

# 한국인 평균 두형 머리전달함수 특성에 대한 경계요소해석 Boundary Element Analysis of Head-Related Transfer Function for the Averaged Korean Head Shape

이두호† · 안태수\* · 노태우\*  
Dooho Lee, Tae-Soo Ahn and Tae-Woo Noh

## 1. 서론

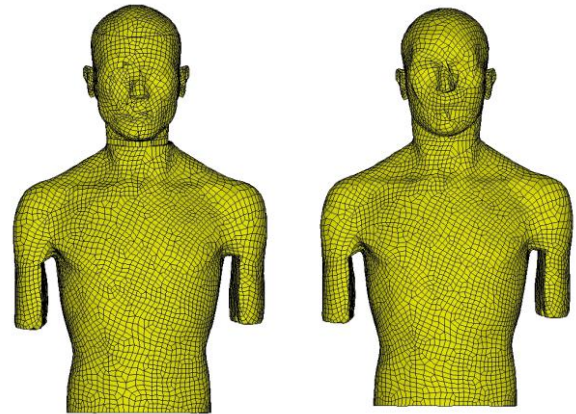
머리관련 전달함수(head-related transfer function, HRTF)는 음원에서 이도 입구까지의 소리 전달 특성을 나타내는 함수로 가상현실 등에서 음장의 재현을 위해서 반드시 필요한 함수이다. 한국인의 평균 두형에 대한 측정 작업은 한국과학기술정보연구원(KISTI)에서 수행되었으며 이 한국인 평균두형에 관한 머리관련 전달함수의 측정이 본 저자들에게 의해서 수행되었고 HRTF의 기준값으로 사용되는 KEMAR 더미와의 특성차이를 선행 연구에서 고찰하였다. 본 연구에서는 한국인 평균두형에 대한 HRTF 해석을 위한 수치계산 모델을 개발하고 해석을 수행하여 KEMAR 더미와의 소리전달특성의 차이점을 살펴본다.

## 2. 경계요소해석 모델 개발

### 3.1 경계요소해석 모델

한국인 평균 머리모양의 CAD 데이터로부터 경계요소분할 작업을 통하여 경계요소 모델을 생성하였다. 한국인 남자 평균 머리모양을 갖는 더미와 KEMAR 더미에 대한 경계요소모델을 Fig. 1에 보였다. 한국인 남자와 KEMAR 경계요소 모델은 각각 9560, 9129 개의 요소수와 9353, 8975 개의 절점으로 이루어졌다. 이러한 요소수는 요소의 기본 크기를 8mm로 설정하고 요소작업을 수행한 결과로 이 모델의 관심 주파수 영역은 7 kHz 미만의 영역이다.

더미의 경계조건은 경계요소면에 임피던스 값을 부여하였으며 임피던스 값은 고정단면에 가까운  $1.0 \times 10^5 \text{ Pa} \cdot \text{s/m}$  값을 부여하였다. 임피던스 값의 주파수에 따른 변동은 고려하지 않았다.



(a) Korean man (b) KEMAR  
Fig.1 Boundary element models for HRTF calculation

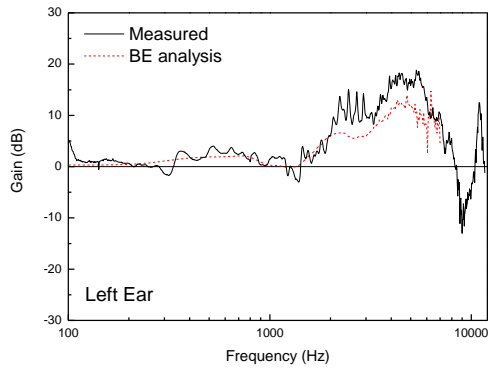
머리전달함수의 해석을 위하여 두형 중심으로부터 1.5 m 떨어진 위치에 점음원을 위치시키고 음원의 방위각 및 고도를 변화시켜 가면서 다음 식과 같은 이득 값  $G$ 를 계산 하였다.

$$G(dB) = 20 \log \left( \frac{P_e}{P_r} \right) \quad (1)$$

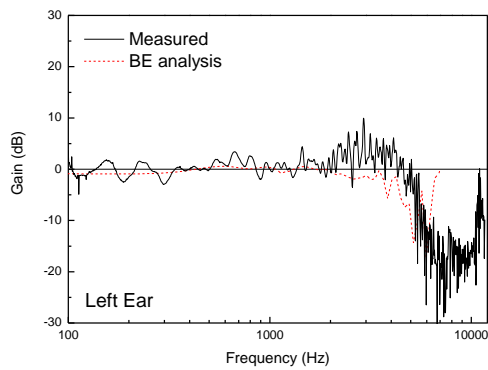
위 식에서  $P_e$ 는 경계요소 해석으로부터 구한 이도 입구 절점에서의 음압크기를 평균한 값이며  $P_r$ 은 두형 더미가 없을 때 두형 중앙 위치에서 동일 음원에 대한 음압의 크기이다.

HRTF 관련 소리전달 이득의 수치계산은 상용소프트웨어인 Lms SYSNOISE를 이용하여 직접경계요소수식화에 의한 해석을 수행 하였다. 한국인 평균두형에 대한 HRTF 계산결과를 Fig. 2에 실험결과와 비교하여 그렸다. 그림에서 보듯이 개발된 모델은 2kHz 이하의 영역에서는 실험결과와 잘 일치하나 2kHz 이상의 영역에서는 실험결과보다 낮게 예측하고 있다. 이는 경계조건 불확실성 등 여러 가지 원인이 있을 수 있겠으나 2 kHz 이상 영역의 응답은 컷마퀴 부분의 공명이 큰 부분을 차지하므로 5mm의 크기로 나누어진 컷마퀴 부분의 요소분할이 너무 성긴 때문으로 판단된다.

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



(a) Elevation  $0^\circ$ , azimuth  $0^\circ$



(b) Elevation  $0^\circ$ , azimuth  $90^\circ$

Fig. 2 Comparison of calculated HRTFs with measured one.

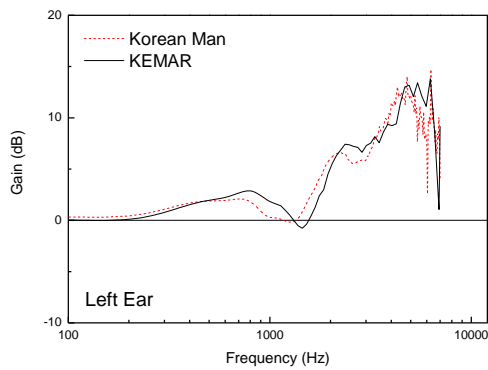
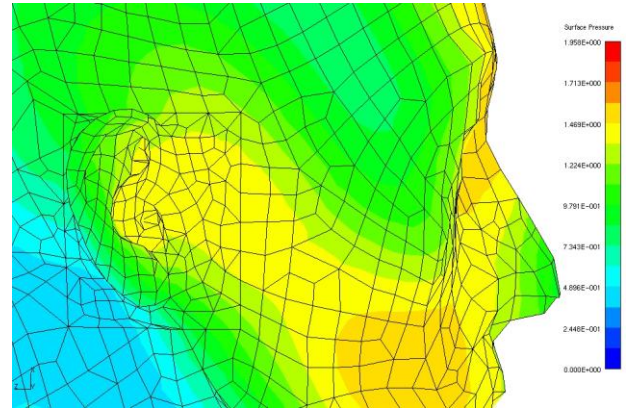
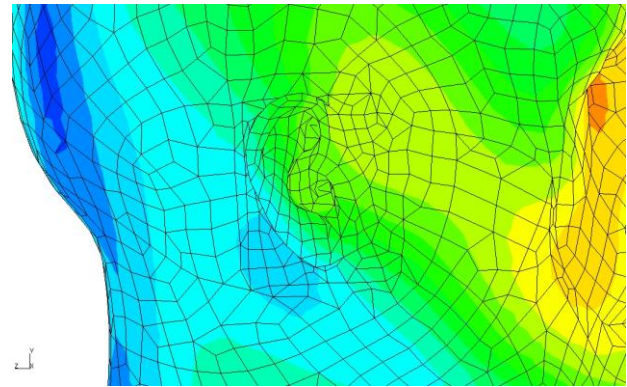


Fig. 3 Comparison of the Korean man's HRTF with that of the KEMAR(elevation  $0^\circ$ , azimuth  $0^\circ$ )

Fig. 3 에는 한국인 평균두형의 HRTF 와 KEMAR 의 HRTF 를 비교하여 그렸다. 그림을 보면 한국인 평균두형과 KEMAR 의 HRTF 는 소리전달 특성에 큰 차이는 없음을 알 수 있다. HRTF 의 측정에 관한 선행연구에서 4kHz 대역에서 차이를 보이던 것과는 결과에 차이가 있어 좀 더 세심한 해석모델의 개발이 필요할 것으로 판단된다. Fig. 4 에는 2kHz 에서



(a) Korean man



(b) KEMAR

Fig. 4 Comparison of surface sound pressures at 2 kHz

한국인 평균 두형과 KEMAR 의 표면 음압 분포를 그렸다. 두형의 형상에 따라 음압분포가 달라지는 것을 관찰할 수 있다.

### 3. 결론

본 연구에서는 한국인 평균 두형에 대하여 머리관련 전달함수를 계산하기 위한 경계요소 모델을 개발하고 실험결과 및 KEMAR 의 해석결과와 비교하였다. 개발된 모델은 2 kHz 이하의 영역에서 실험결과와 잘 일치하고 있으나 고주파수의 응답에는 약간의 차이가 있어 고주파에서의 정확한 해석을 위해서 정확한 경계조건의 추정 및 귓바퀴의 정확한 형상모델링이 필요하다. KEMAR 와 한국인 평균 두형의 소리 전달 특성은 대체적으로 유사하며 고주파수에서의 차이는 향후 고주파용 세부모델을 이용한 HRTF 해석을 통해서 확인이 필요하다.

### 후 기

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