

정현파 스윙 신호로 측정된 머리전달함수의 분석

Analysis of HRTF measured with sine sweep signal

주용원† · 박영진* · 박윤식** · 이석필***

Yongwon Ju, Youngjin Park, Youn-sik Park and Seokpil Lee

1. 서 론

3차원 입체음향을 구현하기 위해서는 머리주변 임의의 위치에 있는 음원에서 방사된 음파와 양 귀 고막에 도달하는 음파간의 전달함수를 사용하게 되며 이를 머리전달함수라고 한다. 3차원 입체 음향을 구현하거나 그에 대한 연구를 하기 위해서는 머리전달함수의 데이터베이스 구축이 필요하다. 이러한 이유로 국내외 많은 연구실과 연구센터에서 머리전달함수 측정시스템을 개발하여 머리전달함수 데이터베이스를 구축했다. 그러나 국내외 연구실에서 구축한 대부분의 머리전달함수 데이터베이스는 통계적으로 의미를 찾기 어려운 적은 수의 피실험자를 대상으로 구축되어 있다는 문제점이 있다. 본 실험실에서 측정하여 보유하고 있는 머리전달함수의 경우, Fig. 1과 같이 0°, 90°간격마다 원하지 않은 불연속적인 구간이 나타나 연속적인 소리의 재생시 소리의 끊어짐이 발생하는 문제점도 존재한다. 이러한 문제점은 긴 측정시간으로 인한 피실험자의 자세와 eartips의 위치변화 때문에 발생한다⁽¹⁾. 충분히 많은 수의 피실험자를 대상으로 하는 데이터베이스의 구축과 Fig 1에서 발생한 문제 해결을 위해서 짧은 측정시간을 가지는 머리전달함수 측정시스템의 개발이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 측정시간을 줄일 수 있는 정현파 스윙 신호(sine sweep signal) 측정방법을 제안하고 3~4시간의 긴 측정시간을 가지는, 백색잡음 신호(white noise signal)을 이용한 기존의 방법⁽²⁻⁵⁾

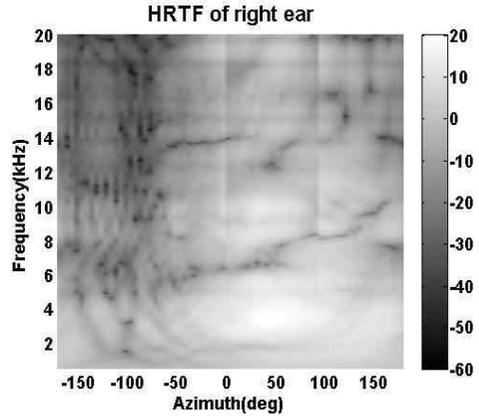


Fig 1 The magnitude spectra of a HRTF of right ear at elevation -20°. HRTF discontinuity is occurred near azimuth 0°, 90°⁽²⁾.

과 비교 및 분석을 통하여 정현파 스윙 신호 측정방법으로 데이터베이스 구축이 가능함을 보인다.

2. 정현파 스윙 신호 방법

정현파 스윙 신호는 원하는 주파수 대역을 연속적으로 가진시켜주는 신호이다. 이러한 정현파 스윙 신호는 선형 또는 로그 등 다양한 방법으로 가진시켜 줄 수 있다. 선형 정현파 스윙 신호는 저주파수 대역에서 고르지 못한 스펙트럼 에너지 분포를 가지는 문제점과 리플이 발생하는 문제점을 가지고 있다⁽⁶⁾. 문제점은 저주파수 대역에서 신호가 가진되는 시간이 짧기 때문에 발생한다. 반면에, 로그 정현파 스윙 신호를 사용할 경우 저주파수 대역에서 신호가 가진되는 시간이 길기 때문에 위와 같은 문제는 발생하지 않는다⁽⁶⁾. 본 논문에서는 로그 정현파 스윙 신호 측정방법을 택하였다. 로그 정현파 스윙 신호는 w_1 에서 w_2 까지의 주파수를 시간 T초 동안 가진시켜준다고 할 때, 다음 식 (1)과 같다⁽⁷⁾.

† 교신저자; KAIST 기계공학과
E-mail: jyongw@kaist.ac.kr
Tel : (042) 350-3076, Fax : (042) 350-8220
* KAIST 기계공학과
** KAIST 기계공학과
*** KETI 디지털미디어센터

$$x(t) = \sin\left[w_1 \frac{T}{c} (e^{tc/T} - 1)\right] \quad (1)$$

여기서, c/T 는 slew rate며, 이 때 $c = \ln(w_2/w_1)$ 이다. 식 (1)에서 알 수 있듯이 정현파와 스위프 신호는 가진되는 주파수 대역뿐만 아니라 가진되는 시간까지 조절이 가능하기 때문에, 짧은 시간동안 가청주파수 대역의 머리전달함수의 측정 및 데이터베이스 구축이 가능할 것으로 판단된다.

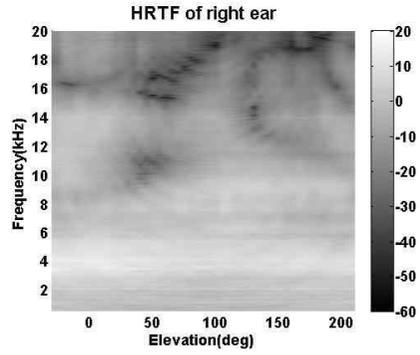
3. 측정 방법에 따른 머리전달함수

전주파수 대역의 백색잡음 신호와 가청주파수 대역의 정현파와 스위프 신호를 이용하여 Table 1과 같은 상태로, 무향실에서 머리전달함수를 측정하였다. 본 실험실에서 백색잡음신호를 이용하여 구축한 데이터베이스의 측정점은 1469개이며, 측정장치의 움직임을 제외한 머리전달함수 측정시간은 약 50분이다. 측정시간을 5분 이내로 단축시키기 위해서, 실험에서는 정현파와 스위프 신호를 이용하여 100ms의 짧은 시간동안 머리전달함수를 측정하였다.

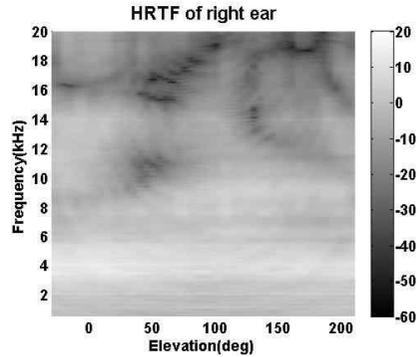
Table 1 Experimental setup

Features	Specifications
Sound sources	white noise signal(1s)
	sine sweep signal (sweep duration 100ms)
source position	median plane
Sampling frequency	44100Hz
NFFT(# of FFT)	1024
frequency resolution	about 43Hz

실험을 통해 구한 정중면(median plane)에서의 머리전달함수는 Fig 2와 같다. 그림을 통해, 백색잡음과 정현파와 스위프 신호로 측정된 머리전달함수는 peak와 notch 패턴의 차이가 거의 없음을 알 수 있다. 차이의 정도를 명확하게 알기 위해 Fig 3과 같이 고도각에 따른 머리크기함수의 차이를 구해보았다. 고도각 100°, 160°~190°의 18kHz이상 주파수 대역에서 머리전달함수의 차이가 상대적으로 크게 나타났다. 차이는 nyquist 주파수가 22.05kHz로 18kHz이상의 고주파수에서는 aliasing으로 인한 신호처리의 신뢰성이 떨어지기 때문에 발생한다. 이를 통해 측정된 머리전달함수의 관심주파수 대역을 18kHz까지로 봐야 함을 알 수 있으며, 정현파와 스위프



(a)



(b)

Fig 2 The magnitude spectra of a HRTF of right ear on median plane. (a)using white noise signal (b)using sine sweep signal

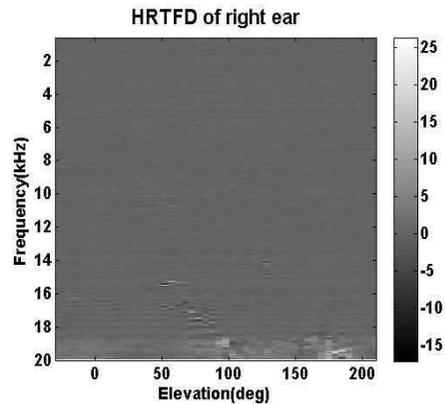


Fig 3 The magnitude difference of HRTF between two measurement method

신호를 이용하여 짧은 시간으로 머리전달함수의 데이터베이스 구축이 가능함을 알 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 정현파 스위프 신호로 측정된 머리 전달함수를 분석하였다. 분석 결과를 통해, 100ms의 짧은 시간으로도 백색잡음을 이용한 기존의 측정방법과 같은 경향을 가지는 머리전달함수의 측정이 가능함을 알 수 있었다. 이러한 정현파 스위프 신호 측정방법을 이용한다면, 머리전달함수의 데이터베이스 구축 시 소요되는 시간의 단축이 가능할 것이다.

후 기

이 논문은 정부(지식경제부)의 재원으로 산업원천 기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 10037244).

참 고 문 헌

(1) J. Yongwon, P. Youngjin, P. Youn-sik, and L. Seokpil, 2010, Calibration of measured head-related transfer function, ICCAS2010, Gyeonggi-do, Korea.

(2) L. Yunjae, P. Youngjin, and P. Youn-sik, 2009, Newly Designed HRTF Measuring System, ICROS-SICE International Joint Conference 2009.

(3) C. I. Cheng and G. H. Wakefield, 2001, Introduction to head-related transfer functions (HRTFs): Representations of HRTFs in time, frequency, and space, Journal of the Audio Engineering Society, vol. 49, no. 4, pp. 231-249

(4) T. Nishino, N. Inoue, K. Takeda and F. Itakura, 2007, Estimation of HRTFs on the horizontal plane using physical features, Applied Acoustics, Vol. 68, pp 897-908

(5) S. Horihata, Z. Zhang, T. Miyake and T. Imamura, 2006, Development of 3-D Sound Localization System by Binaural Model, Engineering Asset Management, pp 513-517

(6) S. Muller and, P. Massarani, 2001, Transfer-Function Measurement with Sweeps, J. Audio Eng. Soc., vol. 49, pp. 443-471

(7) P. Majdak, P. Balazs and B. Laback, 2007, Multiple Exponential Sweep Method for Fast Measurement of Head-Related Transfer Functions, J. Audio Eng. Soc., Vol. 55