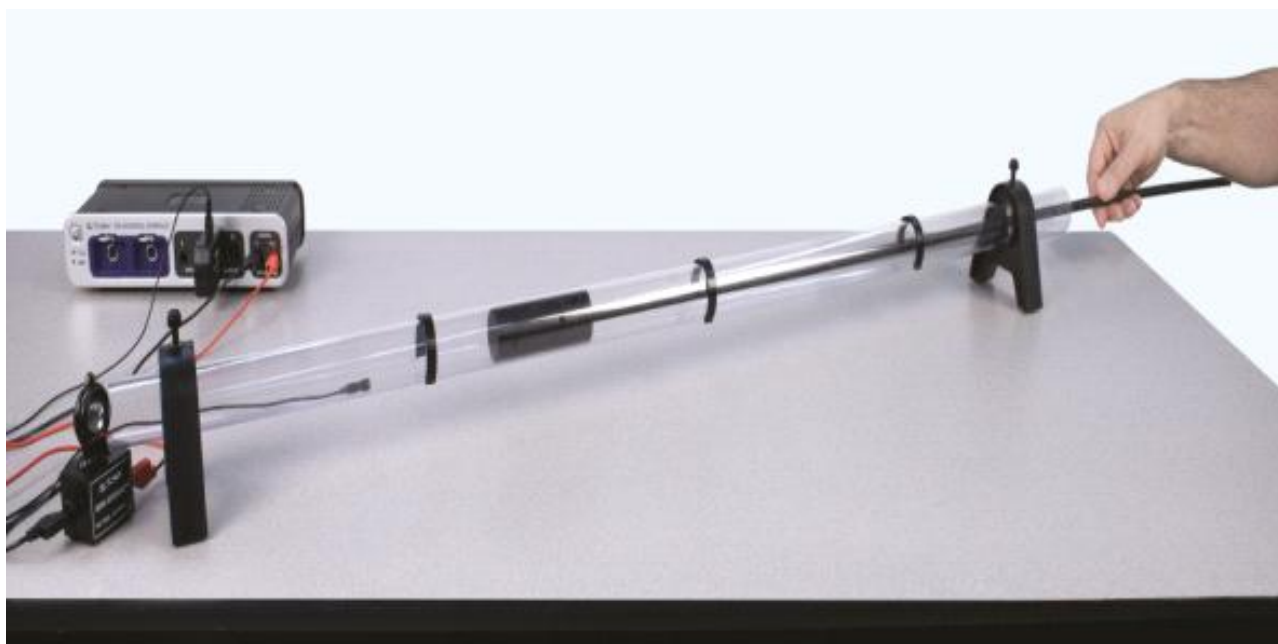


## 8. 기주 공명



일반물리학및실험1 실험실습용 / 무단 전재 및 재배포 금지

장비 구성

**Resonance Air Column with Mini Speaker**

Resonance Air Column	WA-9606
Mini Speaker	WA-9605
Banana Plug Patch Cords (Black)	SE-9415A

**Required:**

850 or 550 Universal Interface  
PASCO Capstone™ Software

**Recommended:**

Sound Sensor (UI-5101)



Meter Stick (SE-8827) 또는 줄자



일반물리학및실험1 실험실습용 / 무단 전재 및 재배포 금지

일반물리학및실험1 실험실습용 / 무단 전재 및 재배포 금지

## 목 표

PASCO 기주 공명관은 WA-9605 미니 스피커와 함께 사용되는 투명한 플라스틱 관으로, 관 속에서의 음파의 진행을 살펴볼 수 있다. 정상파의 패턴을 형성하여 관 내부의 마디와 배를 찾을 수 있으며, 음파의 속력도 알아낼 수 있다.

## 기본 이론

### 음파

스피커의 진동판이 진동하면, 음파가 발생하여 공기를 통하여 전달된다. 음파는 스피커에 가까워졌다가 멀어지는 것을 반복하는 공기분자의 작은 운동으로 이루어진다. 스피커 가까이에 있는 소량의 공기를 볼 수만 있다면, 공기가 멀리 날아가는 것이 아니라 공기가 스피커의 진동 주파수에 따라 스피커에 가까워졌다가 멀어지는 것을 반복하면서 진동하는 것을 확인할 수 있을 것이다. 이러한 운동은 현에서 전달되는 파동과 대단히 유사하다. 중요한 차이점은 현의 작은 일부분을 관찰해보면 현(매질)의 진동 방향이 현에 발생한 파동의 진행 방향과 수직을 이루는 것과 달리, 음파에서는 공기(매질)의 진동 방향이 음파의 진행 방향과 평행하다는 점이다. 따라서 음파는 종파(longitudinal wave)의 한 종류이다.

음파를 개념화하는 또 다른 방법은 음파를 밀(compression)과 소(rarefaction)의 연속으로 보는 것이다. 스피커의 진동판이 바깥쪽으로 움직일 때, 진동판 근처의 공기가 압축되어, 상대적으로 높은 압력의 공기가 소량 만들어진다. 이렇게 발생한 소량의 높은 공기압은 근처의 공기를 압축하고, 압축된 공기는 차례로 근처의 공기를 압축하여, 그 결과 높은 공기압이 스피커로부터 멀리 전달된다. 스피커의 진동판이 안쪽으로 움직일 때, 진동판 근처에는 낮은 압력의 공기가 만들어진다. 낮은 공기압 역시 스피커로부터 멀리 전달된다.

### 일반물리학및실험1 실험실습용 / 무단 전재 및 재배포 금지

일반적으로, 음파는 파원으로부터 모든 방향으로 전달된다. 그러나 기주관을 이용하여 파동의 전달을 1차원으로 제한함으로써 음파의 연구를 단순화할 수 있다.

### 관 속의 정상파

현의 한쪽 끝에서 파동이 반사되어 되돌아오는 파동이 원래의 파동과 간섭을 일으킬 때, 진동하는 현에 정상파가 형성된다. 이러한 정상파는 음파가 관의 끝에서 반사될 때에도 형성된다.

현에 발생한 정상파에는 마디(현이 움직이지 않는 지점)와 배(현이 최대 진폭으로 진동하는 지점)가 있다. 이와 유사하게, 정상 음파에는 변위 마디(공기가 진동하지 않는 지점, displacement node)와 변위 배(공기의 진폭이 최대가 되는 지점, displacement antinode)가 있다. 압력 마디(pressure node)와 압력 배(pressure antinode)도 존재한다. 압력 마디는 변위 배에 해당하는 위치에 형성되고, 압력 배는 변위 마디에 해당하는 위치에 형성된다. 이는 서로  $180^\circ$  다른 위상에서 진동하는 두 변위 배 사이에 압력 배가 위치해 있는 것으로 생각하면 이해하기 쉽다. 두 변위 배의 공기가 서로를 향해 이동하면, 압력 배의 압력은 최대가 된다. 반대로 두 변위 배에 있던 공기가 반대 방향으로 갈라지면 압력이 최소가 된다.

음파의 반사는 개관과 폐관의 끝 모두에서 일어난다. 관의 한쪽 끝에 닫혀 있으면 공기는 갈 곳이 없게 되고, 그 결과 닫힌 끝에는 변위 마디(압력 배)가 존재하게 된다. 관 끝이 열려 있으면 압력은 실내의 압력과 거의 비슷하게 유지되고, 그 결과 열린 관 끝에는 압력 마디(변위 배)가 존재하게 된다.

## 공명

위에서 설명한 것과 같이, 정상파는 관의 한쪽 끝에서 반사되어 되돌아오는 파동이 원래의 파동과 간섭을 일으킬 때 형성된다. 그러나 음파는 실제로 관의 양 끝 사이에서 수없이 앞뒤로 반사되며, 이 모든 다중 반사파끼리 서로 간섭이 일어난다. 일반적으로 복합적으로 반사된 파동들은 모두 같은 위상에 있지 않으며, 합성파의 진폭은 작아진다. 그러나 특정 진동 주파수에서 모든 반사파들이 같은 위상이 되어, 매우 큰 진폭의 정상파를 형성한다. 이러한 주파수를 공명 주파수라 한다.

관의 길이와 공명 주파수 사이의 관계에 대한 실험에서는, 주파수보다는 파장의 관점에서 살펴보면, 공명의 조건을 좀 더 쉽게 이해할 수 있다. 공명 모드는 또한 관 끝이 열려 있느냐 닫혀 있느냐에 따라 달라진다.

개관(양쪽 끝이 열린 관)의 경우, 파장( $\lambda$ )이 다음과 같은 조건을 만족할 때 공명이 일어난다.

$$L = \frac{n}{2} \lambda \quad (n=1, 2, 3, 4, 5, \dots)$$

여기서 L은 관의 길이이다. 이러한 파장들은 압력 마디(변위 배)가 관의 양쪽 끝에 존재하는 정상파를 형성한다. 따라서 관의 길이 속에는  $\lambda/2$ 의 정수배인 정상파가 생긴다.

폐관(한쪽 끝은 열리고 다른 한쪽 끝은 닫힌 관)의 경우, 파장( $\lambda$ )이 다음과 같은 조건을 만족할 때 공명이 일어난다. **일반물리학및실험1 실험실습용 / 무단 전재 및 재배포 금지**

$$L = \frac{n}{4} \lambda \quad (n=1, 3, 5, 7, 9, \dots)$$

여기서 L은 관의 길이이다.

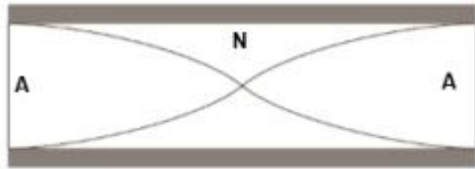

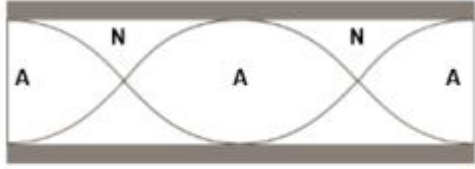
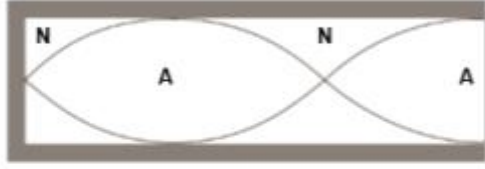
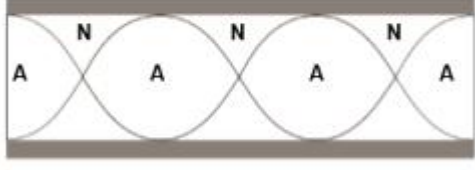
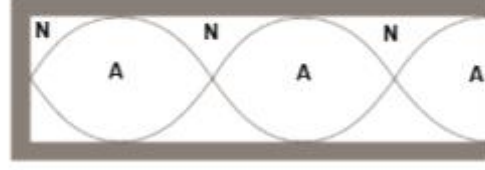
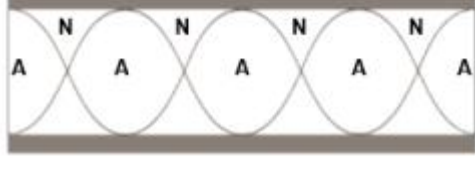
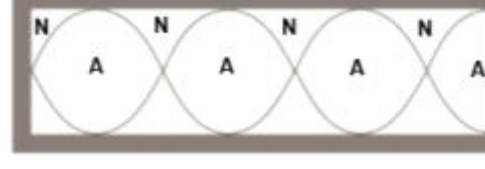
이러한 파장들은 열린 관 끝에는 압력 마디(변위 배)가, 닫힌 관 끝에는 압력 배(변위 마디)가 존재하는 정상파를 형성한다. 따라서 관의 길이 속에는  $\lambda/4$ 의 홀수배인 정상파가 생긴다.

## 공명 모드

아래의 그림에는 개관과 폐관에서의 처음 4개의 공명 모드가 나타나 있다. 첫 번째 공명 모드( $n=1$ )를 기본진동(fundamental)이라 한다. 연이어 나타나는 공명 모드는 배음(overtone)이라 한다. 각각의 그림은 상대 변위로 나타낸 것이다. 변위 마디를 N, 변위 배를 A로 표시하였다.

아래에 제시된 공명에 관한 공식과 그림들은 단지 대략적인 것일 뿐인데, 그 가장 큰 이유는 관(특히 개관)의 끝에서 일어나는 파동의 행동이 관의 직경이나 파동의 주파수와 같은 요소에 좌우되기 때문이다. 관의 끝에는 정확한 마디와 배가 존재하지 않는다. **일반물리학및실험1 실험실습용 / 무단 전재 및 재배포 금지**

Resonance States:

	Open Tube	Closed Tube
Fundamental		
1 <sup>st</sup> Overtone		
2 <sup>nd</sup> Overtone		
3 <sup>rd</sup> Overtone		

**가장자리 효과(End-Effect) 보정**

일반물리학및실험1 실험실습용 / 무단 전재 및 재배포 금지

관의 끝 부분에서의 파동의 행동을 조사하는 것은 매우 유용한 실험이 될 것이다. 이러한 행동 때문에 유효한 관의 길이는 측정된 관의 길이보다 조금 더 길어지게 된다. 경험적으로 얻어진 다음 식들은 관 속에 정상파가 형성되기 위한 공명 조건들을 보다 정확하게 기술한다.

**개관 :**

$$L+0.6d=n\lambda/2 \quad (n=1, 2, 3, 4, 5,...)$$

(L은 관의 길이, d는 관의 직경)

**폐관 :**

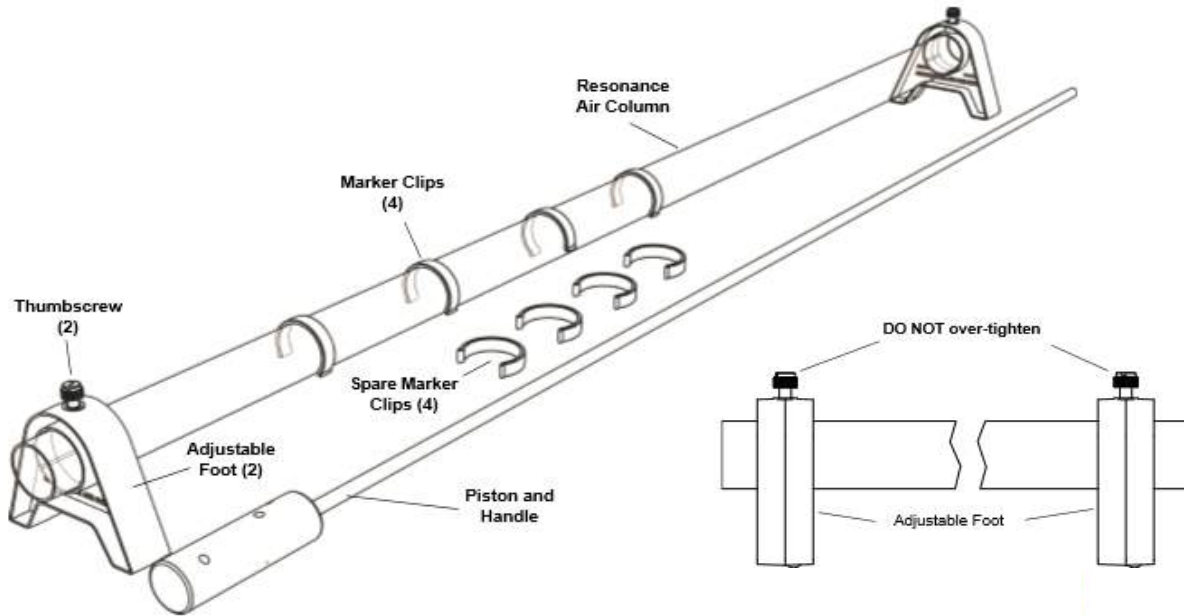
$$L+0.3d=n\lambda/4 \quad (n=1, 3, 5, 7, 9,...)$$

(L은 관의 길이, d는 관의 직경)

일반물리학및실험1 실험실습용 / 무단 전재 및 재배포 금지

장비 설치

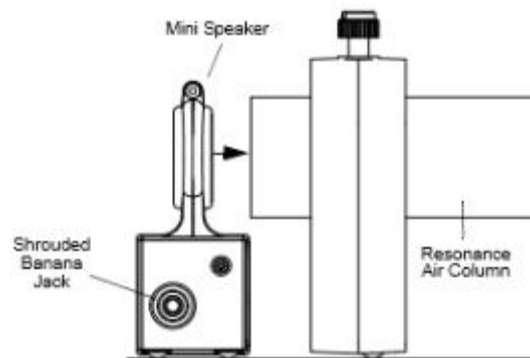
WA-9606 기주공명관



A자 받침대를 기주공명관 양쪽 끝에서 2cm 가량 안쪽에 설치한다. 위쪽의 나비나사를 이용하여 위치를 고정한다. 나사를 너무 세게 조이면 관이 뒤틀릴 수 있으므로 주의한다. 손잡이가 달린 피스톤을 이용하여 기주관(폐관)의 길이를 조절할 수 있다. 마커 클립을 이용하여 공명 모드를 형성하는 관의 길이를 표시한다.

WA-9605 미니 스피커 일반물리학및실험1 실험실습용 / 무단 전재 및 재배포 금지

미니 스피커를 관의 끝 쪽에 배치한다. 2개의 바나나 플러그 케이블을 미니 스피커 베이스의 양쪽에 꽂는다. 극성은 무시해도 좋다. 바나나 플러그 케이블의 반대쪽 끝을 PASCO 850 또는 550 인터페이스의 Signal Generator 단자에 꽂는다. (또는 PI-8127 Function Generator의 단자에 꽂는다.)



신호 발생기의 사인파 주파수를 50~100Hz로, 진폭을 0으로 설정한다. 신호 발생기를 작동시킨다. 소리가 인식할 수 있을 때까지 천천히 진폭을 조절한다.

※ 경고: 진폭이 4V를 초과해서는 안된다.

### UI-5101 사운드 센서

1. 850 또는 550 인터페이스의 아날로그 채널에 사운드 센서를 연결한 다음, 마이크روف론을 사운드 센서의 Phone Jack에 연결한다. 관의 한쪽(미니 스피커를 배치한 쪽) 끝에 마이크روف론을 밀어 넣는다.
2. Capstone 소프트웨어 화면 오른쪽의 디스플레이 팔레트에서 Scope를 더블 클릭한다.
3. y축 <select measurement> 라벨을 클릭한 다음 Sound Intensity를 선택한다.
4. 하단의 컨트롤 막대에서 Continuous Mode 대신 Fast Monitor Mode를 선택한다.
5. Monitor 버튼을 눌러 신호를 출력한다.



일반물리학및실험1 실험실습용 / 무단 전재 및 재배포 금지

일반물리학및실험1 실험실습용 / 무단 전재 및 재배포 금지

**[실험 1] 일정한 길이의 관에서의 공명 주파수**

일정한 길이의 개관과 폐관에서 소리를 증폭시키는 특정 주파수(공명 주파수)를 찾는다.

**[실험 방법]**

1. 미니 스피커를 관의 한쪽 끝에 배치하고, 같은 쪽 끝에 마이크로폰을 밀어 넣는다. 관의 반대쪽 끝은 열린 상태로 두어 길이 1.2m(120cm)의 개관을 만든다.
2. Capstone 소프트웨어의 Signal Generator 창에서 사인파 주파수를 50Hz로 설정한 다음, ON 버튼을 누른다. 스피커의 소리를 인식할 수 있을 정도로 진폭을 조절한다.(단, 4V를 초과해서는 안된다.)
3. 주파수를 천천히 증가시키면서 소리를 주의 깊게 듣는다. 공명이 일어나는(소리가 크게 들리는) 첫 번째 주파수를 찾아 기록한다. ※ 함수 발생기와 스피커는 고주파수에서 더 효율적이기 때문에, 일반적으로 주파수가 증가하면 소리가 커지게 된다. 그러나 소리의 세기가 상대적으로 최대가 되는 때(주파수를 조금만 증가시켜도 소리가 작아지는 지점)을 스크로프 화면에서 관찰하고, 그 때의 주파수를 확인하여 기록한다.
4. 새로운 공명 주파수를 찾을 때까지 주파수를 증가시킨다. 최소 4개 이상의 공명 주파수를 찾는다.
5. 기주관의 한쪽(미니 스피커의 반대쪽) 끝에 피스톤을 밀어 넣어, 길이 0.5m(50cm)의 폐관을 만든다.
6. 폐관에서 과정 2-4 를 반복하여 공명 주파수를 기록한다.

일반물리학및실험1 실험실습용 / 무단 전재 및 재배포 금지

일반물리학및실험1 실험실습용 / 무단 전재 및 재배포 금지



**[실험 2] 관의 길이와 공명**

일정한 길이의 관에서, 관 속에 정상파를 형성하는 다양한 공명 주파수가 존재한다. 마찬가지로 일정한 주파수의 소리가 주어졌을 때, 정상파를 형성하는 관의 길이도 다양하다. 이 실험에서는 고정된 주파수에서 공명을 일으키는 관의 길이들을 찾아본다.

**[실험 방법]**

1. 미니 스피커를 관의 한쪽 끝에 배치하고, 같은 쪽 끝에 마이크로폰을 밀어 넣는다. 미니 스피커의 반대쪽 끝에 피스톤을 밀어 넣어, 관의 길이를 0.05m(5cm)로 만든다.
2. Capstone 소프트웨어의 Signal Generator 창에서 사인파 주파수를 일정한 주파수(예: 400Hz)로 설정한 다음, ON 버튼을 누른다. 스피커의 소리를 인식할 수 있을 정도로 진폭을 조절한다.(단, 4V를 초과해서는 안된다.)
3. 피스톤을 천천히 움직여 관의 길이를 증가시키면서, 소리를 주의 깊게 듣는다. 공명이 일어나는(소리가 크게 들리는) 때의 피스톤의 위치를 마커 클립으로 표시한다. 마커 클립의 위치(공명이 일어나는 때의 관의 길이)를 자료 측정하여 기록한다.
4. 각 마커 클립 사이의 간격을 계산하여 평균을 구한다.
5. 사인파의 주파수를 바꾸어(예: 600Hz, 800Hz 등) 실험을 반복한다.



일반물리학및실험1 실험실습용 / 무단 전재 및 재배포 금지

일반물리학및실험1 실험실습용 / 무단 전재 및 재배포 금지