

# 한국인 성인남자의 개별 이도내 음향응답에 대한 경계요소 해석

## Boundary Element Analysis for Individual Acoustic Responses in Ear Canal of Korean Adults

이두호† · 안태수\* · 기동환\*  
Dooho Lee, Tae-Soo Ahn and Dong-Hwan Ki

### 1. 서론

정확한 삼차원 가상 음장을 구현하기 위해서는 두형 및 귓바퀴의 형상과 관계되는 이도나 이도 입구에서의 음향전달특성을 파악하는 것이 중요하다. 두형과 관련된 음향응답은 개인간의 차이가 커서 각 개인의 음향전달특성을 얻기 위해서는 실험적인 방법이나 빠른 계산 방법이 필요하다. 본 연구에서는 한국인 성인 남자의 두형 및 귓바퀴, 이도의 형상 모델링을 통하여 이도 내의 음향응답에 대한 경계요소 해석을 수행하여 각 개인의 음향전달특성을 살피고 그 산포를 알아본다.

### 2. 두형 경계요소 모델링

#### 2.1 두형 모델링

이도내의 음향응답을 정확히 예측하기 위해서는 먼저 두형 및 귓바퀴, 이도의 정확한 기하학적 형상 모델링이 필수적이다. 이를 위해 세명의 남자 성인 지원자의 두부에 대하여 CT 촬영을 수행하고 3D-Doctor 소프트웨어를 이용하여 형상 모델링을 수행하였다. CT 촬영의 해상도는  $0.44 \times 0.44 \times 0.30$  mm 였다. Fig. 1 에는 CT 촬영 데이터를 이용하여 재구성한 두형을 보여주고 있다.

재구성된 성인의 두부 형상은 전처리 소프트웨어를 이용하여 경계요소 분할을 수행하여 경계요소 모델을 생성하였다. 경계요소 모델의 생성은 두형부분, 귓바퀴 부분, 이도 및 고막부분의 모델을 포함하였으며 귓바퀴와 이도 및 고막부위의 요소분할 밀도를 높여서 상세히 모델링하였다. 요소분할의 밀도는 한 파장당 4 개의 요소를 기준으로 80% 이상의 요소가 20 kHz 이상의 최대주파수를

갖도록 조정하였다. Table 1 에는 각 성인에 대한 경계요소 모델을 정리하였으며 Fig. 2 에 그 경계요소 모델을 보였다.



Fig. 1 Reconstructed head geometry of a Korean adult

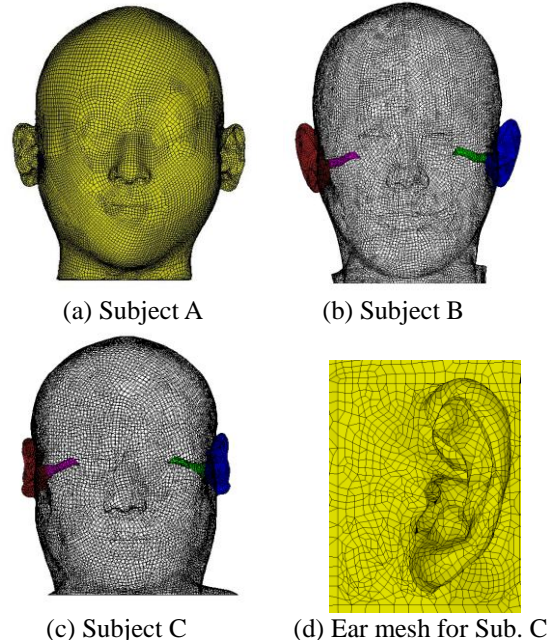


Fig. 2 Boundary element models for Korean adults

Table 1. Summary of BE models for Korean adults

	Sub. A	Sub. B	Sub. C
No. of Nodes	21,067	29,522	21,171
No. of Ele.	21,319	29,690	21,620

† 교신저자; 동의대학교 기계공학과  
E-mail : Dooho@deu.ac.kr  
Tel : (051) 890-1658, Fax : (051) 890-2232  
\* 동의대학교 기계공학과 대학원

## 2.2 경계조건

각 개별 경계요소 모델의 경계조건은 Fig. 3 과 같이 머리카락, 피부, 이도 및 고막 부분으로 나누어 임피던스 경계조건을 부여하였다. 이도, 얼굴부분, 귓바퀴 부분 등과 같은 피부의 경계조건은 전주파수 영역에서 반사계수  $R \approx 0.97$ 의 값을 부여하였으며 머리카락과 고막의 임피던스 값은 참고문헌 [1-2]을 참고하여 Fig.4 와 같이 주파수의 함수로 부여하였다.

## 3. 이도내 음향 응답 해석

개발된 경계요소 모델을 이용하여 머리부 중앙에서 1.5 m 떨어진 정면에 점음원이 존재하는 경우에 대하여 각 개별 음향전달함수를 계산하였다. 음향전달함수의 계산은 오른쪽 귓바퀴의 상단과 머리사이(over the ear) 위치의 음압을 기준음압

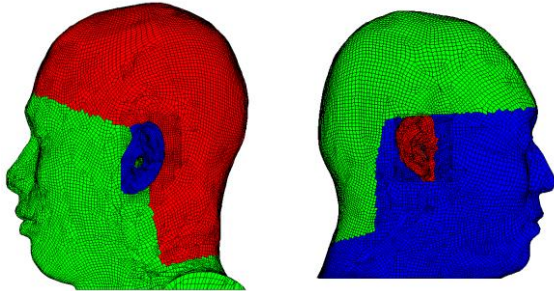
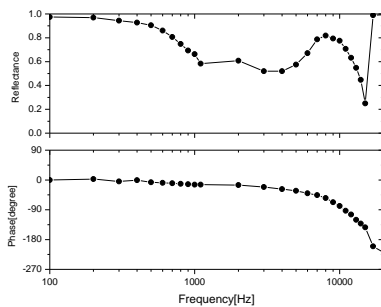
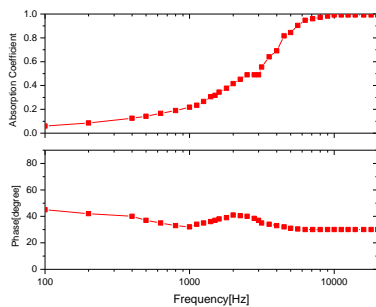


Fig. 3 Boundary conditions for Subjects B and C



(a) For tympanic membrane



(c) For hair

Fig. 4 Boundary conditions for the BE models

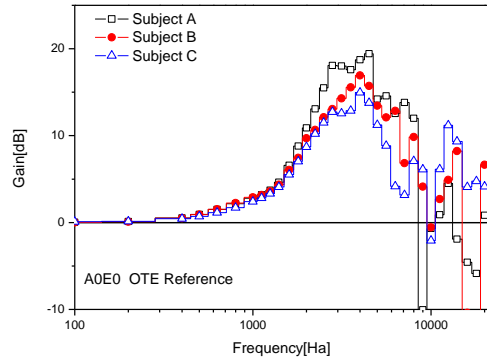
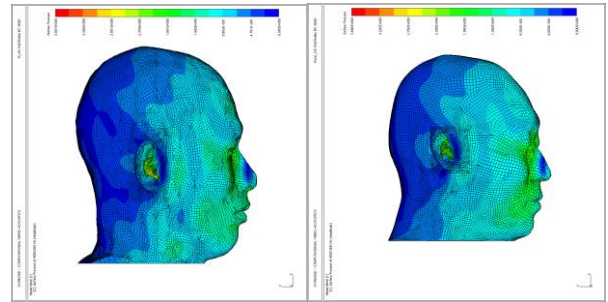


Fig. 5 Calculated individual acoustic transfer functions



(a) Subject B (b) Subject C  
Fig. 6 Sound pressure distribution at 4500 Hz

으로 선정하고 오른쪽 고막에서 5 mm 떨어진 이도내 중앙부분의 응답과의 전달함수를 계산하였다. 전달함수의 계산은 상용소프트웨어인 SYSNOISE 5.6 을 이용하여 수행하였으면 계산결과를 Fig. 5 에 도시하였다. Fig. 6 은 특정주파수에서의 음압 분포의 개별 차이를 보여주고 있다.

## 4. 결론

개별 성인 남자에 대하여 가청주파수 내에서 이도내 음향전달함수를 계산하는 경계요소 모델을 개발하고 음향해석을 수행하여 개인간 이도내 음향전달함수의 차이를 확인하였다.

## 후 기

이 논문은 2007 년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국 과학 재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. R01-2007-000-10986-0).

## 참고문헌

- (1) Katz, Brian F.G., 2000, "Acoustic absorption measurement of human hair and skin within the audible frequency range," *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol. 108, No. 5, pp. 2238-2242. (20)
- (2) Allen, J.B., and Voss, S.E., 1994, "Measurement of acoustic impedance and reflectance in the human ear canal," *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol. 95, No. 1, pp. 372-384.