

HATS를 이용한 헤드폰의 *in situ* 측정방법에 관하여

On the *in situ* Measurement Method of Headphones using Head And Torso Simulator

강 경 옥*, 강 성 훈*

(Kyeong-Ok Kang*, Seong-Hoon Kang*)

요 약

헤드폰을 사용하여 청각실험을 하는 경우에 합리적인 헤드폰 측정방법이 확립되지 않아 그 측정방법에 따라 다른 결과를 초래하는 문제점이 있기 때문에, 헤드폰의 주파수 특성에 관한 표준 측정방법이 요구된다. 본고에서는 이러한 중요성에 입각하여 종래의 의사귀를 이용한 측정방법과 최근 새롭게 제안되고 있는 HATS를 이용한 측정방법을 사용하여, 사람에게 있어서 자연적인 청취상태에 입각한 헤드폰 측정방법에 대해 고찰하고, 종래의 측정방법과 비교 검토하였다.

그 결과 사람의 귀의 음향 임피던스와 머리의 회절효과를 정확히 모사하지 못한 의사귀 측정방법에 비해, 이 문제점을 해결한 HATS를 이용한 측정방법에서 사람에게 있어 보다 자연적인 청취상태에 입각한 주파수 특성을 측정할 수 있었다.

Abstract

The standard measuring method of the frequency characteristics of headphones has been needed because different results come from the different measuring methods because of the lack of the reasonable measuring method of headphone characteristics, for example, in the case of psycho-acoustic experiments with headphones. In this paper, based on this fact, we studied the measurement method of headphones based on the natural hearing condition of human beings, that is *in situ* measuring method, by measuring the headphone frequency characteristics using an artificial ear and a newly proposed device, HATS(Head And Torso Simulator).

From the result of this paper, we could see that the method appropriate to a so called *in situ* condition was the one with HATS. Because HATS simulated more correctly the acoustic impedance of the ear and the diffraction effect of the human head than the artificial ear.

I. 서 론

최근 P.C.M 녹음·재생 및 CD 등 전기음향 전송계의 기술혁신은 놀랄만한 것이다. 더욱이 디지털 기술의 도입에 의해 종래의 아날로그 기술만으로는 기대할 수 없었던 dynamic range나 S/N비의 향상이

가능하게 된 것은 주지의 사실이다. 그러나 이러한 전송방식의 진보에 비해 전송계의 단말인 스피커나 헤드폰 등의 변환기(transducer)에는 본질적인 진보가 없었던 것이 현실이다. 이러한 원인 중 하나로서 스피커나 헤드폰 등에 대한 합리적인 측정 평가법이 아직 확립되지 않았다는 점을 들 수 있고, 이 때문에 헤드폰의 주파수 특성을 측정하는데 있어 측정방법에 따라 다른 결과를 얻게 된다. 예를 들어 헤드폰을 사용한 청각실험을 하는 경우, 실험자가 의도하는 대

*한국전자통신연구소 신호처리연구실
접수일자: 1992. 12. 17.

로 자극음을 피험자에게 제시하기 위해서는 헤드폰의 주파수 특성을 정확하게 파악하는 것이 중요하다. 그러나 헤드폰 표준 측정방법이 확립되어 있지 않기 때문에 그 측정방법에 따라 헤드폰의 주파수 특성 등이 크게 달라져 결과적으로 상이한 실험결과를 얻게 된다⁽¹⁾.

본고에서는 이러한 중요성에 입각하여 종래의 의사귀와 커플러를 이용한 측정방법과 최근 새로운 측정방법으로 제안되고 있는 HATS를 이용한 *in situ* 헤드폰 측정방법을 사용하여 여러형태의 헤드폰의 주파수 특성을 측정하여, 궁극적으로는 이러한 헤드폰의 주파수 특성 측정방법에 대해 고찰하였다.

II. 헤드폰의 분류

현재 음향기기로 통용되고 있는 헤드폰의 종류를 IEC Pub.268-7⁽²⁾에 따라 분류하면 헤드폰과 귀와의 음향적 커플링(coupling) 원리에 따라 circumaural 형, supraaural 형, intra-concha 형 및 insert 형으로 구분할 수 있고, 이는 또 다시 헤드폰의 뒷면을 통한 신호의 누설(leakage) 여부에 따라 개방형(open-air type)과 밀폐형(closed type)으로 나눌 수 있다. circumaural 형은 헤드폰의 ear pad 부분이 컷바퀴(pinna)를 둘러싸는 형태로 귀와의 커플링 상태에 따라 누설량이 달라지며, supraaural 형은 전화기 핸드셋 모양이 대표적인 것으로서 ear pad 부분이 컷바퀴 위에 놓이며 역시 커플링 상태에 따라 누설량이 변하게 된다. 그리고 intra-concha형과 insert형은 각각 외이(outer ear)입구와 외이도(outer ear canal)에 직접 결합되는 형태이다. 이를 그림 1에 나타낸다.

한편 헤드폰의 변환기의 원리에 따라 동전형(electrodynamic), 전자기형(electromagnetic), 정전형(electrostatic), 압전형(piezoelectric) 및 전도체형(electret)으로 나눌 수 있다.

그리고 1988년 CCITT의 SGⅩ의 "객관 측정기에 사용되는 의사입 및 의사귀"에 대한 과제를 연구하는 Question 12(Q.12/Ⅹ)의 목적에 의해 잠정적으로 헤드폰의 ear pad 부분의 외경에 따라 표 1과 같이 구분하고 있다⁽³⁾.

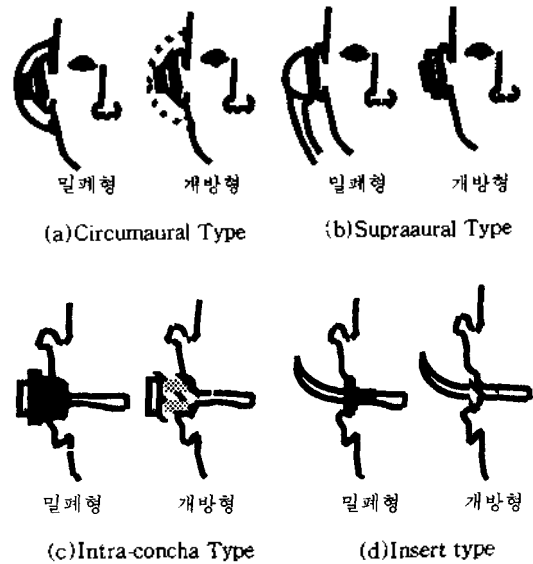


그림 1. 헤드폰 종류의 일례

표 1. CCITT SGⅩ에 따른 헤드폰의 분류

| 헤드폰의 종류 | 외 경(mm) |
|--------------|---------|
| supra-aural | >30 |
| supra-concha | 25~30 |
| intra-concha | <25 |

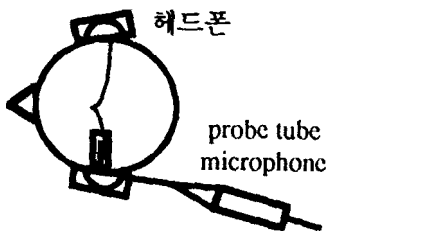
III. 주파수 특성 측정 방법

지금까지 사용되어온 헤드폰의 주파수 특성 측정방법과 최근 새롭게 제안되고 있는 측정방법⁽⁴⁾에 대해 살펴보기로 한다.

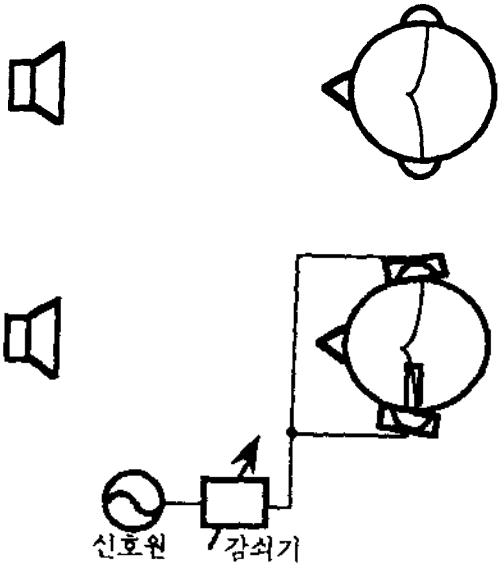
Beranek⁽⁵⁾의 분류에 의하면 종래의 헤드폰 측정방법은 크게 나누어 실이(real ear) 측정과 의사귀(artificial ear)측정으로 나눌 수 있고, 전자는 다시 고막 음압법(eardrum pressure method), 외이도 음압법(outer ear canal method) 및 음량 평형법(equal loudness method)으로 나누어 진다. 여기서 실이 측정은 직접 사람을 이용하여 측정하는 것으로서, 고막 음압법과 외이도 음압법은 각각 그림 2의 (a)와 같이 probe tube microphone를 귓속에 삽입하여 헤드폰 착용시의 고막 또는 외이도에서의 음압을 측정하여 헤드폰 주파수 특성을 구하는 방법이다. 그리고 음량 평형법은 그림 2의 (b)와 같이 사람이 스피커를 통해 직접 자유음장에서의 기준음을 들은 후 헤드폰을 착

용하고 다시 음을 들어, 이 음의 크기와 자유음장에서
의 기준음의 크기가 일치하도록 삼척기를 조정해
고 감쇠없이도 부터 헤드폰 복음을 구하는 방법이다.
이러한 실이 측정법은 실제 사람은 사용하며 사람이
음량감각에 기초를 둔 주관측정 방법이며, 헤드폰을
사용하는 것이 사람으므로 사람의 자연적인 청취상
태에 입각한 평가법이라는 면에서 바람직한 방법이
기도 하지만, 또 한편으로는 다음과 같은 단점도 가
지고 있다.

현상의 문제도 있다. 반면 음량 측정법의 주관측정
측정법에서는 이러한 고마찰의 문제는 없으나 8kHz
이상의 주파수에서는 일정한 음량에 대한 감각의 애
매하기 때문에 고주파 부분에서 음량 측정법은 정확
하지 않다는 보고도 있다.



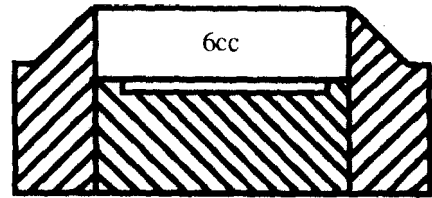
(a) 고막 음압법 및 위아도 음압법



(b) 음량 평형법

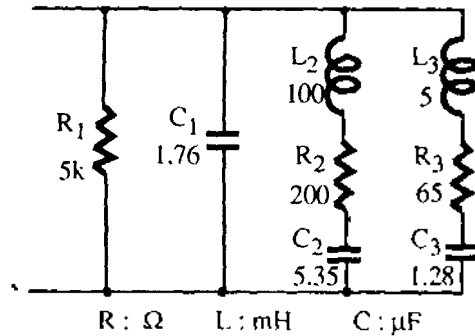
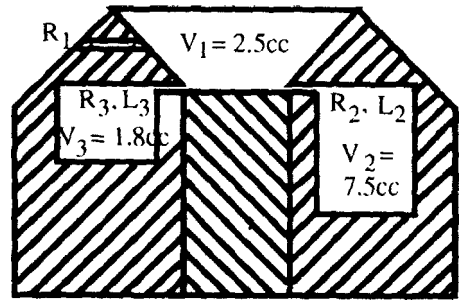
그림2. 헤드폰의 실이 측정

고막 음압법의 가장 큰 문제점은 정확한 고막(ear-
drum) 위치의 정의가 없다는 점이다. 실제 연구 결과
에 의하면 고막의 한쪽 모서리에서 다른 쪽 끝까지
15kHz에서는 약 15dB의 음압차가 있으며^[7], 또
probe tube microphone를 이용하여 측정을 할 때 재



마이크로폰

(a) 6cc 커플러



R : Ω L : mH C : μF

(b) IEC (제1차) IEC Pub.318 (4)

그림3. 헤드폰 측정용커플러

결국 이러한 실이 측정법은 사람의 자연적인 청취
상태에 입각한 평가법이라는 장점이 있는 반면, 위에
서 설명한 단점이외에 측정하기가 힘들고, 또 직접
사람을 이용하므로 측정결과에서 사람의 개인차의
영향을 배제할 수 없다는 문제점 때문에 일반적으로
그다지 사용되지 않고 있으며, 현재에는 주로 의식귀

측정법을 사용하고 있다.

의사귀 측정법이란 사람의 귀의 음향적 특성이나 용적 등을 모사한 커플러를 사용한 헤드폰 특성 측정법으로, 헤드폰 측정에 주로 많이 사용되는 의사귀로는 IEC 의사귀와 6cc 커플러를 들 수 있다. 그림 3에서 볼 수 있듯이 6cc 커플러는 단순히 사람의 귀의 용적을 근사한 것인데 비해, IEC 의사귀는 空洞(cavity)을 사용하여 사람의 귀의 음향 임피던스를 근사시킨 것이다. 6cc 커플러는 주로 청력검사용 헤드폰의 교정에, IEC 의사귀는 일반적으로 Hi-Fi용 헤드폰의 측정에 사용되고 있다. 그러나 이러한 의사귀를 사용하여 헤드폰을 측정할 경우, 동일 헤드폰에 대해 사용하는 의사귀의 수만큼 다른 특성이 얻어지게 되어, 어떠한 특성이 실제 헤드폰을 사용하는 사람에게 있어 가장 자연적인 특성인가를 판단할 수 있는 기준을 설정하기 어렵다는 문제점이 있고, 고주파와 저주파 부분에서의 주파수 특성이 정확하지 않을 수도 있다. 또한 IEC Pub.268-7에 의하면 현재의 커플러에서는 머리 주위의 회절효과와 헤드폰과 머리 사이의 누설을 정확하게 모사하지 못하기 때문에 주관 평가치와의 대응이 좋지 않다고 한다. 그러나 IEC Pub.268-7에서는 표준 측정법을 사용한 음향적 특성의 표준화된 표현에 대한 필요성에 의해, 커플러 측정방법을 사용한 헤드폰의 음향적 특성의 표현에 대해 규정하고 있다¹²⁾.

최근 새롭게 제안되고 있는 헤드폰의 측정방법에 대해 기술한다. 헤드폰이나 스피커 등의 전기음향 변환기의 평가법으로서는 최종적으로 사람이 듣고 평가할 하기 때문에, 헤드폰 특성을 평가할 때에는 사람의 자연적인 청취상태에 입각한 평가법이 가장 바람직할 것이다. 그러면 '사람에 있어서 가장 자연적인 특성'이란 무엇일까? 1932년 Bell 연구소의 Inglis¹⁰⁾는 전화 전송계의 평가시 이러한 문제에 직면하여 정조통화계(Orthotelephonic System : OTS)를 확립하였다. Inglis에 의하면 전화란 사람의 대화를 전달하기 때문에 평가의 기준도 사람에게 있어서 가장 자연적인 대화의 상태를 생각하지 않으면 안되며, 그러한 상태는 사람이 서로 마주보고 대화를 하는 상태로 생각하여 그림 4에서와 같이 화자의 입으로부터 1m 떨어진 청자의 고막까지의 주파수 특성이 사람에게 있어 가장 자연적인 특성이라고 정의하였

다. 다음에 이를 전화 전송계로 모사하여 이때의 주파수 특성을 구해 전자와 비교하면 그 전화 전송계가 어느 정도 자연적인 기준상태에 가까운가를 평가할 수 있다고 하였다. 이와 같이 전화의 경우에 기준이 되는 계를 정조통화계라 하며, 이 정조통화계를 기준으로 전화 전송계의 특성을 정량적으로 나타낸 것을 정조통화 레스폰스(Orthotelephonic Response : OTR)라고 한다.

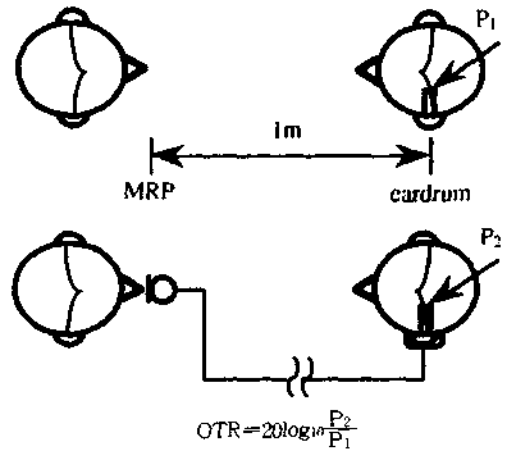


그림4. 정조통화계의 개념과 정조통화 레스폰스(OTR)

이와같이 사람의 자연적인 청취상태에서의 고막 음압을 기준으로 하여 각종 음향기나 전송계의 특성을 평가하는 방법은 전화 뿐만 아니라, 다른 분야에도 점점 적용이 확대되고 있고, 1983년 IEC에서는 보청기의 의사 *in situ* 측정을 표준화하였다¹⁰⁾. "*in situ*"란 "본래의 위치에서"를 뜻하는 라틴어로 이 방법은 사람이 보청기를 착용한 상태의 보청기 특성을 구하는 것이다. 단 이때 Inglis의 정조통화계와는 달리 사람대신에 그것을 모사한 소위 dummy head microphone을 사용한 점이 특징이고, 이러한 의사 *in situ* 측정의 표준화에 따라 몸통(Torso)을 포함한 dummy head microphone의 정식 명칭으로서 HATS(Head and Torso Simulator)가 명명되었다. 이 방법은 그림 5와 같이 HATS가 음압의 주파수 특성이 평탄한 이상적인 스피커에 정면으로 대하고 있을 때의 고막음압 P_0 와 HATS가 보청기를 착용한 상태의 고막음압 P_h 를 구해 보청기의 실제이득(삽입이득; insert gain)을 (1)식과 같이 구할 수 있다.

$$\text{삽입이득} = 20 \log_{10} \frac{P_h}{P_o} \text{ (dB)} \quad (1)$$

이는 결국 정조통화계에서 전화 전송계의 송화기에서 수화기까지가 보청기로 대체된 것으로 생각할 수 있다.

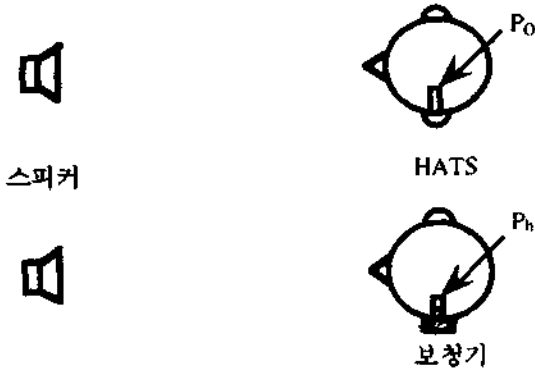


그림5. 보청기 *in situ* 측정의 개념

이 HATS에 의한 의사 *in situ* 측정이 IEC에서 표준화되고 나서, 이를 헤드폰 측정에도 응용하고자 하는 동향을 보여 현재 IEC에서도 이 HAST에 의한 헤드폰 측정을 검토중인 것으로 알려지고 있다.

지금까지 설명한 정조통화계의 개념에 기초를 둔 측정원리를 헤드폰의 경우에도 적용할 수 있다. 즉, 그림 6과 같이 이상적인 스피커에 정면으로 대하고 있는 HATS의 고막 음압 P_o 와, 다음에 HATS의 위치에 음압의 주파수 반응이 평탄한 이상적인 마이크를 두고 그 출력을 이상적인 앰프를 통해 헤드폰에 가해 이때의 고막 음압 P_h 를 구하면 그 헤드폰의 특성을 구할 수 있다. 이 원리에 의하면 사람이 각종 변환기를 통해 음을 들을 때의 고막 음압을 알 수 있기 때문에 이를 자유음장에 있어서의 자연적인 청취상태의 고막 음압과 비교해 변환기의 특성을 평가할 수 있고, 이때 P_o 와 P_h 가 완전히 일치하면 이 헤드폰 특성이 이상적인 것이 될 것이다. 그래서 HATS를 이용하면 종래의 의사귀에 의한 측정에서는 명확하지 않았던, 사람에 있어서 가장 자연적인 헤드폰 특성의 의미를 명확하게 나타낼 수가 있고, 종래에는 불가능했던 형식이 다른 각종 음향기기의 특성의 통일적 비교가 가능하게 된다.

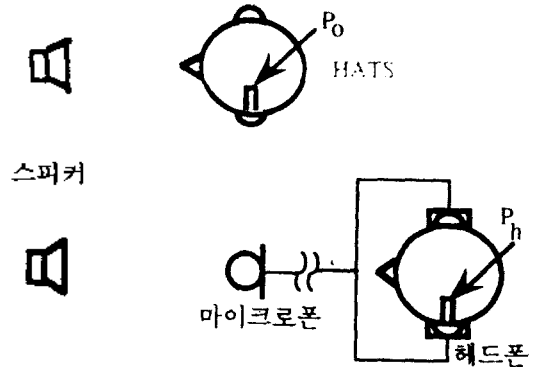


그림6. 헤드폰의 측정

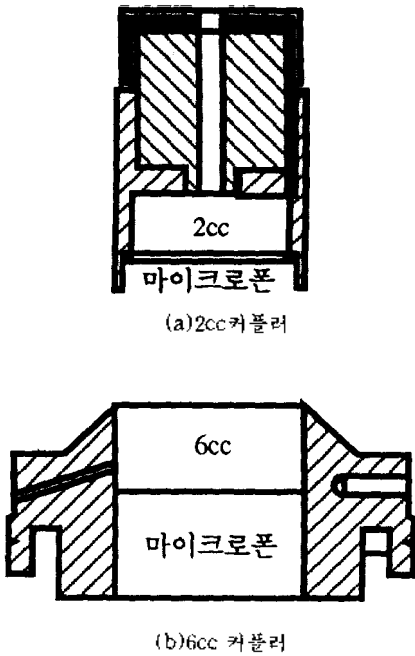
IV. 실험

1. 의사귀와 커플러를 이용한 주파수 특성 측정

헤드폰 측정에 사용된 의사귀는 B&K 4153형과 B&K 4152형으로 4152형에서는 6cc 커플러(DB 0909)와 2cc 커플러(DB 0138)를 사용하였다. 의사귀 4153형과 4152형은 음향 커플러, 콘덴서 마이크로폰을 접속할 수 있는 소켓을 포함한 본체(main housing)와 측정용 헤드폰을 거플러에 장착하는 구조를 가진 base plate로 이루어져 있다. 의사귀 4152형은 B&K의 1인치 콘덴서 마이크로폰 카드릿지 4144형과 프리앰프 2619형(어댑터 DB 0375와 함께)을 사용하며, IEC Pub.126과 ANSI S3.7-1973에 따른 2cc 커플러는 보청기용 이어폰 측정에 사용되고, IEC Pub.303과 N.B.S.9A 및 ANSI S3.6-1969에 따른 6cc 커플러는 supraaural 형 헤드폰의 측정에 사용된다. 이를 그림 7에 나타낸다.

한편 IEC Pub.318에 따른 커플러를 사용한 의사귀 B&K 4153형은, 단순히 귀의 용적만을 근사한 커플러를 사용하는 4152형과는 달리 사람의 귀의 음향 입피던스도 모사한 커플러를 사용하여 헤드폰을 측정하며, 이 때의 커플러는 그림 8과 같다. 그리고 4152형에서는 측정이 불가능하였던 circumaural 형 헤드폰을 측정할 수 있도록 특별히 고안된 어댑터 DB 0843이 부속되어 있고, 1/2인치 콘덴서 마이크로폰 4143형과 프리앰프 2619형을 사용하여 헤드폰을 측정한다. 실험에 사용한 의사귀의 제특성을 표로 나타내면 표 2와 같다.

실험은 정현파 신호 발생기(B&K 1027형)를 사용



(a) 2cc 커플러

(b) 6cc 커플러

그림7. 의사귀의 2cc 커플러와 6cc 커플러

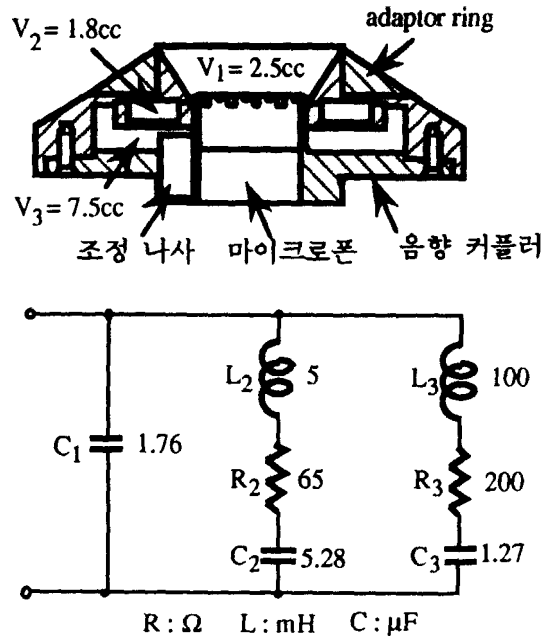


그림8. 의사귀의 커플러와 동가회로

하여 발생시킨 정현파 신호를 의사귀의 커플러에 장착된 측정용 헤드폰의 입력단자에 가해, 그 출력신호를 의사귀에 장착된 콘덴서 마이크로폰을 거쳐 프리앰프를 통해 측정용 앰프(B&K 2610형)로 보낸 후, 이 출력신호를 레벨 기록기(B&K 2307형)에서 기록하였다. 이때 레벨 기록기와 신호 발생기를 전기적으로 연동시켜 기록기와 신호 발생기의 주파수를 일치하도록 하여 20Hz에서 20kHz까지의 주파수에 대해 헤드폰의 주파수 특성을 측정하였으며, 측정 블럭도는 그림 9와 같다.

헤드폰의 커플러 주파수 특성은 IEC Pub.268-7에

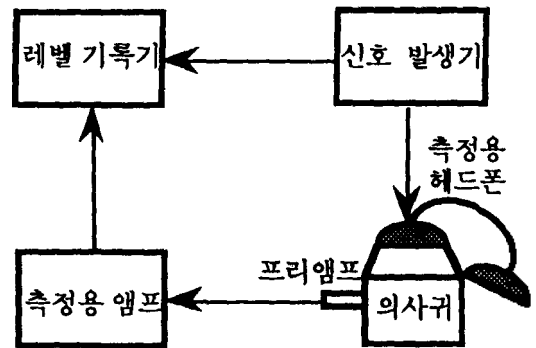


그림9. 의사귀에 의한 헤드폰 측정 블럭도

표2. 의사귀의 제 특성

| 특성 의사귀 | 커플러 특성 | 마이크로폰 | 측정 용도 |
|--------------|---|------------------------------|--|
| B&K 4253형 | IEC Pub.318 사람의 귀의 용적, 음향 임피던스 모사 | B&K 1/2인치 콘덴서 마이크로폰 4134형 | circumaural형 supraaural형 intra-concha형 |
| B&K 4152형 | 6cc 커플러(IEC Pub.303) 귀의 용적만 모사 | B&K 1인치 콘덴서 마이크로폰 4144형 | supraaural형 |
| | 2cc 커플러(IEC Pub.126) 귀의 용적만 모사 | | 보청기용 이어폰 (insert형 이어폰) |

의하면 500Hz에서, 커플러내에 94dB SPL의 음압을 발생시키는 정격전압을 신호원에서 헤드폰에 기계 측정하도록 하고있다. 이때 500Hz는 다른 주파수에 서는 생길수도 있는 누설이나 정상파 등의 효과를 피 하기 위해 선택된 값이다. 한편 일본의 전자기계공업 회 (EIAJ)의 RC-7501A, 헤드폰 통칙에서는 헤드폰을 커플러에 정착한 기준상태에서 입력단에 1mW 상당 의 일정전압의 정현파 신호를 가할 때 커플러내에 생 기는 음압레벨의 주파수 특성을 커플러 감도 주파수 특성으로 정하고 있다. 그러나 본 실험에서는 측정용 헤드폰의 정격 임피던스를 모두 알 수 없었기 때문에 다음과 같은 방법으로 통일하였다. 즉 헤드폰을 커플 러에 장착시켜 1kHz의 정현파를 입력할 때 그 출력이 94dB SPL의 음압이 되도록 입력전압을 조정하여 주파수 특성을 측정하였다.

실험에 사용한 헤드폰의 종류와 제반 측정조건을 요약하여 표 3에 나타낸다. 표 3에서 어댑터는 4153 형을 사용한 경우이며, 4152형의 의사기를 사용한 경우 입력전압란에 사용한 커플러를 ()안에 나타내었다. 또 *intra-concha* 형 또는 *insert*형 헤드폰 측정용 커플러가 IEC Pub.711 "Occluded-ear simulation for the measurement of earphones coupled to the ear by ear inserts"로 별도로 규정되어 있으나, 4153형과 4152형의 2cc 커플러(원래는 보청기용 이어폰 측정) 를 사용하여 측정하였다.

2. HATS를 이용한 주파수 특성 측정

측정에 사용한 Head and Torso Simulator (HATS)는 B&K HATS 4128형으로 평균적인 성인 남성의 머리와 몸통의 기하학적 구조를 모사한 것이

다. 이 HATS는 저하기, 헤드셋, 오디오 회의용 기 기, 마이크로, 전화기 등 헤드폰 등의 *in situ* 측정을 포함한 전기음향 측정 및 연구를 위해 만들어진 것으로서 사람의 머리와 몸통주위의 음장(sound field)을 정확하게 모사하고 있다. 이 HATS의 머리는, IEC Pub.711과 ANSI S3.25에 따르면 HATS의 오른쪽 귀인 보정된 우이 모사기(right ear simulator) 4158형을 포함하고 있으며, 오른쪽과 왼쪽에 대한 동시측정을 위해서 좌이 모사기(left ear simulator) 4159형(4128의 왼쪽귀)을 사용할 수도 있다. B&K 4128형의 음향적 성능과 주요 물리 규격은 IEC Pub.959 "Provisional Head & Torso Simulator for Acoustic Measurements of Air Conduction Hearing Aids"와 ANSI S3.36-1985 "Specifications for a Manikin for Simulated *In-situ* Airborne Acoustic Measurements"에 따른 것이다. 이 HATS를 이용한 헤드폰 측정은 실시간 디지털 주파수 분석기를 이용하여 내부의 신호 발생기로 pink noise를 발생시켜 이음 파워 앰프를 통해 HATS에 착용된 헤드폰의 입력단자에 가한다. 이때 헤드폰에 입력되는 전압을 일정하게 유지하기 위하여 IEC Pub.268-7(1984)에 따라 120Ω 저항을 파워 앰프와 헤드폰의 입력단자 사이에 직렬로 연결하였다. 그리고 헤드폰의 출력신호를 다시 주파수 분석기로 입력시켜 헤드폰의 주파수 특성을 측정하고, IEEE bus에 의해 디지털 그래픽 플롯터에 그 결과를 출력시켰다. 측정 블록도는 그림 10과 같다.

이때 주파수 분석기에 나타난 헤드폰 출력단의 음압레벨이 주파수 보정의 'A보정'의 결과 1Pa(94dB SPL)이 되도록 각 헤드폰마다 파워 앰프를 조정하여 20Hz~20kHz까지의 주파수 특성을 측정하였고

표3. 측정에 사용한 헤드폰의 종류와 측정조건

| 헤드폰 | 입력전압(V) | | 힘(N) | 어댑터 (B&K 4153) |
|--------------------------------|----------|-----------|------------|----------------|
| | B&K 4153 | B&K 4152 | | |
| C1(circumaural, 개방형) | 1.30 | | 헤드밴드의 장력이용 | DB 0843 |
| C2(circumaural, 밀폐형) | 0.20 | | | |
| C3(circumaural, 개방형) | 1.90 | | | |
| S1(supraaural, 개방형) | 0.28 | 0.24(6cc) | 5 | YJ 0304 역으로 설치 |
| S2(supraaural, 개방형) | 0.26 | 0.15(6cc) | | |
| I1(<i>intra-concha</i> , 개방형) | 0.84 | 1.38(2cc) | 2 | YJ 0304 역으로 설치 |
| I2(<i>intra-concha</i> , 개방형) | 0.44 | 1.50(2cc) | | |

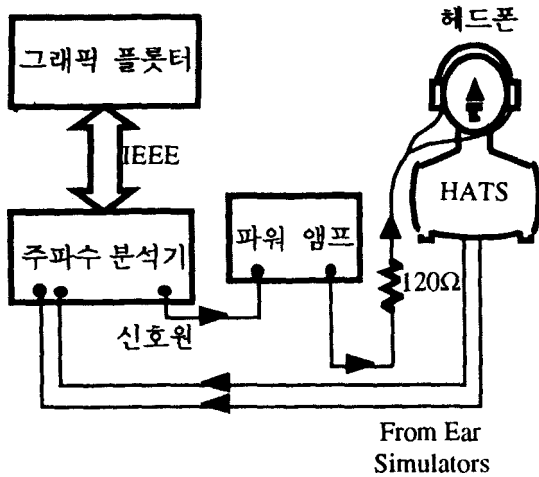


그림 10. HATS에 의한 헤드폰 측정 블럭도

사용한 헤드폰은 표 3과 동일하다. 한편 이렇게 하여 측정된 헤드폰의 특성은 또한 HATS의 머리, 귀와 컷바퀴의 효과까지 포함하고 있으므로, 귀-컷바퀴-머리의 영향없이 삽입이득 또는 헤드폰만의 주파수 특성을 구하기 위해서, HATS의 머리, 컷바퀴 및 외이도의 자유음장에서 음원에 대한 복합적인 효과를 정량적으로 나타낸 자유음장 전달함수(acoustic free-field transfer function or free field frequency response : 자유음장의 음원에서 고막까지의 주파수 특성)인 청취자 주파수 반응(Listener frequency Response : LFR)을 이용하였다. 이 LFR 특성은 4128 형 HATS에 대해 0°에서 입사한 음원에 대한 자유음장 음원에서 고막까지의 전체 주파수 특성이다. 그러므로 LFR 특성을 이용하면 헤드폰의 형태에 관계없이, 즉 circumaural, supraaural 및 intra-concha 형에 관계없이 헤드폰 착용시의 주파수 특성인 *in situ* 특성(P_h)과 LFR(P_o) 특성의 비교에 의해, 헤드폰 착용시의 주파수 특성이 어느정도 자연적인 특성인가를 알 수 있고, 이 P_h 와 P_o 의 차에 의해 헤드폰만의 특성 또는 삽입이득을 구할 수 있다.

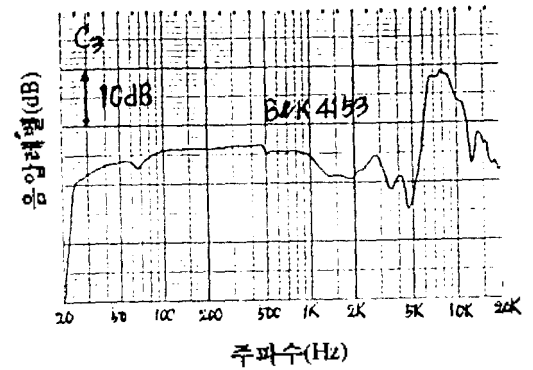
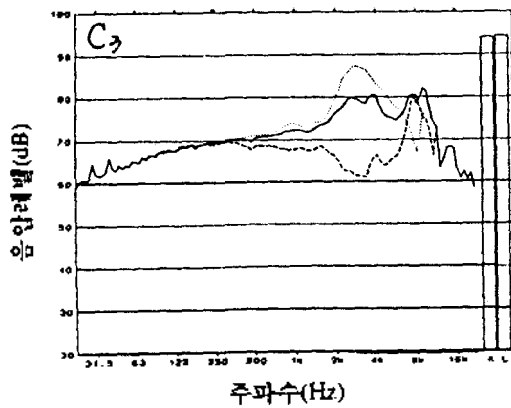
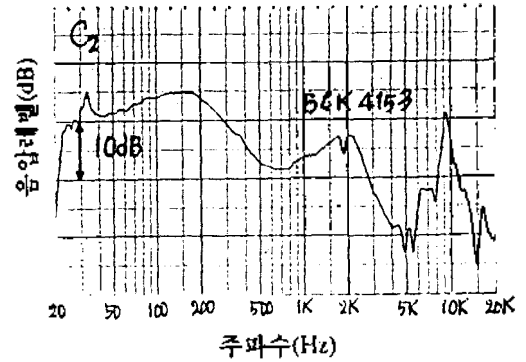
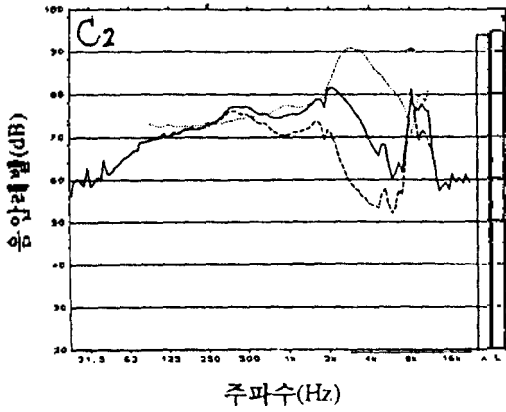
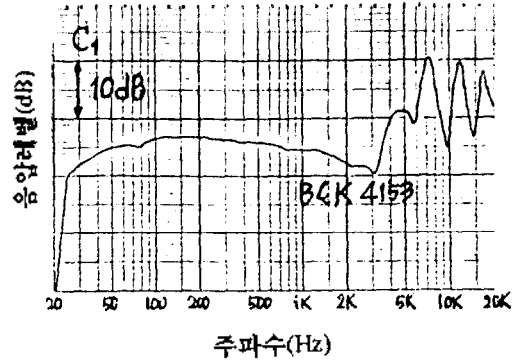
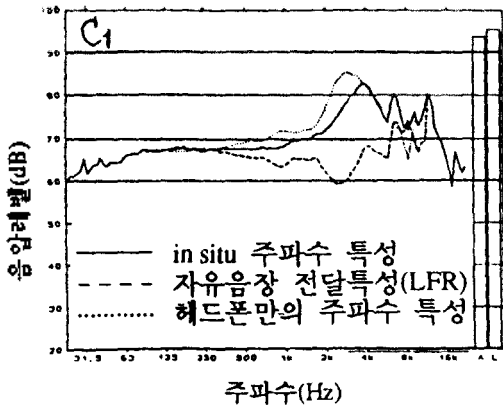
V. 결과 및 고찰

의사귀와 커플러를 이용한 측정방법과 HATS를 이용한 측정방법을 사용하여 표 3의 7개 헤드폰에 대해 주파수 특성을 측정한 결과를 circumaural 형은 그림 11에, supraaural 형은 그림 12에, 그리고 intra-

concha 형은 그림 13에 나타낸다. 각 그림에서 좌측은 HATS에 의한 측정결과를, 우측은 의사귀와 커플러에 의한 측정결과를 나타내고, HATS에 의한 측정결과에는 HATS에 헤드폰을 착용한 상태의 *in situ* 주파수 특성(P_h)을 실선으로, 자유음장 전달함수인 LFR 특성(P_o)을 점선으로, 그리고 헤드폰만의 주파수 특성(P_h-P_o)을 파선으로 나타내었다. 여기에서 HATS에 헤드폰을 착용한 상태의 주파수 특성과 자유음장의 주파수 특성인 LFR등을 비교함으로써 헤드폰 착용시의 *in situ* 특성이 어느만큼 자연적인 특성(LFR)에 가까운가를 확인할 수 있고, 그 결과가 가장 이상적인 헤드폰이라면 헤드폰만의 주파수 특성이 평탄한 특성일 것이다. 그리고 HATS에 의한 헤드폰 측정에서는 편의상 LFR특성이 244Hz에서 측정치와 일치하도록 정규화하여 나타내었다. 그리고 의사귀를 사용하여 측정한 결과는 circumaural 형인 경우 4153형에 의한 결과만을, supraaural과 intra-concha 형인 경우에 4153형과 4152형에 의한 결과를 함께 나타내었다.

그림 11의 circumaural 형 헤드폰의 측정결과에서는 HATS를 이용한 측정결과 중 파선으로 나타난 헤드폰만의 주파수 특성과 의사귀 4153 형을 이용한 헤드폰 측정결과 사이에 어느 정도의 유사성을 보이고 있으나, 두 방법 사이에 일정한 관련성을 찾기 어렵다고 생각한다. 이는 HATS에 의한 측정결과에서는 자유음장의 주파수 특성인 LFR(점선)과 헤드폰 착용시의 주파수 특성(실선)의 비교에 의해 그 헤드폰의 착용시의 *in situ* 특성이 어느만큼 자연적인 청취상태에 가까운가를 알 수 있으나, 의사귀에 의한 측정결과로서는 착용시의 헤드폰 특성을 추정하는 것은 곤란하다는 것을 의미한다.

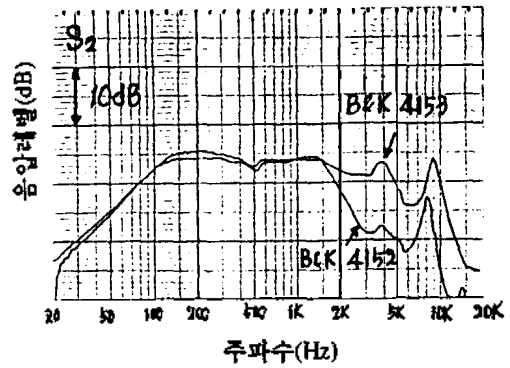
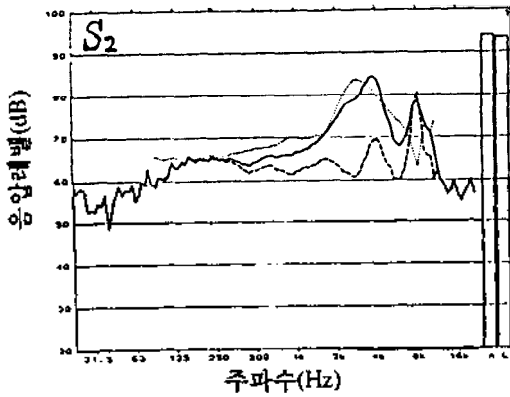
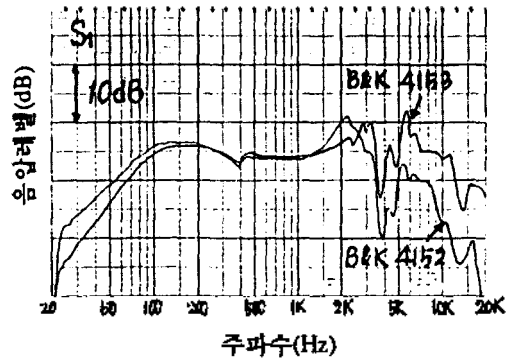
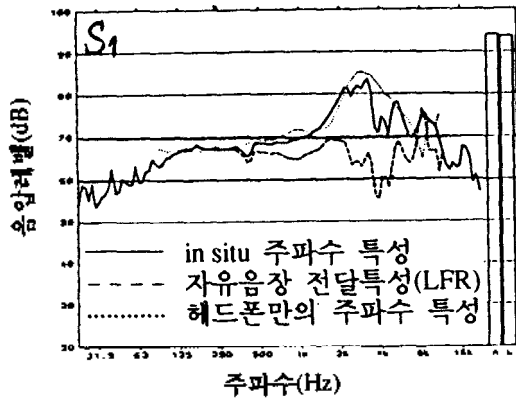
이와같은 경향은 supraaural 형 헤드폰의 측정결과(그림 12)와 intra-concha 형 헤드폰의 측정결과(그림 13)에서도 확인할 수 있다. 또 그림 12에서는 실험에 사용한 의사귀 4153형과 4152형에 따라 2kHz 이상의 주파수 특성에서 차이를 보이고 있는데, 이는 4152형에서는 사람의 귀의 용적만 모사한데 비해, 4153형에서는 이외에도 사람의 귀의 음향임피던스까지 모사한 점에서 4152형보다 어느정도 HATS에 의한 주파수 특성에 가깝지 않나 생각한다.



(a) HATS에 의한 측정결과

(b) 의사귀와 커플러에 의한 측정결과

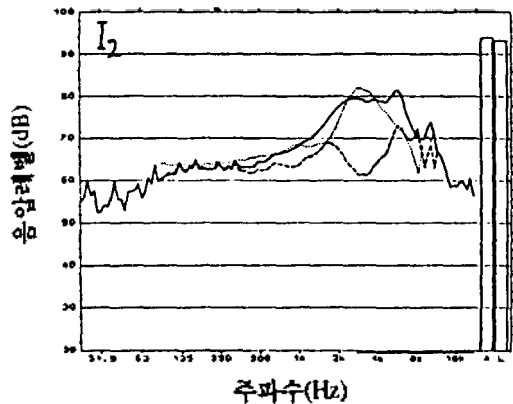
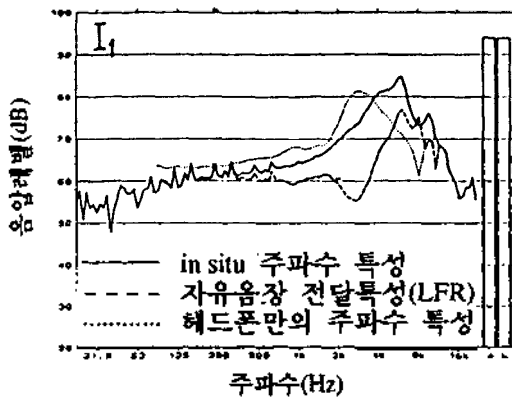
그림 11. circumaural형 헤드폰의 측정 결과



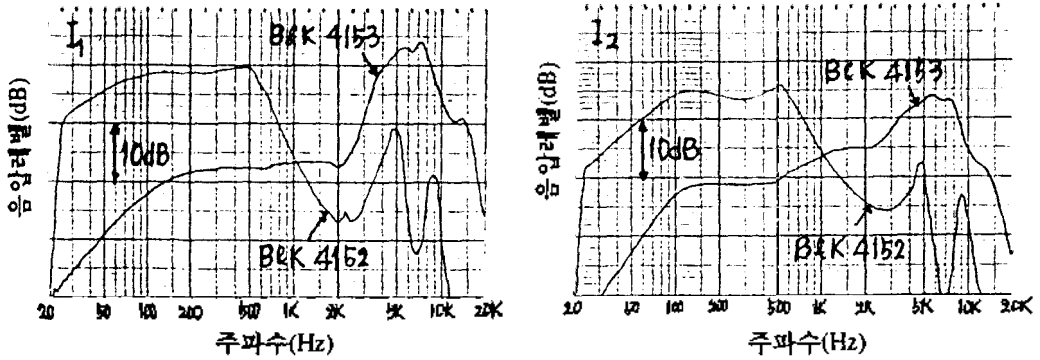
(a)HATS에 의한 측정결과

(b)의사귀와 커플러에 의한 측정결과

그림 12. supraaural 형 헤드폰의 측정 결과



(a)HATS에 의한 측정결과



(b)의 사위와 커플러에 의한 측정결과

그림 13. intr-concha형 헤드폰의 측정 결과

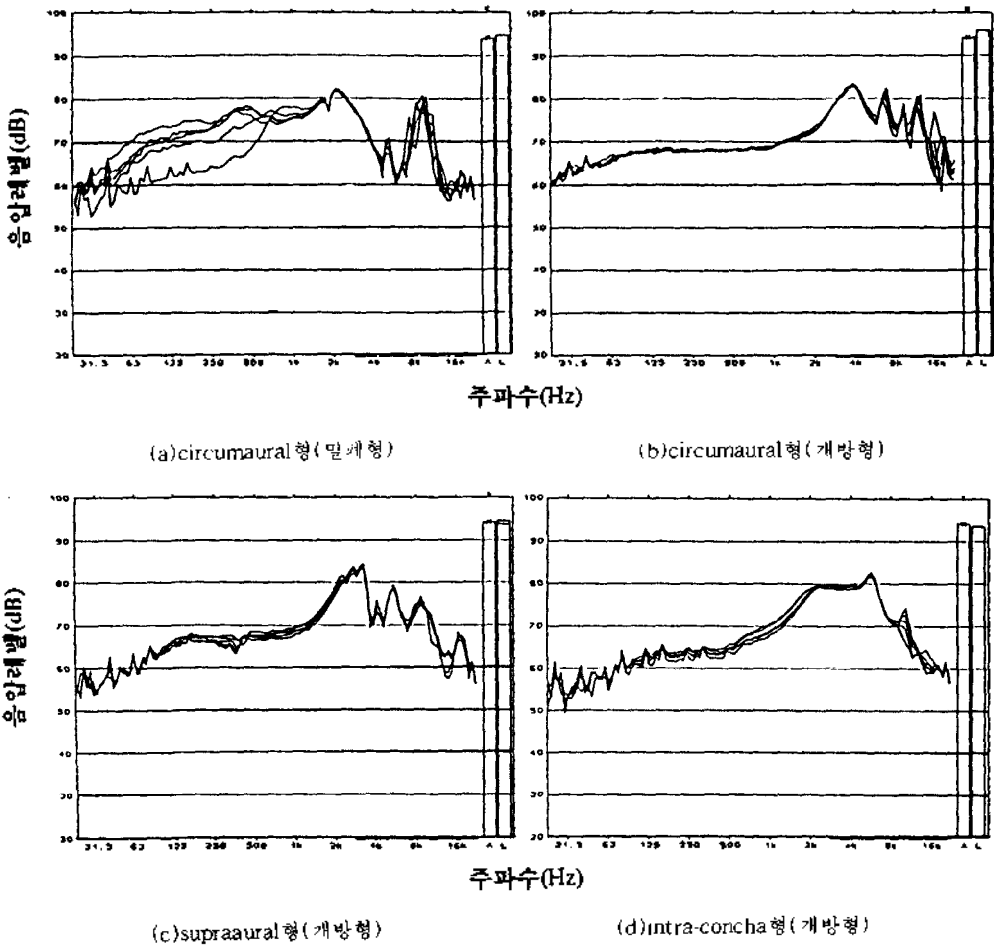


그림 14. 착용상태에 따른 헤드폰의 주파수 특성의 변화

한편 그림 13의 intra-concha형 헤드폰 측정결과를 두가지 의사귀 사이에서도 큰 차이를 보이는데, 이는 4152형의 2cc 커플러가 원래 보청기용 이어폰 측정에 사용되는 것이기 때문이라고 생각하며 결과적으로 intra-concha 형 헤드폰의 측정에는 부적합하다고 생각한다.

지금까지 살펴본 두가지의 헤드폰 측정방법에 의한 주파수 특성 측정 결과의 차이는, 저주파 부분에서는 부정확한 누설(leakage) 모사에, 고주파 부분에서는 커플러에 의한 사람의 귀의 음향 임피던스의 불충분한 모사, 커플러내에 있어서의 공명현상, 그리고 사람의 자연적인 청취상태에서 존재하는 머리의 회절효과를 커플러가 모사하지 못한 점등에 기인한다고 할 수 있다.

이상을 종합하면, 헤드폰 사용자가 다름아닌 사람이기 때문에 자연적인 청취상태에 입각한 헤드폰 착용시의 특성을 구하기 위해서는 HATS를 이용하는 것이 의사귀를 이용하는 것보다 보다 유리한 장점을 가지고 있다고 할 수 있을 것이다.

그러나 이러한 더미헤드 측정에서도 부분적으로는 사람의 귓바퀴의 탄성을 정확하게 모사하지 못했기 때문에, 또 부분적으로는 사람의 귀의 음향 임피던스를 정확하게 모사하지 못했기 때문에 저주파 부분에서 정확하지 않을 수도 있다는 문제점도 지적되고 있다.

한편 통상 헤드폰의 착용상태나 방법에 따른 특성의 변화를 확인하기 위하여 HATS를 사용하여 주파수 특성을 측정하였다. 즉, 실험에 사용된 헤드폰 중 밀폐형과 개방형인 2개의 circumaural형 헤드폰, 개방형인 supraaural 및 intra-concha형 헤드폰 각 1개를 이용하여 각각 5회에 걸쳐 측정된 주파수 특성을 그림 14에 나타낸다. 그림 14에 의하면 헤드폰의 형태, 즉 circumaural, supraaural, intra-concha 형에 따라서는 그 특성변화의 차이가 없고, 단지 그 헤드폰이 밀폐형인지 개방형인지에 따라 그 변화의 폭에 차이를 보이고 있다. 즉 밀폐형인 C: 헤드폰의 경우에 그 착용상태에 따라 특성 변화의 폭이 크며, 특히 500Hz 이하의 저역에서 그러한 경향이 두드러졌으나, 나머지 개방형 헤드폰에 대해서는 착용상태에 따른 특성변화는 없다. 이 밀폐형 헤드폰의 저역에서의 두드러진 변화는 귀와 헤드폰의 음향적 결합에 따른

누설의 변화가 착용상태에 따라 변하기 때문이라고 생각한다. 이러한 경향은 참고문헌 [4]에서도 볼 수 있다.

VI. 결 론

사람에 있어서 자연적인 청취상태에 입각한 헤드폰 측정방법에 대해 고찰해 보기위하여 HATS와 의사귀를 사용하여 헤드폰의 주파수 특성을 측정하였다. 측정결과 의사귀와 커플러에 의한 헤드폰 측정에서 사용하는 의사귀와 커플러에 따라 그 특성이 다를 뿐만 아니라, 의사귀에 의한 사람의 귀의 음향 임피던스의 부정확한 모사 및 사람의 머리의 회절효과를 나타내지 못하는 점 등에 의해 자유음장 주파수 특성과 차이를 보여, 결과적으로 어떠한 특성이 실제 헤드폰을 사용하는 사람에 있어 가장 자연적인 특성인가를 알기 어려웠다.

반면에 HATS를 이용하면 사람의 귀의 음향임피던스, 머리의 회절효과 등의 보다 정확한 모사에 의해, 사람의 자연적인 청취상태의 주파수 특성인 자유음장 특성과 헤드폰 착용시의 *in situ* 주파수 특성의 비교를 통해 사람의 자연적인 청취상태에 입각한 주파수 특성을 측정할 수 있었기 때문에, 종래의 의사귀에 의한 측정에서는 명확하지 않았던 사람에 있어서 가장 자연적인 헤드폰 특성의 의미를 명확하게 나타낼 수가 있고, 또 자유음장 전달 특성을 이용하여 종래에는 불가능했던 형식이 다른 각종 헤드폰의 특성의 통일적 비교가 가능함을 알 수 있었다. 그러나 HATS의 귓바퀴가 실제 사람의 그것보다 두껍게 모사되었기 때문에 전형적인 헤드밴드의 힘으로써는 실제 사람의 귀에 커플링 되는 것보다는 약해, 결과적으로 저주파 부분에서 정확하게 누설을 모사하지 못하는 점 등이 지적되고 있기도 하다. 그러므로 앞으로는 이러한 물리적 특성의 보완과 아울러 실제 사람을 이용한 음량평형법이나, 정조동화계에 기초를 둔 실이측정, HATS 측정 및 커플러 측정을 비교해 봄이 바람직할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

1. 坪原達也, 上田和夫, "聽覺實驗用ヘッドフォンの檢討," 日本音響學會講演論文集, 2-2-4, pp.378-379(1989.10).

2. IEC Pub.268-7, Sound System Equipment-Part 7 "Headphones and headsets"(1984).
3. Rodolfo Ceruti, "Classification of earphone patterns with respect to coupling attachment to the ear," Telecom Electroacoustics Workshop, Appendix B, Bruel & Kjaer, Naerum Denmark(1988.10).
4. 岡部 馨, 三浦種敏, "데미헤드によるヘッドホン測定," JAS Journal '85-6月号, pp.18-26(1985).
5. L.L.Beranek, *Acoustic Measurements*, John Wiley & Sons, New York(1950).
6. Kazuo Ueda & Tatsuya Hirahara, "Frequency response of headphones measured in free field and diffuse field by loudness comparison," *J.Acoust.Soc. Jpn.* (*EJ12*, 3, pp.131-138(1991).
7. M.R.Stinson & E.A.G.Shaw, "Wave effects and pressure distribution in the human ear canal," *J. Acoust.Soc. Am.*73, Supp.1, s59-60(1983).
8. H.Miura, K.Muto, T.Takahashi, & H.Kado, "Calibration of headphones by the method of free field comparison," *Tech.Rep. Electr. Acoust. Soc. Jpn.* EA85-2 (1985).
9. A.H.Inghis, "Transmission feature of new telephone sets," *Bell.Syst.Tech.J.*17, pp.358(1938).
10. IEC Pub.118-8, "Measurements of hearing aids under simulated in situ working conditions"(1983).

▲강 경 목

11권 1호 참조

▲강 성 훈

제9권 1호 참조