

## W5 Sound rendering

### 실험 방향성

실험을 진행할 때 마이크를 통해 입력되는 소리는 본인의 목소리와 외부 소리 두 가지가 존재한다. 우선적으로 본인의 음성의 경우 음원과의 거리가 가까워 위치 변동의 인지가 쉬울 수 있으나 본인의 목소리는 머리반경 내부에서 발생하는 소리가 주된 소리이므로 정확한 인지가 어려울 수 있다.

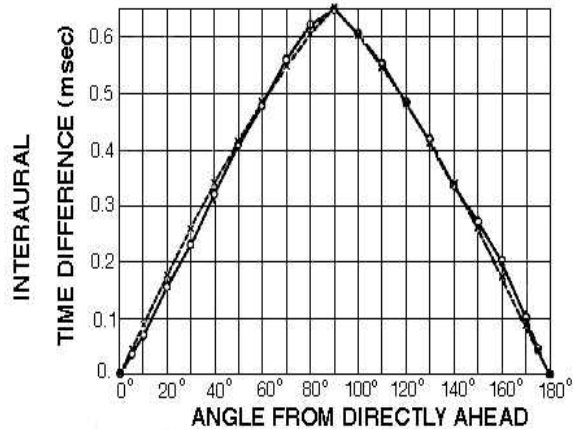
외부의 소리의 경우 헤드셋으로 완전히 차단되지 않는다. 즉 헤드셋 밖에서 들리는 음원으로 인해 각도 조절에 따른 방향감을 정확하게 느끼는 것이 어려울 수 있다.

이로 인해 소리의 방향감을 포함하여 IID와 ITD를 각각 적용하였을 때의 추가적인 청감상 차이를 분석하는 것이 실험의 목표이다.

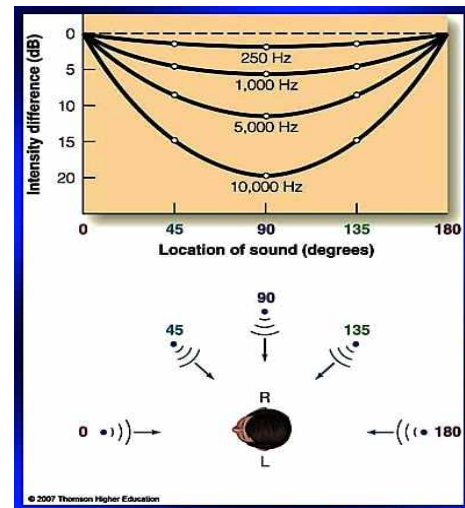
따라서 본 실험의 주요 내용은 다음과 같다.

1. 저주파 대역에서 IID와 ITD의 90도 위치에서 청감차이 비교
2. 저주파 대역에서 IID와 ITD의 각도별 청감차이 비교
3. 고주파 대역에서 IID와 ITD의 -90도 위치에서 청감차이 비교
4. 고주파 대역에서 IID와 ITD의 각도별 청감차이 비교

## 실험 예상



<그림 1 ITD의 머리와 음원의 각도에 따른 시간지연>



<그림 2 IID와 주파수간의 관계>

그림2의 표에서 알 수 있듯 IID와 ITD는 소리의 주파수 대역에 따라서 영향도가 달라진다. 고주파 대역의 경우 sound shadowing effect 로 인해 소리의 크기차이가 발생한다. 즉 IID에서는 소리가 일부가 차단되어 양측의 소리크기차로 인해 방향감을 인지한다.

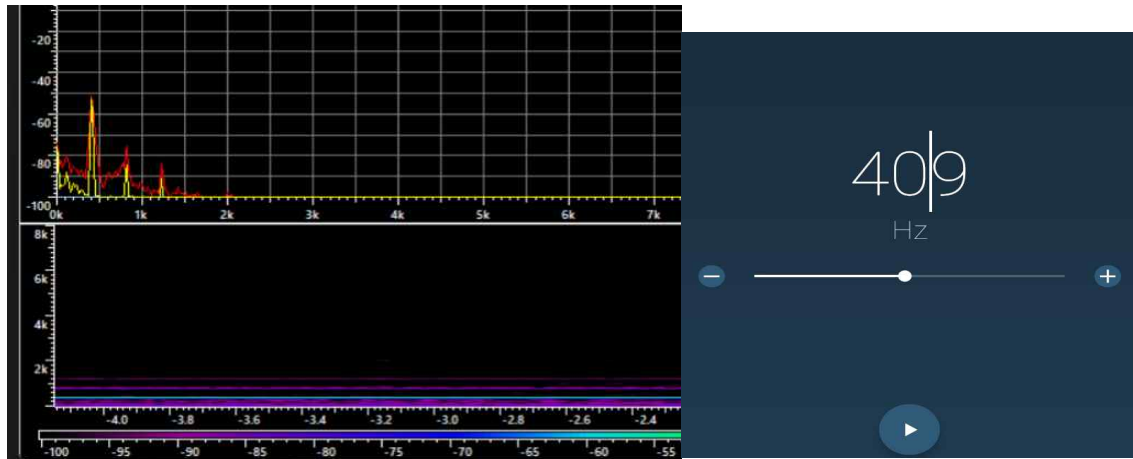
저주파 대역의 경우 소리가 도달하는 시간이 소리의 방향감을 인지하는 영향이 더 크다. 그림1의 표에서 알 수 있듯 90도의 위치에서 가장 큰 0.6msec정도의 시간차이가 발생하는 것을 알 수 있다. 즉 ITD의 경우 양측 귀에 도달하는 시간의 차이가 발생해 방향감을 인지한다.

## IID & ITD

```
if keyboard.is_pressed('a'): #all
    delaytype = 'a'
    print("IID + ITD")
elif keyboard.is_pressed('i'or'I'): #only intensuty difference
    delaytype = 'i'
    print("IID")
elif keyboard.is_pressed('t'or'T'): #only time difference
    delaytype = 't'
    print("ITD")
```

키보드를 통해 IID와 ITD 혹은 둘 모두를 적용할 수 있다.

## 저주파 대역에서의 실험



```
> python .\sound_loc.py 90
```

<주파수 발생기 어플을 사용하여 409hz의 소리를 발생시켰다.>

특정 주파수의 소리를 발생하는 어플을 사용하여 저주파 대역의 소리에서 IID와 ITD를 테스트 하였다. 설정한 400hz 주변의 소리들이 주로 인식되었다.

### ITD만을 적용한 경우

소리가 우측에서 더 잘 들리는 것이 인지되었다. 또한 둘을 동시에 적용하는것도 청감상 우측에서 소리가 더 잘 들린다고 인식할 수 있었다.

### IID만을 적용한 경우

좌우 스피커에서 청감상 차이를 느끼기 어려웠다. 정면에서 소리가 들린다는 느낌을 받았다. 이를 통해 저주파 대역에서 IID 보다 ITD의 영향이 우세함을 확인 할 수 있었다.

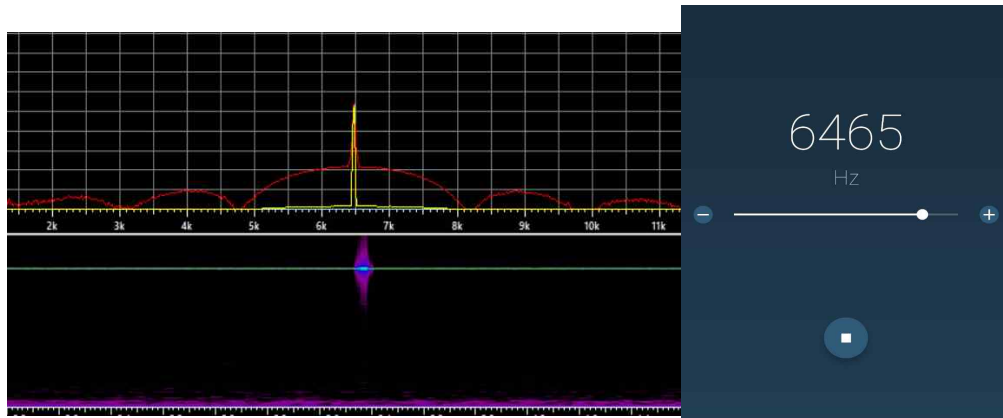
### 각도를 변경하며 ITD만을 적용한 경우

```
> python .\sound_loc.py 45 python .\sound_loc.py 15
```

저주파 대역에서 ITD가 우세한 것을 확인 하였으므로

각도를 각각 45와 15도로 설정하여 ITD만으로 renderig을 적용하여 실험을 한번 더 진행했다. 45도의 경우 90도만큼은 아니지만 ITD를 적용하였을 때 확실히 우측에서 소리가 들린다는 느낌을 받을 수 있었다. 하지만 15도의 경우는 ITD를 적용하였을 때 IID에서 느낀 것처럼 정면에서의 소리와 구분할 수 없었다. 즉 그림1의 표에서 알 수 있듯 15도 이하의 소리는 time difference가 0.1msec이하로 작아 구분이 어려운 것을 확인 할 수 있다.

## 고주파 대역에서의 실험



<주파수 발생기 어플을 사용하여 6465hz의 소리를 발생시켰다.>

```
python .\sound_loc.py -90
```

고주파 대역에서 실험 진행을 위해 동일한 어플을 사용하여 6465hz의 소리를 발생시켰다.

### IID만을 적용한 경우

저주파 대역에서와 다르게 IID의 경우 좌우 방향감 차이를 느낄 수 있었다.

본 실험을 진행할 때 음원이 되는 핸드폰이 본인의 우측에 위치 하였음에도 IID를 적용하였을 때 헤드셋의 스피커를 통해 들리는 소리는 좌측에서 들린다는 느낌을 받을 수 있었다.

### ITD만을 적용한 경우

하지만 ITD에서는 이를 구분 할 수 없었다. 마이크를 통하지 않고 귀로 직접적으로 들리는 소리가 원인 일 수 있다고 생각하여 음원인 핸드폰의 위치를 가운데로 옮긴 이후에도 방향감을 구분할수 없었다.

즉 고주파 대역의 소리에서는 IID의 영향이 우세함을 알 수 있다.

### 각도를 변경하며 IID만을 적용한 경우

```
> python .\sound_loc.py -45 python .\sound_loc.py -15
```

동일하게 각도를 -45와 -15도로 실험을 진행하였다.

-45도의 실험은 -90도의 실험처럼 방향감을 구분하는데 어려움이 없었다.

-15도의 경우 저주파 신호의 ITD에서는 방향감을 구분 할 수 없었다.

하지만 IID를 적용한 해당 실험의 경우 -15도의 작은 각에서도 정면에서 소리가 들리는 것이 아닌 좌측의 스피커에서 소리가 더 크게 들렸다.

## 저주파 & 고주파 대역에서 실험후 결론

저주파 대역과 고주파 대역으로 나누어 실험을 진행하며 저주파 대역에서는 ITD로 인한 영향이 우세하고, 고주파 대역에서는 IID로 인한 영향이 우세하다는 사실을 알 수있었다.

각도를 변경해 가며 진행한 실험에서는 저주파 대역에서 ITD가 우세하기 때문에 작은 크기의 각도에서는 time difference가 작아 방향감을 인지하는 것이 어려웠다.

하지만 고주파 대역에서는 IID가 우세하였다.

이는 소리의 크기가 달라지기 때문에 작은 크기의 각도에서도 어렵지만 저주파 대역에서 ITD만을 적용한 경우보다 좌우의 차이를 느낄 수 있었다.

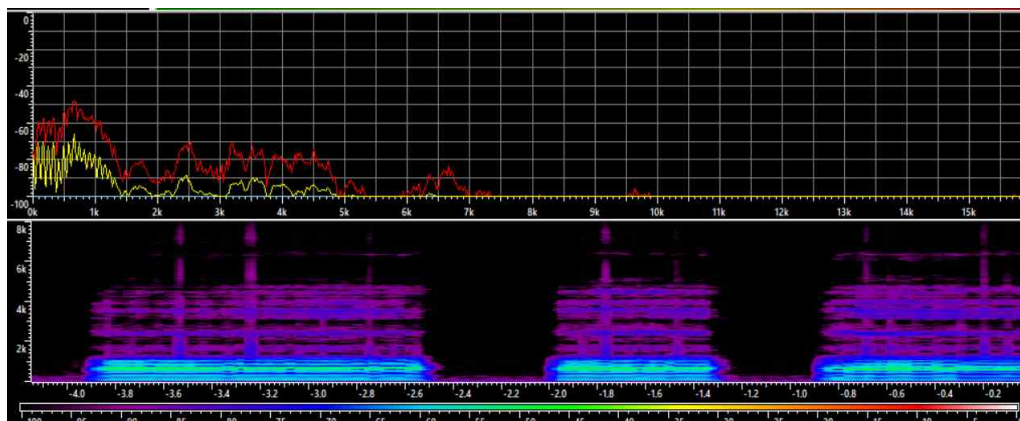
## 랜덤으로 방향(각도)을 발생시키고, 인지되는 방향과 실제 방향 간의 오차/적중도를 조사<GAME>

### 게임을 통해 알아볼 사항

1. 각도를 얼마나 정확하게 인지할 수 있는가?
2. 방향을 얼마나 인지 할 수 있는가?

게임을 통해 랜덤하게 들리는 소리로 인지한 방향과 실제 방향 간의 오차를 조사하고  
추가적으로 정면을 기준으로 좌측과 우측 방향중 어느 방향에서 해당 소리가 발생하는지 인지하는 것과 각도의 크기의 상관관계를 조사한다.

### 게임전 예상



### <게임에 사용된 본인의 음성신호의 스펙트럼과 스펙트로그램>

게임을 진행하기 앞서 본인의 음성 신호를 분석해 보았다.

고주파대역 보다 저주파 대역에서 많은 신호가 검출된 것을 확인 할 수 있다.

앞선 실험에서 저주파대역의 경우 IID보다 ITD의 영향이 우세하였다.

따라서 각의 크기가 15~20도 이하의 작은 경우 방향을 구분하기 어려울 것이라 예상할 수 있다.

## 게임 결과

```

j = random.randrange(0, 360)
Guess the Direction (L/R): l
Guess the Angle (-90 to 90): -80
Correct!!!
-63
실제 각도: -63도
입력한 각도와 실제 각도 간의 오차: 17도 (오차율: 9.44%)
press 'q' to guess the answer
Guess the Direction (L/R): r
Guess the Angle (-90 to 90): 70
Correct!!!
43
실제 각도: 43도
입력한 각도와 실제 각도 간의 오차: 27도 (오차율: 15.00%)
press 'q' to guess the answer
Guess the Direction (L/R): r
Guess the Angle (-90 to 90): 50
Correct!!!
65
실제 각도: 65도
입력한 각도와 실제 각도 간의 오차: 15도 (오차율: 8.33%)
press 'q' to guess the answer
Guess the Direction (L/R): l
Guess the Angle (-90 to 90): -7
Wrong, Answer is r
9
실제 각도: 9도
입력한 각도와 실제 각도 간의 오차: 16도 (오차율: 8.89%)
press 'q' to guess the answer
Guess the Direction (L/R): r
Guess the Angle (-90 to 90): 5
Correct!!!
6
실제 각도: 6도
입력한 각도와 실제 각도 간의 오차: 1도 (오차율: 0.56%)

```

```

press 'q' to guess the answer
Guess the Direction (L/R): l
Guess the Angle (-90 to 90): -8
Correct!!!
-12
실제 각도: -12도
입력한 각도와 실제 각도 간의 오차: 4도 (오차율: 2.22%)
press 'q' to guess the answer
Guess the Direction (L/R): l
Guess the Angle (-90 to 90): -45
Correct!!!
-70
실제 각도: -70도
입력한 각도와 실제 각도 간의 오차: 25도 (오차율: 13.89%)

```

```

press 'q' to guess the answer
Guess the Direction (L/R): r
Guess the Angle (-90 to 90): 55
Correct!!!
58
실제 각도: 58도
입력한 각도와 실제 각도 간의 오차: 3도 (오차율: 1.67%)
press 'q' to guess the answer
Guess the Direction (L/R): l
Guess the Angle (-90 to 90): -10
Correct!!!
-18
실제 각도: -18도
입력한 각도와 실제 각도 간의 오차: 8도 (오차율: 4.44%)
press 'q' to guess the answer
Guess the Direction (L/R): l
Guess the Angle (-90 to 90): -22
Correct!!!
-12
실제 각도: -12도
입력한 각도와 실제 각도 간의 오차: 10도 (오차율: 5.56%)
Correct Answers: 9
Wrong Angles: [9]

```

## <게임 결과 화면>

### 게임결과

전체 10개에 대한 오차율 평균	7%
가장 큰 오차율	15% (실제각 43도 입력값 70도)
가장 작은 오차율	0.56% (실제각 6도 입력값 5도)
각의 크기가 20도 이하인 경우 오차율의 평균	4.33%
각의 크기가 20도 이상인 경우 오차율의 평균	9.67%
방향에 대한 정답률	90%

게임을 진행하며 방향을 구분하기 어려웠던 작은 크기가 20도 이하의 작은 각들이었다. 좌우측의 방향을 구분하는 입력에서는 단 1개의 오답만을 골랐지만 실제로는 청감상 정면에서 들리는 느낌을 받았다.

반면 각의 크기가 작은 값들의 오차율의 평균이 각의 크기가 큰 값들의 오차율 평균 보다 작은 결과를 얻었다. 이는 확실하게 소리가 좌측이나 우측에서 들린다고 느껴지는 각도에서 정확한 각을 유추하는 경우 각의 범위가 -20~-90, 20~90 도의 범위지만 음원의 위치가 정면이라고 느껴지는 소리의 경우 각의 범위가 -20~20으로 작은 것이 이유라 생각된다.



게임을 통해 각이 작을수록 소리가 들리는 좌우 방향을 특정하기 어렵지만 정면으로부터 소리가 들리는 각도의 오차는 작다는 사실을 확인할 수 있었다.

이는 예상과 같이 게임이 저주파대역에 많이 분포하는 본인의 음성특성으로 인하여 ITD의 영향이 우세하여 각의 크기가 작을수록 time difference가 작아져 차이를 쉽게 구분하지 못하는 것이라 생각된다.

## Reference

그림1 ITD Phase differences

[https://www.sfu.ca/sonic-studio-webdav/handbook/Binaural\\_Hearing.html](https://www.sfu.ca/sonic-studio-webdav/handbook/Binaural_Hearing.html)

그림2 IID deference

<https://hearinghealthmatters.org/waynesworld/2023/how-important-is-sound-localization/>