

# 효율적인 진동 자극을 위한 외이도 삽입형 진동체의 설계 변수에 따른 특성 분석

김도연<sup>1</sup>, 강하림<sup>1</sup>, 고희일<sup>1</sup>, 나승대<sup>2</sup>, 김명남<sup>3\*</sup>

경북대학교 대학원 의용생체공학과<sup>1</sup>, 경북대학교병원 의공학과<sup>2</sup>,

경북대학교 의과대학 의공학교실<sup>3</sup>

## Characteristics Analysis According to Design Parameters of an Ear canal Insertable Actuator for Efficient Vibration Stimulation

D.Y. Kim<sup>1</sup>, H.L. Kang<sup>1</sup>, H.I. Koh<sup>1</sup>, S.D. Na<sup>2</sup>, and M.N. Kim<sup>3\*</sup>

1 Department of Medical & Biological Engineering, Graduate School, Kyungpook National University

2 Department of Biomedical Engineering, Kyungpook National University Hospital

3 Department of Biomedical Engineering, School of Medicine, Kyungpook National University

\*kimmn@knu.ac.kr

### Abstract

With the advent of the era of one smartphone per person in modern society, multimedia devices such as wireless earphones are developing. Recently, the use of wireless earphones and headphones is also increasing due to the development. An increase in the use of devices leads to hearing loss, which in turn increases the demand for hearing aids. Recently, a bone conduction method, which is inserted into the ear canal to deliver vibrational stimulation, is being studied. The actuator inserted into the ear canal is a bridge-type piezoelectric actuator. By using the design of the actuator, it is possible to control the frequency characteristics by various structures. In order to control the frequency characteristics, it is required to define the design parameters of the structure. In this paper, a frequency characteristic analysis by design parameters for efficient vibration stimulation of an ear canal inserted actuator is proposed. In the proposed method, the effect of each variable on the frequency characteristic was analyzed by performing finite element analysis on the variables that determine the frequency characteristics.

### 1. 연구 배경

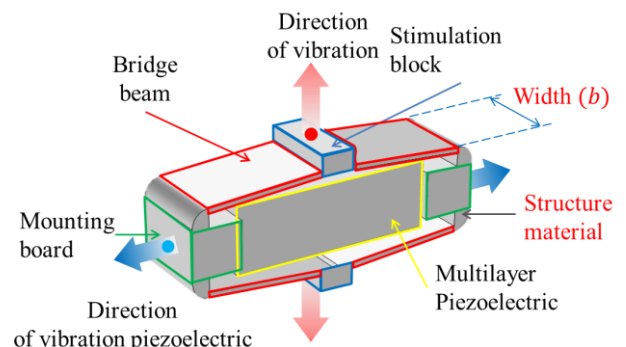
현대 사회의 1인 1스마트폰 시대가 오면서 무선 이어폰 등 멀티미디어기기가 발전하고 있다. 최근에는 무선 이어폰 및 헤드폰 등의 발전에 따른 사용량 또한 증가하고 있다. 기기의 장시간 사용은 난청을 초래하며, 난청의 발병을 앞당길 수 있다. 이에 따라 난청을 보조하기 위한 보청기 수요도 증가하고 있다. 보청기는 다양한 연구를 진행 중에 있으며, 최근 외이도에 삽입하여 진동자극을 전달하는 골전도 방식이 연구 중에 있다[1]. 외이도 삽입형 골전도 방식은 외이도 내부에 연결된 측두골(Temporal bone)을 자극하여 진동을 전달하는 역할을 한다[2]. 측두골을 자극하는 진동체(Actuator)는 브릿지 형태의 모양을 띠고 있으며, 내부에는 압전체(Piezoelectric body)가 삽입되어 있다. 이러한 외이도 삽입형 골전도 진동체는 비수술적 착용이 가능하며, 진동체의 설계를 통해 다양한 구조를 통한 주파수 특성 조절이 가능하다. 주파수 특성 조절은 난청자의 특정 주파수 대역 손실에 대한 보상이 가능하며, 보상을 통해 효율적인 진동자극과 난청에 대한 보조 역할이 가능하다. 그러나 진동체의 구조설계를 통한 주파수 특성의 조절은 수많은 제작을 통해 얻을 수 있는 문제점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 주파수 조절이 가능한 구조체의 설계 변수를 정의하는 것이 요구된다.

본 논문에서는 외이도 삽입형 진동체의 효율적인 진동 자극을 위한 설계 변수에 의한 주파수 특성 분석을 제안하였다. 제안한 방법은 효율적인 진동 자극을 위해 주파수 특성을 결정짓는 변수인 구조체의 다양한 변수 중 재료와 두께에 대한 유한요소해석을 진행하여 각 변수가 주파수 특성에 미치는 영향을 분석하였다. 해석 결과를 통해 효율적인 진동자극이 가능한지 확인하였다.

### 2. 연구 방법

외이도 삽입하여 진동을 전달하기 위해서는 외이도라는 제한된 공간 안에서 충분한 진동이 필요하다. 외이도는 직경 6mm와 길이 30mm의 공간 안에서 진동하기 위해서는 진동체의 설계와 구동 방식이 중요하다. 그러므로 진동체의 설계와 구동방식은 크기 대비 진동 효율이 좋은 압전소자를 사용하여 설계하였다. 진동체의 구동 원리는 내부에 삽입된 압전체의 역압전 효과(Piezoelectric converse effect)를 이용하여 수평 방향의 진동이 브릿지 구조체와 결합하여 수직 방향의 진동으로 전환하는 원리와 총 4개의 빔(Beam)의 거동에 의해 구동하게 된다. 그림 1은 진동체의 구조의 명칭 및 원리를 나타내는 그림이다.

1그림 . 브릿지 진동체의 각 구성의 명칭 및 원리



Design variable :  $b = 2.5 \sim 3.5$  (0.5 step)

Structure material : Titanium/Aluminum/SCM440

그림 1과 같이 압전체의 두께 방향 진동 즉, 수평 방향의 진동이 거치대(Mounting board)에 전달됨과 동시에 4개의 빔에 의해 자극블록(Stimulation block)이 측두골을 자극하는

방식임을 알 수 있다. 따라서 진동체의 원리는 구조체의 설계에 따라 변하는 것을 확인할 수 있으며, 이에 따라 구조체의 설계 변수로 정의한 재료와 두께에 의해 기계적인 특성이 변화가 발생한다. 아래의 표 1은 구조체의 재료에 대한 기계적 물성을 나타낸다.

1표 . 구조체 재료의 기계적 물성

	Titanium	Aluminum	SCM440
Density [kg/m <sup>3</sup> ]	4940	2700	8000
Young's modulus [GPa]	105	70	193
Poisson's ratio	0.30	0.30	0.30

표 1에 구조체 재료의 밀도와 영률이 가장 높은 것은 크롬-몰리브덴합금강(SCM440)이며, 순서대로 티타늄(Titanium)과 알루미늄(Aluminum) 순이다. 따라서 각 재료의 차등을 부여하여 결과의 차이를 확인할 수 있다.

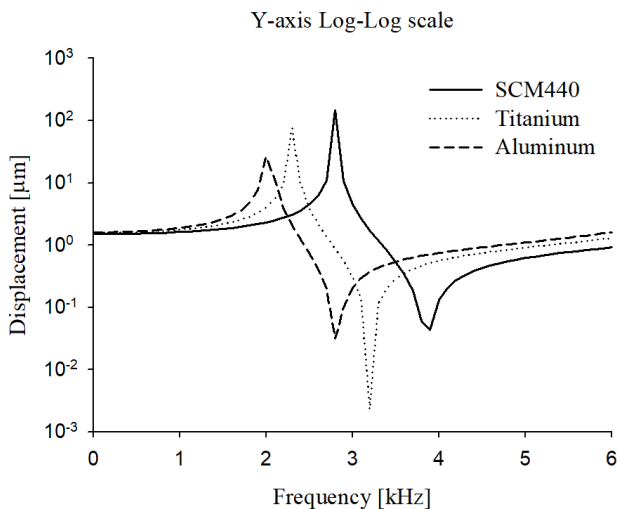
구조체의 두께(b)를 변경하여 실험을 진행하였다. 두께의 변경은 구조체 빔에 영향을 미치며, 빔에 작용하는 강성에 의해 주파수 특성이 결정된다. 따라서 구조체의 두께는 외이도 크기를 고려하여 2.5~3.5mm로 0.5단위로 변경하여 유한요소해석을 진행하였다.

### 3. 연구 결과

외이도 삽입형 진동체의 효율적인 진동자극을 위한 설계 변수에 의한 주파수 특성 분석을 위해 설계 변수를 구조체의 재료와 두께로 설정하였으며, 변수를 통해 유한요소해석을 진행하였다. 해석은 3차원 형상으로 해석을 진행하였으며, 구조역학 인터페이스를 사용하여 물리해석을 하였고 출력 특성을 확인하기 위해 주파수 영역 해석을 진행하였다. 그림 2는 구조체의 재료 변경에 대한 실험 결과이다.

그림 2. 구조체 재료 변경에 대한 주파수 특성 결과

그림 2와 같이 재료의 변경을 통한 결과는 공진주파수의 위치가 재료의 영률과 밀도가 높을수록 비교적 높은 대역에



위치하며, 낮을수록 낮은 대역에 위치하게 된다. 따라서

재료의 변경은 주파수 특성에 영향을 미치는 것을 확인할 수 있다. 그리고 그림 3은 구조체의 두께 변경에 따른 유한요소해석 결과이다.

그림 3. 구조체 두께 변경에 따른 주파수 특성 결과

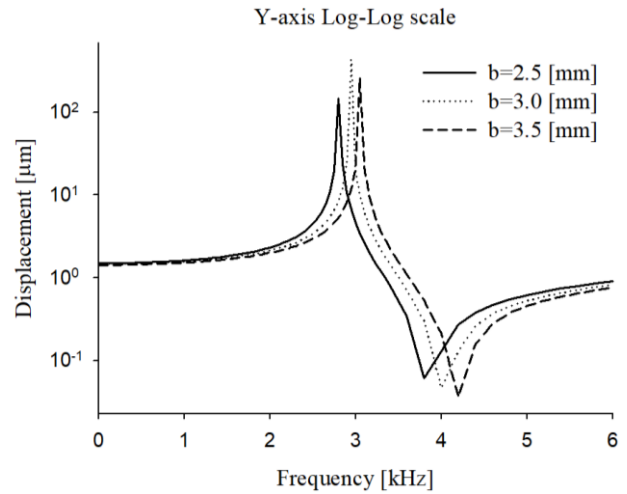


그림 3과 같이 주파수 특성 결과는 두께 2.5mm는 2.8kHz이며, 3.0mm는 2.95kHz이고 3.5mm는 3.05kHz이다. 여기서 구조체의 두께는 공진주파수에 비례하는 결과를 나타내고 있다. 따라서 구조체의 재료와 두께 변경을 통해 다양한 공진주파수를 형성할 수 있다.

### 4. 결론

본 논문에서는 외이도 삽입형 진동체의 효율적인 진동 자극을 위한 설계 변수에 따른 특성 분석을 제안하였다. 제안한 방법은 진동 특성을 결정짓는 변수인 구조체의 다양한 변수 중 재료와 두께에 대한 유한요소해석을 진행하여 각 변수가 주파수 특성에 미치는 영향을 분석하였다. 재료의 변경은 재료의 영률과 밀도와 연관이 있는 것을 확인하였으며, 공진주파수가 재료의 영률과 밀도에 비례하는 것을 증명하였다. 또한, 구조체의 두께 변경은 두께와 공진주파수가 비례하는 것으로 나타났다. 따라서, 효율적인 진동자극을 전달하기 위해서는 난청자의 특정주파수 대역의 손실된 부분의 보상을 해주는 것이므로 재료와 두께 변경으로 충분한 특정 주파수 대역의 손실 보상을 가능한 것으로 확인되었다.

### 4. Acknowledgements

This study was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIP) (No. NRF-2017M3A9E2065284, 2022R1A2C2009716).

### 5.참고 문헌

- [1] D.Y. Kim, S.D. Na, K.W. Sung, and M.N. Kim, "Ear Canal Insertion-Type Piezoelectric Bone Conduction Actuator Of Bridge Structure," *Journal of Mechanics in Medicine and Biology* Vol 20 No 10 pp 1-11 2020
- [2] S. Stenfelt "Model Predictions for Bone Conduction Perception in the Human," *Hearing Research*, Vol. 340, pp. 135-143, 2016.