단히 기술하라.)

6. 참고자료

