



이어폰/헤드폰 측정법

+ 이신렬 (주)소니캐스트 연구소장



개요

이어폰/헤드폰은 포터블 오디오기기의 등장으로 일반인들에게 널리 보급된 이후 휴대폰의 증가로 인해 현재 대부분의 사람들이 매일 사용하는 음향장치이다. 이러한 개인형 오디오기기의 등장으로 스피커를 이용하여 소리를 듣던 음향 청취방식이 이어폰/헤드폰을 통해 소리를 듣는 방식으로 바뀌면서 이어폰/헤드폰 성능 측정에 대한 많은 연구들이 진행되고 있다. 본 글은 차세대음향센터(NSSC)에서 수년간의 이어폰/헤드폰 관련 측정 및 분석연구를 통해 이어폰/헤드폰의 궁극적인 목표인 “청취실에서 스피커로 들을 때의 음향 특성과 가장 유사한 음향 특성을 재생”하는 이어폰/헤드폰의 특성을 측정하고 분석하는 방법에 대해 살펴보고자 한다.

측정 장비

이어폰/헤드폰 측정은 무향실에서 자유음장(free-field) 마이크로폰을 이용한 라우드스피커 측정법과는 달리, 귀의 음향 임피던스를 모사한 모사 귀(ear simulator) 혹은 HATS(Head And Torso Simulator)를 사용하여 측정한다.

■ 이어폰 측정

측정의 신뢰성(reliability) 및 재현성(reproducibility) 확보를 위해 IEC60318-4(구, IEC60711)를 만족시키는 모사 귀를 사용한다.



그림 1. 모사 귀(GRAS 43AC)

■ 헤드폰 측정

귓바퀴(Pinna)와 머리의 특성을 반영하기 위해 IEC 60318-7 기준에 부합하는 B&K 4128C HATS를 사용한다. 대부분의 측정은 표준규격인 IEC/KS 60268-7을 기준으로 하며, 보정과 관련된 일부분만 변경하여 적용한다.



그림 2. HATS(B&K 4128C)

■ 측정 시스템

- 음향분석기 : SoundCheck 13.0

- 오디오 인터페이스 : Listen Inc.Ampconnect

- 파워앰프 : Listen Inc. Ampconnect

- 마이크로폰 앰프 : B&K Type 2690-A-

0F2

- HATS : B&K 4128C (IEC 60318-7)

- 모사 귀 : GRAS 43AC (IEC 60318-4)

■ 측정 장비 구성도



그림 3. 이어폰 측정장비 구성도



그림 4. 헤드폰 측정 장비 구성도

보정 곡선(Equalization curve)

이어폰/헤드폰은 스피커 유닛이 귀에 밀착되어 소리를 재생하기 때문에 청각기관의 구조적인 영향을 고려해야 한다. 일반적인 라우드 스피커 측정과 동일한 음향 특성을 HATS 혹은 모사 귀를 통해 나타내기 위해서는 보정이라는 과정을 반드시 거쳐야 하는데, 현재까지 알려진 국제표준 보정기법으로는 자유음장 보정(free field correction)법, 확산음장 보정(diffuse field correction)법 등이 있다. 2가지 보정법 모두 이어폰/헤드폰의 궁극적인 목적인 표준시청실에서 스테레오 스피커가 재생하는 음향 특성을, 청취자에게 이어폰/헤드폰을 통해 재생하는 것을 만족시키지 못하고 있다.¹⁾

본 글은 이어폰/헤드폰의 궁극적인 목적인 “표준시청실 음향특성에 최대한 근접한 음향 특성을 측정”하는 데 그 목표가 있으며, 측정 데이터의 이해도를 높이기 위해 보정 전 평균 신호처리 이전(이하, RAW) 데이터, 보정 전 평균 신호처리 이후(이하, 1/3 옥타브 평균) 데이터, 기존 자유음장 보정(이하, FF 보정) 데이터, 기존 확산음장 보정(이하, DF 보정) 데이터, NSSC 보정 데이터(이하, NSSC 보정)로 구분하여 나타낸다. 기존 자유음장 및 확산음장 보정을 위한 측정 데이터는 이어폰/헤드폰 측정에 사용되는 HATS를 무향실 및 잔향실에 설치하여 측정한 데이터를 사용하였다.²⁾

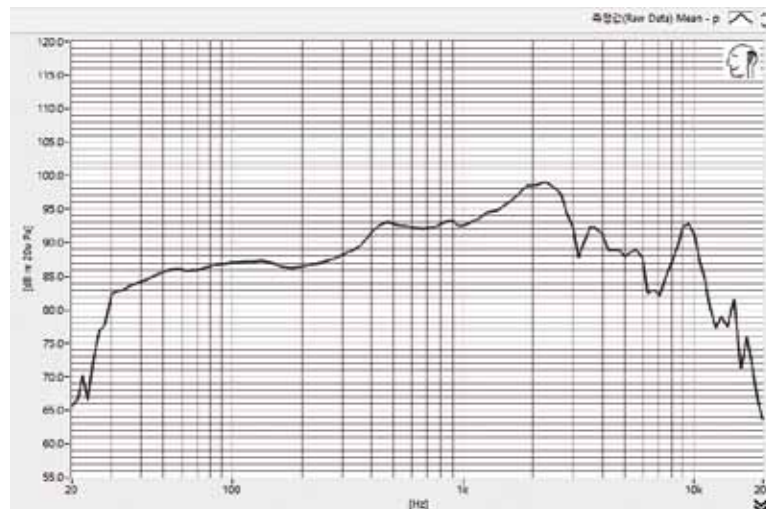


그림 5. RAW 데이터

■ RAW 데이터

RAW 데이터는 모사 귀 및 HATS에서 측정된, 보정을 거치지 않은 원본 데이터로 신뢰성 및 재현성 확보하기 위해 이어폰/헤드폰을 5회 반복 측정 후 공간 평균 데이터를 사용한다.³⁾ [그림 5] 참조

■ FF / DF 보정 데이터

FF 보정은 현재 IEC/CS 표준으로 사용되는 보정기법으로 그 역사가 가장 오래되었으며, 무향실 정면에 음원을 배치시키고 HATS를 통해 측정된 음향 특성을 사용한다. 즉 정면 음상정위(sound localization)를 위해 만들어진 방법으로 표준통화(orthotelephonic) 기준에서 차용하였으며, 사람들간의 머리전달함수(Head related transfer Function) 차이로 인해 머리 내 음상정위(In-head localization) 차이가 발생되고, 음색 왜곡이 심해 현재에는 널리 사용되지 않은 보정기법이다.⁴⁾ DF 보정은 청취자 자신의 머리전달함수 및 이를 이용한 바이노럴 잔향을 사용하지 않는 한 정면 음상정위가 근본적으로 해결될 수 없음을 인지한 연구 결과를 기반으로, 스테레오 음향 재생에서의 정면 음상정위를 포기하는 대신 음색 왜곡을 최소화하기 위해 제안된 기법이다.⁵⁾ 스테레오 음향 재생의 경우 DF 보정 기법이 FF 보정 기법에 비해 음색 왜곡이 상대적으로 적어 ITU-R 표준(1990)으로 채택되었지만 청취실이 아닌 잔향실에서 음향을 청취하는 논리적 모순에 빠져 DF를 대체할 새로운 보정기법들이 현재 다양하게 소개되고 있다.⁶⁾

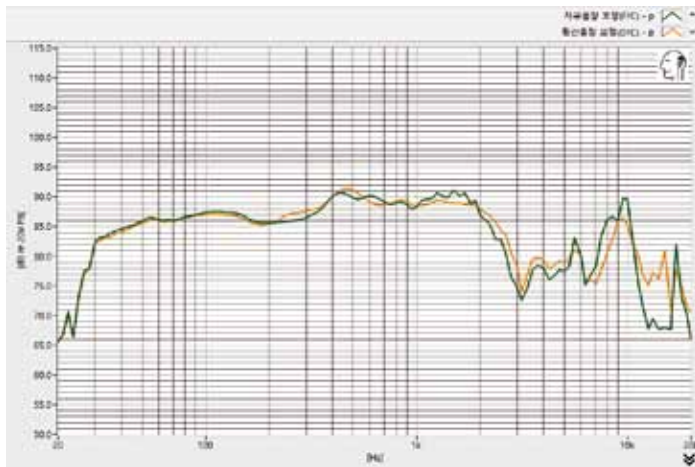


그림 6. 자유음장 및 확산음장 보정 데이터

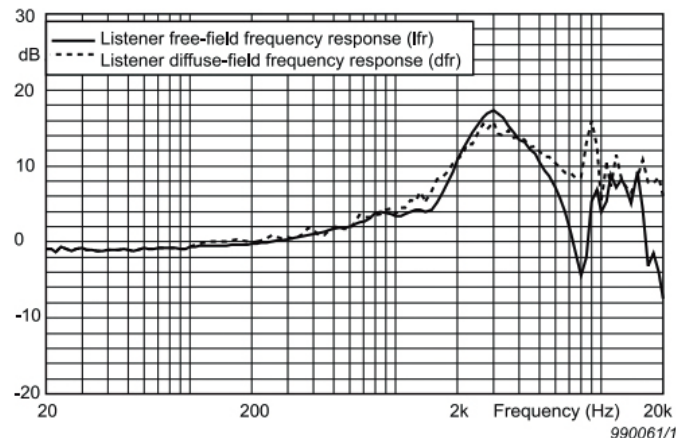


그림 7. 자유음장 및 확산음장 측정 데이터, 제공: B&K

■ B&K 4128C 보정용 측정 데이터

B&K사에서 제공하는 이어폰/헤드폰 보정을 위한 B&K 4128C FF/DF 측정 데이터는 업계 및 평가기관에서 많이 활용되고 있다. 자유음장 측정 데이터의 경우 타 기관에서 측정한 결과와 일치하는 특성을 나타내지만, 확산음장 데이터의 경우 8kHz 이상 고주파수 대역에서 큰 차이를 나타낸다. 이는 이어폰/헤드폰 제조업체에서 B&K 4128C로 보정된 그래프가 실제 청감 특성과 많은 차이를 나타내는 원인으로

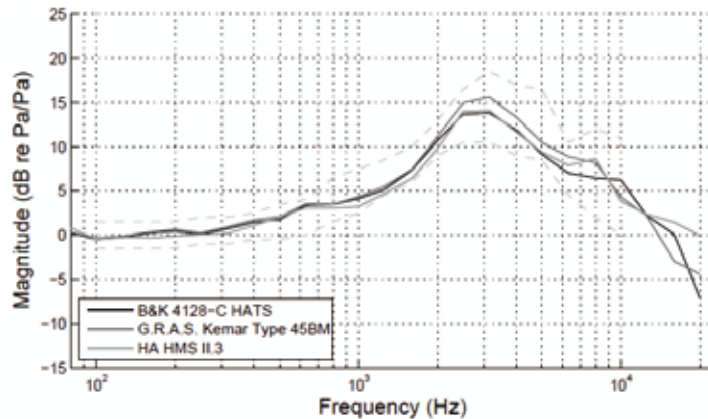


그림 8. HATS 확산음장 실측 데이터 (B&K 4128C, GRAS KEMAR, Head Acoustics HMS)

로, 현재에는 음향 연구기관에서 정밀하게 재측정한 B&K 4128C 확산음장 측정 데이터가 주로 사용되고 있다.⁷⁾

HATS 실측 데이터를 보면 세 회사 측정 데이터간 차이가 크지 않는데, 이는 모든 방향에서의 머리전달함수를 공간평균(spatial averaging)시켰을 경우 방향성 정보는 사라지고, 방향과는 무관한 이도(ear canal) 공진만이 남게 된다. 따라서 HATS 간의 이도 모양이 유사할 경우 DF 측정곡선 또한 유사한 모양을 가지게 된다. 본 글에서는 B&K 4128C 확산 음장 실측 데이터를 이용하여 확산음장 보정을 하였고, 자유 음장 보정은 무향실 실측 데이터와 B&K에서 제공하는 측정 데이터간의 차이가 없어 B&K사에서 제공한 측정 데이터를 그대로 사용하였다.

■ NSSC 보정 데이터

이어폰/헤드폰의 궁극적인 재생 목표인 “이어폰/헤드폰을 통한 표준시청실 스테레오 스피커와 동일한 음향 재생”을 위해 음향예측 프로그램인 CATT를 이용하여 ITU-R 기준 표준시청실에서의 음향 특성을 반영하였으며, 이를 통해 표준 시청실에서 라우드스피커를 통해

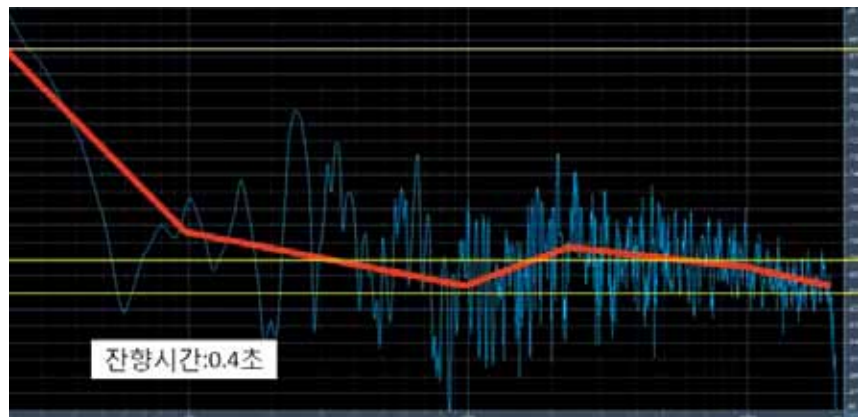


그림 9. ITU-R 표준시청실 라우드스피커 주파수 모의 응답(CATT)

듣는 음색과 가장 유사한 음색을 가진 보정 곡선을 선정하였다. 음장 시뮬레이션 예측 결과 200Hz 이하의 저주파수 대역에서 에너지가 점차적으로 증가하여 20Hz 부근에서는 12dB 정도 증가하는 경향을 나타내고, 10kHz 이상의 고주파수에서는 에너지가 점차적으로 감소하여 20kHz 부근에서 3dB 정도 감소하는 경향을 나타낸다. 이는 라우드 스피커가 저주파수에서 무지향성 특성을 나타내고, 청취실 벽면이 흡음이 이루어지지 않는 반사 벽으로 작용하여 저주파수 음을 크게 증폭시키고, 고주파수의 경우 지향성 특성을 나타내며, 뒷벽의 반사음 일부가 직접 음과 상쇄 간섭을 일으켜 고주파수 에너지를 일부 감쇄시키는 작용 때문이다.

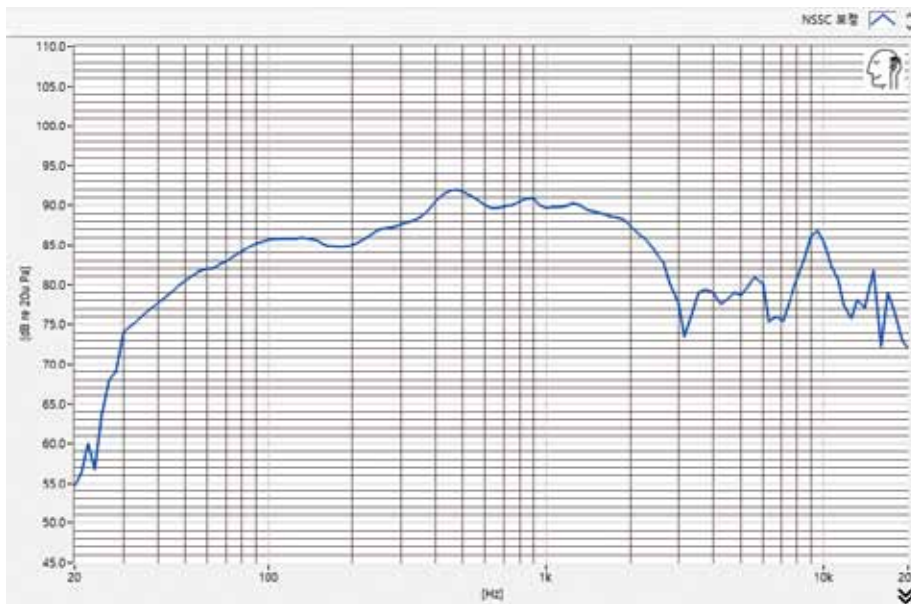


그림 10. NSSC 보정 주파수 응답

본 글에서는 이러한 표준청취실의 공간전달특성을 추가로 반영한 보정곡선을 사용하여 기존 보정 기법에 비해 주관적인 청감 특성과 더욱 유사한 주파수 특성을 제공하는데 이를 NSSC 보정기법이라 한다.

결론

본 글에서는 ITU-R 표준 시청실의 음향 특성을 음장 예측 프로그램을 이용하여 구하고 이를 기존 확산음장 보정 곡선에 적용하여 표준 시청실에서 스테레오 스피커로 듣는 음향 특성과 가장 유사한 이어폰/헤드폰 음향 특성을 측정하는 방법에 대해 알아보았다. 이러한 이어폰/헤드폰 측정 및 분석기법을 통해 현장에서 녹음한 음향을 시청실없이 바로 송출할 경우 시청자가 느끼는 음색 편차를 최소화시킬 수 있는 이어폰/헤드폰 선정에 많은 도움을 줄 수 있을 것이다. 🎧

참고

- 1) Møller, H. et al, "Design Criteria for Headphones" J. Audio Eng. Soc., Vol. 43, No. 4 - April 1995.
- 2) Measuring HRTFs of B&K 4128C, GRAS KEMAR 45BM, and Head AcousticsHMS II-3 Head and Torso Simulators (Technical University of Denmark)
- 3) IEC 60268-7 - Sound System Equipment, Part 7: Headphones, International Electrotechnical Commission, Geneva, Switzerland
- 4) Electroacoustic Measurements of Headphones (Christopher J. Struck)
- 5) G. Theile, "On the standardization of the frequency response of high-quality studio headphones," J. Audio Eng. Soc., 34:956-969 (1986).
- 6) Olive et al, "The Relationship between Perception and Measurement of Headphone Sound Quality", AES 133 convention, 2012
- 7) Measuring HRTFs of B&K 4128C, GRAS KEMAR 45BM, and Head AcousticsHMS II-3 Head and Torso Simulators (Technical University of Denmark)