

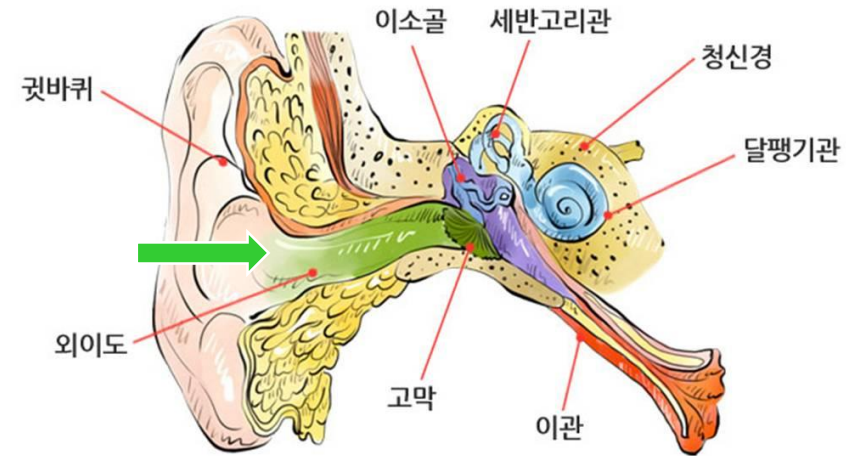
소리

- 소리 sound

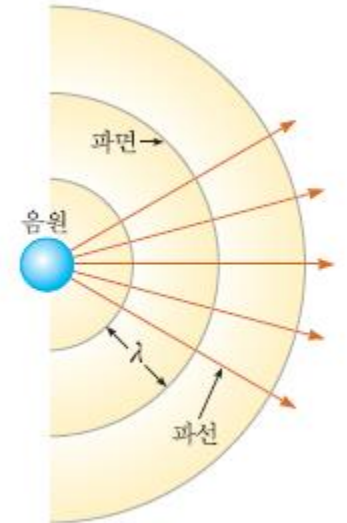
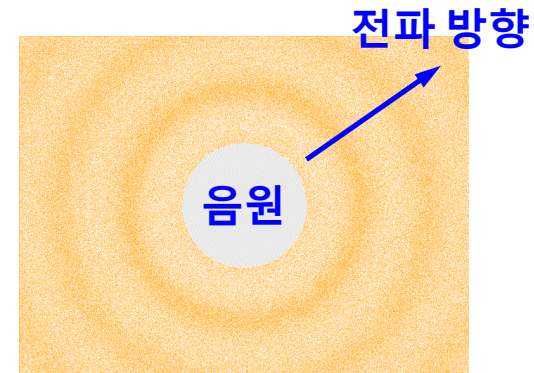
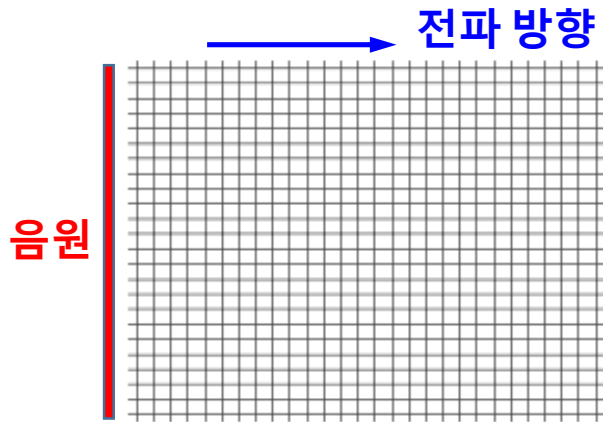
- 북
 - 표피 떨림 (진동)
- 공기
 - 표피 진동이 공기 진동으로 변환
- 귀
 - 고막은 공기 진동을 증폭하여 청신경까지 전달

소리가 전달되기 위해서
반드시 **매질**이 필요

우주공간과 같은 **진공**에서는
소리가 전달될 수 없음



- 종파 (縱波, longitudinal wave)
 - 음원 (音源, sound source) : 소리가 발생하는 근원
 - 압력 : 음원의 소리 진동이 공기의 압력 변화로 나타남
 - 종파
 - 음원의 소리가 전파되는 방향과 압력 변화가 **같은 방향**



- 파장 (波長, wavelength)

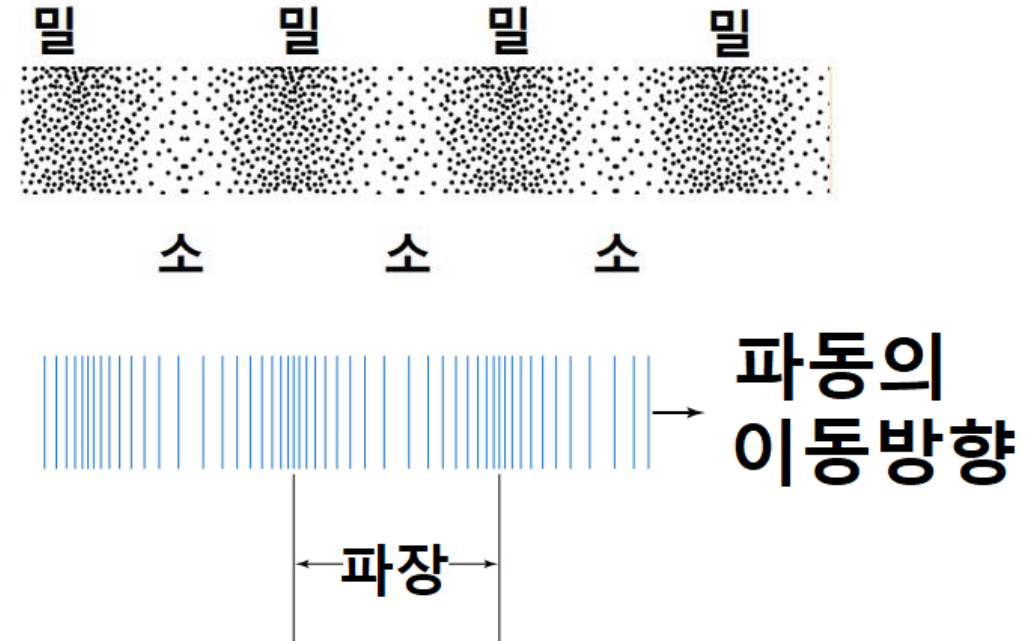
- 소리는 공기 압력이 높은 압력과 낮은 압력이 반복으로 나타남
 - 높은 압력 : 공기의 밀도 높음 (“밀”로 표시)
 - 낮은 압력 : 공기의 밀도 낮음 (“소”로 표시)

- 파장

- “밀”에서 “밀”까지의 거리 혹은
“소”에서 “소”까지의 거리
- 거리를 나타내므로 단위는 m
- 파장이란 말 그대로 파의 길이

- 파장 기호 λ

- 위의 그리스 문자는 lambda라고 읽으며
영어 l에 해당



- 음속 (音速, speed of sound)
 - 소리가 매질에서 1초 동안에 이동한 거리
 - 온도와 음속 관계

$$v = (331 + 0.606T_C) \text{ m/s}$$

- T_C : 섭씨 온도
- 압력과 음속 관계
 - 압력이 높을수록 음속이 빠름 (기체 경우)

| 매질 | v (m/s) | 매질 | v (m/s) | 매질 | v (m/s) |
|------------|-----------|-----------|-----------|-----------------|-----------|
| 기체 | | 25 °C의 액체 | | 고체 ^a | |
| 수소 (0 °C) | 1 286 | 글리세롤 | 1 904 | 파이렉스 유리 | 5 640 |
| 헬륨 (0 °C) | 972 | 바닷물 | 1 533 | 철 | 5 950 |
| 공기 (20 °C) | 343 | 물 | 1 493 | 알루미늄 | 6 420 |
| 공기 (0 °C) | 331 | 수은 | 1 450 | 놋쇠 | 4 700 |
| 산소 (0 °C) | 317 | 등유 | 1 324 | 구리 | 5 010 |
| | | 메틸 알코올 | 1 143 | 금 | 3 240 |
| | | 사염화 탄소 | 926 | 루사이트 | 2 680 |
| | | | | 납 | 1 960 |
| | | | | 고무 | 1 600 |

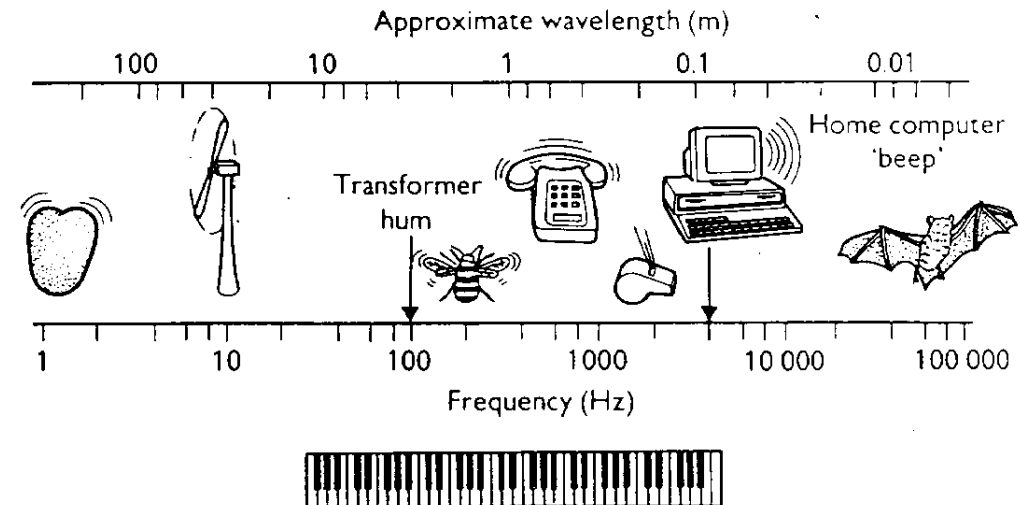
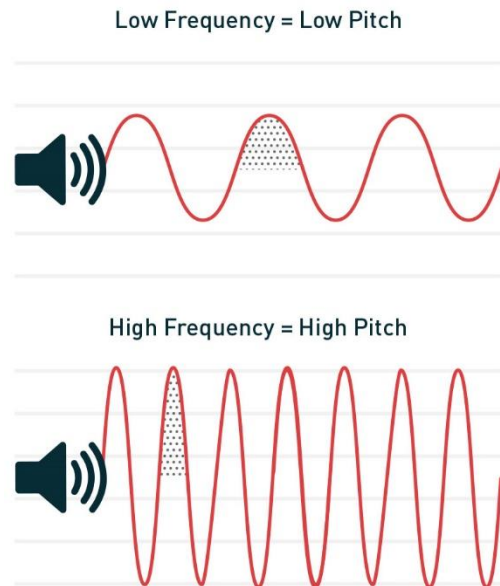
• 소리의 진동수(or 주파수) frequency, pitch

- 기호로는 f 를 사용
- 음속 v 와 파장 λ 및 진동수 f 관계

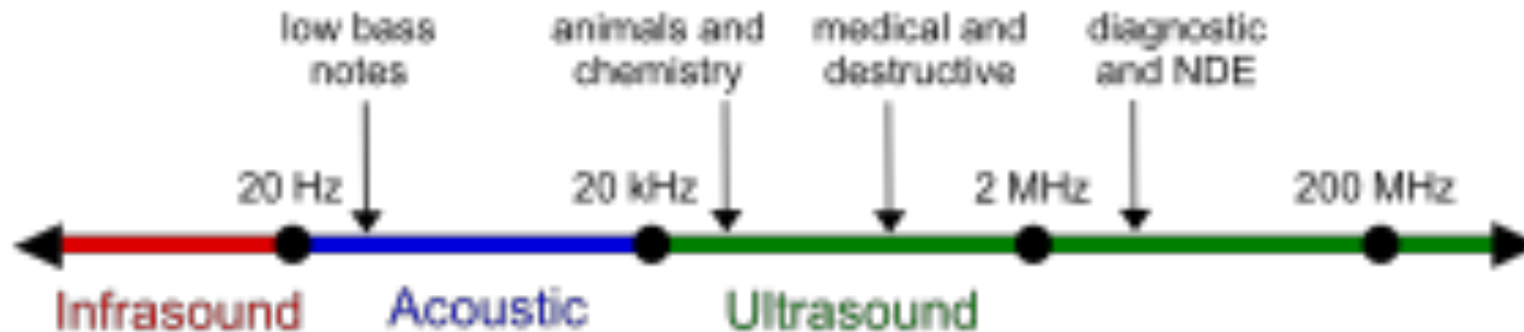
$$v = \lambda f$$

음속 v 단위 : m/s
 파장 λ 단위 : m
 진동수 f 단위 : $1/s = \text{Hz (Hertz)}$

- 주파수 f 의 단위는 $1/s$ 혹은 Hz
- 그러므로 주파수는 **1초에 몇 번 “밀(소)”에서 “밀(소)”로 압력이 변하는 횟수**를 의미



- 주파수 분류
 - 가청 주파수 audible frequency
 - 인간이 들을 수 있는 소리의 영역 대 : 20 Hz~20 kHz
 - 아래 그림에서 “acoustic”으로 표현
 - 초음파 (超音波, ultrasound)
 - 20 kHz 이상의 주파수 영역
 - 소노그래피 (sonography) : 자궁 내 태아 사진
 - 초저주파 (超低周波, infrasound)
 - 20 Hz 이하의 주파수 영역
 - 화산분출 탐지에 이용



- 로그 스케일(logarithmic scale)
 - 너무 작은 값, 중간 영역의 값, 너무 큰 값을 함께 모아서 비교하기에 편리
 - 천문학, 소리, 지진 등에 사용

- 로그 스케일 예

- $P = 10,000 = 10^4, P_0 = 100 = 10^2$

$$\log_{10} \frac{P}{P_0} = \log_{10} \frac{10^4}{10^2} = \log_{10} 10^{4-2} = \log_{10} 10^2 = 2$$

- $P = 100 = 10^2, P_0 = 100,000 = 10^5$

$$\log_{10} \frac{P}{P_0} = \log_{10} \frac{10^2}{10^5} = \log_{10} 10^{2-5} = \log_{10} 10^{-3} = -3$$

• 소리의 세기

- 소리 에너지의 크기
- 데시벨 (decibel, 기호 dB)

$$L = 10 \log_{10} \frac{P}{P_0} \quad (dB)$$

- P_0 : 들을 수 있는 가장 작은 소리의 세기

- 계산 예1
 - 보통의 숨쉬기 $P = 10P_0$

$$L = 10 \log_{10} \frac{P}{P_0} = 10 \log_{10} \frac{10P_0}{P_0} = 10 \log_{10} 10 = 10 \text{ dB}$$

- 계산 예2
 - 부드러운 속삭임 $P = 1000P_0$

$$L = 10 \log_{10} \frac{P}{P_0} = 10 \log_{10} \frac{1000P_0}{P_0} = 10 \log_{10} 10^3 = 30 \text{ dB}$$

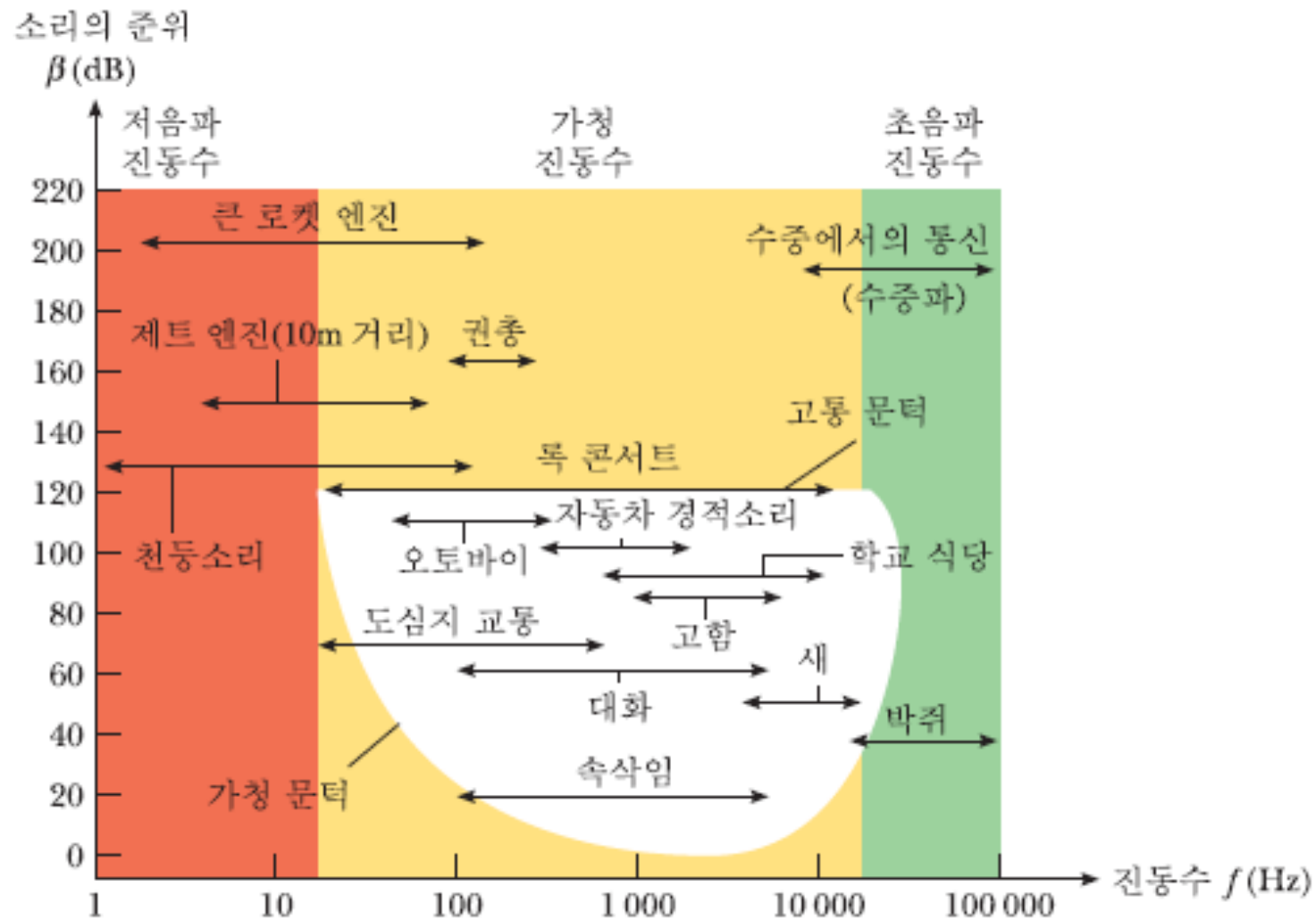
- 계산 예3
 - 도심 한복판 차 속 $P = 10^8 P_0$

$$L = 10 \log_{10} \frac{P}{P_0} = 10 \log_{10} \frac{10^8 P_0}{P_0} = 10 \log_{10} 10^8 = 80 \text{ dB}$$

- 소리 준위

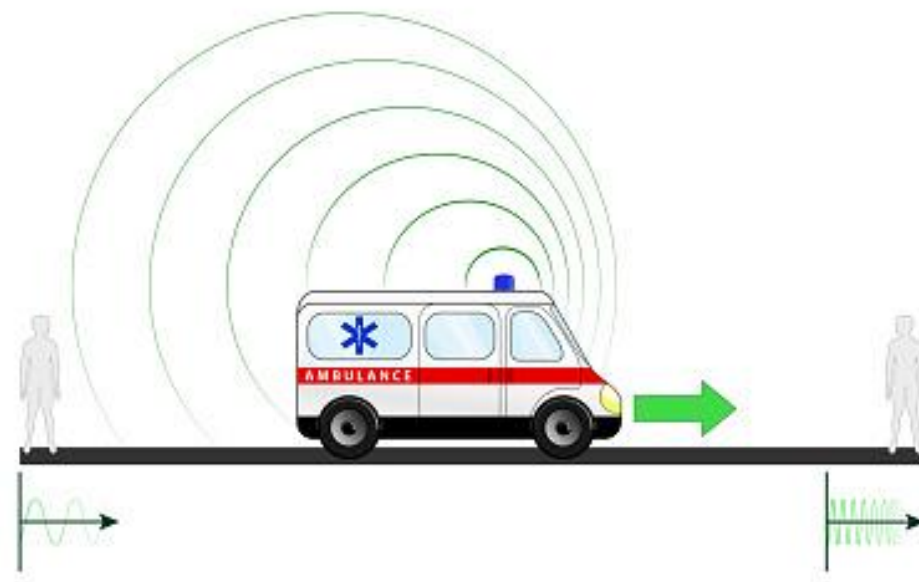
| 음 원 | β (dB) |
|--------------|--------------|
| 제트기 근처 | 150 |
| 총 | 130 |
| 사이렌; 록 콘서트 | 120 |
| 지하철 | 100 |
| 도로 | 80 |
| 진공 청소기 | 70 |
| 일상적 대화 | 50 |
| 모기 소리 | 40 |
| 속삭임 | 30 |
| 바스락거리는 낙엽 소리 | 10 |

- 소리의 세기와 진동수

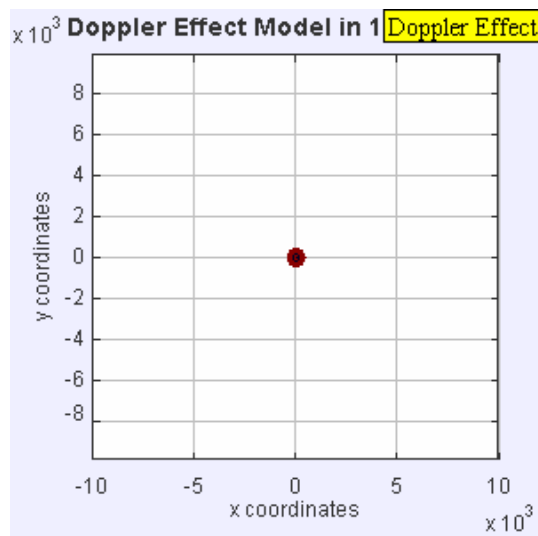


- 도플러 효과 (Doppler effect)
 - 음원이 움직이면 진동수가 달라진다
- 왼쪽 사람
 - 앰블런스가 멀어진다
 - 진동수가 감소하여 낮은 음으로 들린다
- 오른쪽 사람
 - 앰블런스가 가까워진다
 - 진동수가 증가하여 높은 음으로 들린다

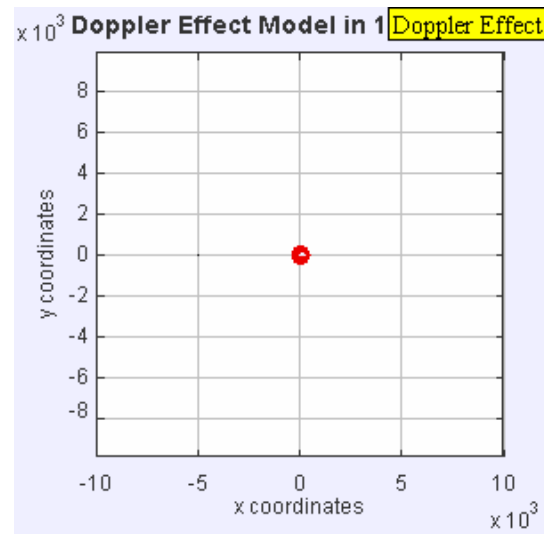
Doppler effect



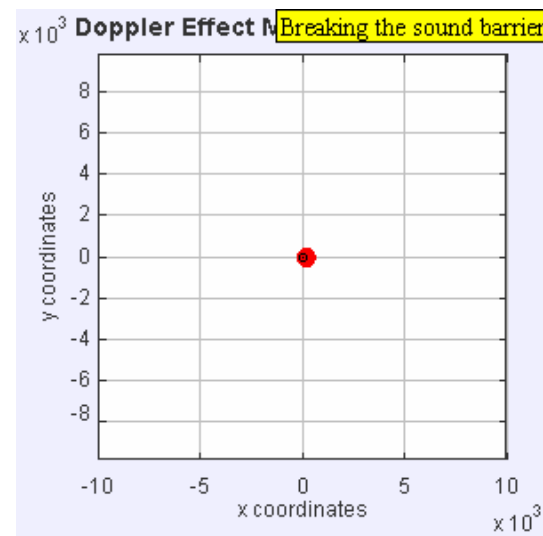
- 도플러 효과의 실제
 - 음원이 움직이는 속도 v_s
 - 음속 v
 - 마하수 (Mach number)
 - $M = v_s/v$



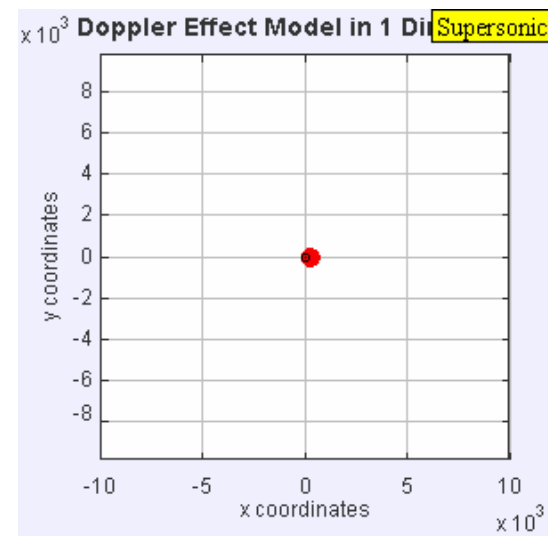
$$M = 0$$



$$M = 0.7$$

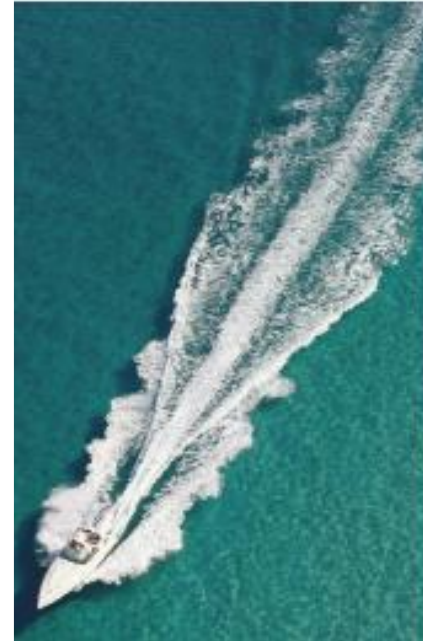
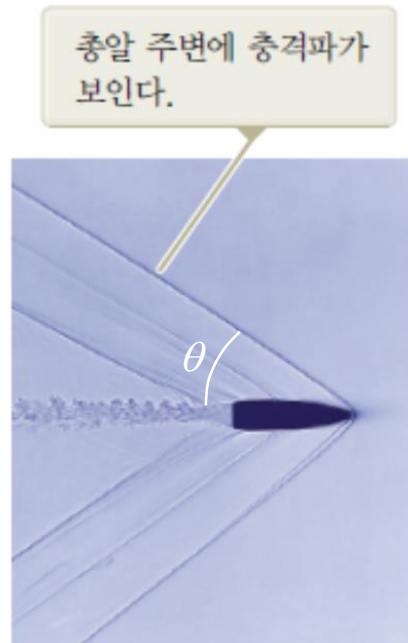
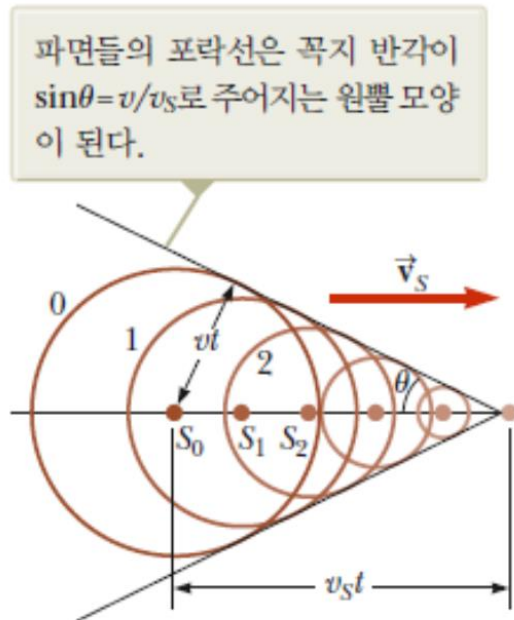


$$M = 1$$

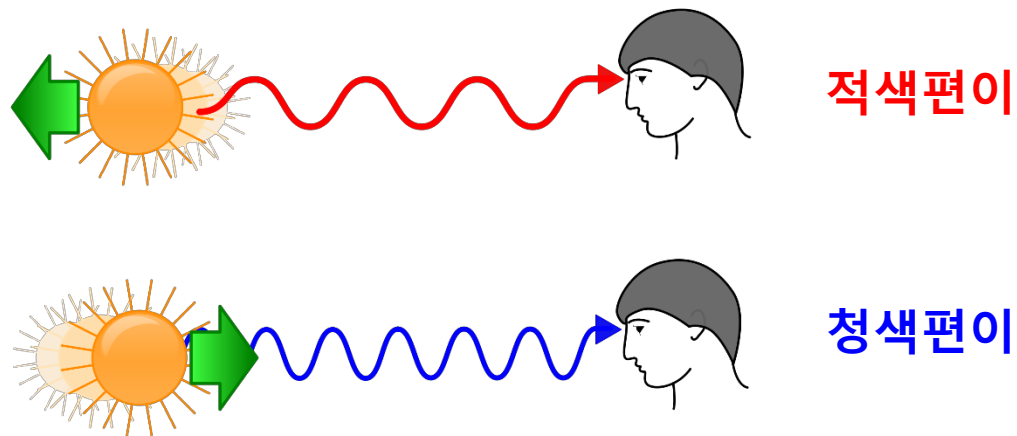


$$M = 1.4$$

- 충격파 (衝擊波, shock wave)
 - 음원의 속력 v_s
 - 음속 v
 - Mach number $M > 1 : v_s > v$
 - 원뿔 모양의 파면을 이루는 충격파가 발생
 - Mach number 증가 $\rightarrow \theta$ 감소

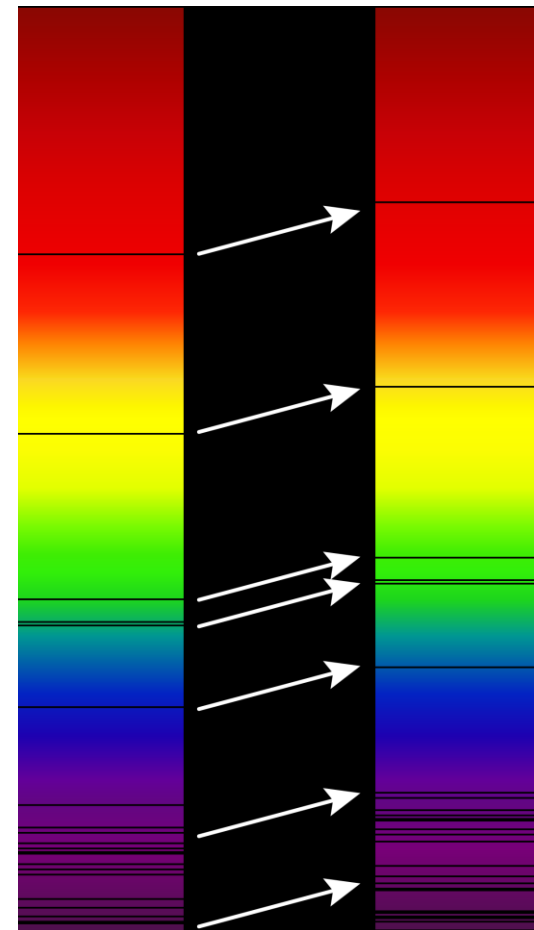


- 적색편이 (赤色偏異, red shift)
 - 빛에 적용된 도플러 효과
 - 빛을 발생시키는 광원이 멀어질 때 생기는 현상



- 청색편이 (靑色偏異, blue shift)
 - 빛에 적용된 도플러 효과
 - 빛을 발생시키는 광원이 가까워질 때 생기는 현상

- 적색편이 (red shift)의 예
 - 왼쪽 그림
 - 특정 원자의 스펙트럼
 - 오른쪽 그림
 - 어떤 별에서 방출하는 특정 원자의 스펙트럼
 - 적색편이가 나타나므로 별은 지구로부터 멀어짐
 - 빨간색 쪽으로 편이된 정도를 측정
 - 별이 멀어지는 속력을 결정
 - 멀리 떨어진 별이 더 빠른 속도로 지구로부터 멀어짐
 - 암흑에너지 (dark energy)와 암흑물질 (dark matter) 가정



특정 원자의
스펙트럼

어떤 별에서 방출하는
특정 원자의 스펙트럼