

# 고 음질 입체 음향 재생 시스템 구현

이신렬, 성평모

서울대학교 음향공학 연구실

Implementation for High Quality 3-D Sound Reproduction System

Sin-lyul Lee, Koeng-Mo Sung

E-Mail : sinlyul@acoustics.snu.ac.kr

## Abstract

입체음향 생성을 위한 기존의 방법은 크게 바이노럴 녹음기법과 머리전달함수(HRTF)를 이용한 바이노럴 합성 기법으로 크게 나눌 수 있다. 바이노럴 기법으로 생성된 이러한 입체음향은 재생을 위해 역 필터와 Equalization 곡선을 선택하게 되는데 이것은 음질에 중요한 영향을 주게 된다. 본 논문은 재생시 음질의 향상을 위해 적합한 역 필터 설계와 Equalization 곡선의 선택방법을 제시하고 트랜스오럴 시스템 설계 시 신호처리로 인한 음질의 저하를 최소화하기 위해 스피커의 위치를 청취자의 머리 뒤에 놓는 방법을 제안하고자 한다. 그리고 청취자의 정면에 스피커를 한 개 추가하여 정면의 음상을 강화하고 3 채널 바이노럴 녹음기법[1]으로 만들어진 음원에 대한 호환성을 갖게 한다. 마지막으로 이 제안된 모든 방법들을 실시간으로 재생하는 시스템을 구현한다.

### 1. 서론

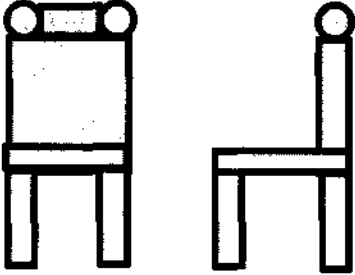
지금까지 소개된 입체음향 시스템은 크게 3가지로 분류할 수 있다. 첫 번째로 기존의 스테레오 재생방법과의 호환성과 저렴한 가격을 위해 최소한의 신호처리를 해준 "측면 소리 강화 방법"(lateral sound boost)이 있는데 초기에 나온 SRS, Spatializer 등으로 이 방법은 음질의 저하와 음상정위의 모호함으로 인해 저렴하다는 장점이 있음에도 불구하고 과거에 비해 점점 사용이 줄어들어 추세이다. 두 번째로 여러 개의 스피커를 사용하여 청취자의 몰입감을 증대시키는 방법으로 Dolby사의 제품군(Dolby Prologic, Dolby Digital)과 DTS, THX 등이 있다. 현재 극장과 Digital TV, DVD등에서 널리 사용되는 방법으로 청취자의 몰입감을 증대시키는 가장 좋은 방법으로 알려져 있다. 그러나 비용이 많이 들고 현장감과 음상 정위가 제대로 이루어지지 않아 현재 Dolby의 경우 THX와의 공동연구를 통해 EX 버전으로 스피커를 계속 추가하는 방향으로 가고 있고 이에 DTS도 ES버전으로 스피커를 계속 추가하고 있다. 그러나 Quadra Phonic recoding에서 발전된 이런 재생방법들은 고질적인 문제인 양 스피커 사이의 음상정위가 제대로 이루어지지 않아 앞으로 스피커를 계속 추가하여 청취공간의 제약과

고비용이라는 문제점을 해결해야하는 숙제를 가지고 있다. 마지막으로 첫 번째 방법과 두 번째 방법의 장점을 모두 고려한 방법이다. 이 방법은 2개의 채널로 신호처리를 통하여 음상정위와 몰입감을 주는 방법인데 신호처리기술의 발달과 저렴한 DSP의 등장으로 활발히 연구된 분야이다. 이 방법은 바이노럴 기법으로 생성된 입체음향에 적절한 Equalization을 하여 트랜스오럴 시스템을 통하여 2개의 스피커로 출력하는 방법과 트랜스오럴을 거치지 않고 헤드폰으로 듣는 2가지 방법으로 나뉘어진다. 2가지 방법 모두 역 필터 설계와 Equalization 곡선의 선택문제에서 신호처리로 인한 음질저하로 현재 그 성능이 첫 번째 방법과 두 번째 방법의 중간정도 되고 있고 그 비용 또한 그러하다.

본 논문은 세 번째 방법을 개선한 방법이다. 우선 역 필터 설계하는 데 있어서 위상을 고려하고 주파수 응답의 과도한 피크와 딥을 줄이기 위해 1/3 옥타브 대역 필터 사용을 제안한다. 그리고 물리적으로 크로스토크를 최소화하기 위해 스피커를 청취자의 머리 뒤에 위치시키는 방법은 신호처리에 의한 음질의 왜곡을 최소화하고 더불어 청취자의 머리 뒤에 음상정위 시키는 문제를 해결할 수 있다. 여기서 사용되는 Equalization 곡선은 청취자가 듣게되

는 음원에 따라 선택적으로 사용하게 된다. 마지막으로 정면의 음상정위와 3 채널 바이노럴 녹음기법 [1]으로 만들어진 음원에 대한 호환성을 갖게 하기 위해 정면에 스피커를 추가한다.

## 2. 고 음질 입체음향 재생 시스템의 외형



[그림 1] 고 음질 입체음향 재생 시스템의 외형

의자의 headrest 부근에 스피커를 두 개 위치시키고 외부에 스피커를 한 개 더 위치시킨다.

headrest 부근에 위치한 스피커는 반대편 스피커에서 오는 소리를 머리에 의해 shadowing 시켜 트랜스오럴 필터링의 신호처리시 유용하게 만들어 준다. 외부에 한 개 더 위치되는 스피커는 정면의 음상정위를 강화시키고 monopole-dipole 스피커 어레이 사에는 L+R의 출력 채널로 사용된다.

### 2.1 음원에 따른 Equalization 곡선 선택

게임, 음악(클래식, 재즈, 팝), 영화(stereo, Dolby 제품군, DTS, THX) Equalization 곡선은 "Weighted Diffuse-field Equalization" 기법을 사용한다. 이 기법은 액센트 마이크를 장착한 3 채널 더미헤드를 사용하여 정면 음상 정위에 강인하고 음질의 저하가 없으며 스테레오 호환성도 뛰어난 가장 자연스러운 "Weighted Diffuse-field" 곡선을 찾을 수 있으며, 전향실, 무향실과 같은 특정공간이 필요한 한계를 극복할 수 있으며 녹음이 진행되는 바로 그 공간에서 녹음 음원에 따른 "Diffuse-field Equalization" 곡선을 구할 수 있다.[1][4]

이 기법을 이용하여 음악과 영화의 경우 유명 오페라 하우스, 재즈바, 콘서트 홀, 극장의 음향학적으로 좋은 위치로 판정된 자리에서 Equalization 곡선을 구하고 게임의 경우는 게임에 대한 현장감과 몰입감을 위해 게임의 내용의 현장에서 Equalization 곡선을 측정하거나 그렇지 못한 경우에는 10° 1/3 octave averaging free-field 정면 응답을 Equalization 곡선으로 한다.[5]

### 2.2 신호 처리

#### 2.2.1 역 필터

스피커의 특성을 보상하기 위한 역 필터링의 경우에는 위상까지 고려할 필요는 없으나 트랜스오럴 시스템에 들어가는 역 필터의 경우에는 위상까지 고려하여야 한다.[2][6] 그리고 샘플링 주파수 부근에서의 roll off 현상은 역 필터를 만들 때에 큰 피크를 만들어 음질을 저하시키는 주된 요인으로 작용한다.[2] Regularization은 이런 큰 peak나 deep을 줄여 음질의 손상을 막는다.[2]

$$H(z) = \frac{C(z^{-1})A(z)}{C(z^{-1})C(z) + \beta B(z^{-1})B(z)} z^{-m}$$

$H(z)$ 는 역 필터,  $C(z)$ 는 임의의 위치에서 청취자 귀까지의 HRTF이다. 여기서  $B(z)$ 를 통해 필터의 통과 대역과 저지대역을 만들어 주고  $\beta$ 는 크기를 설정해 준다. 그리고  $A(z)$ 와  $z^{-m}$ 를 이용하여 역 필터를 causal하게 만들어 준다.[6]

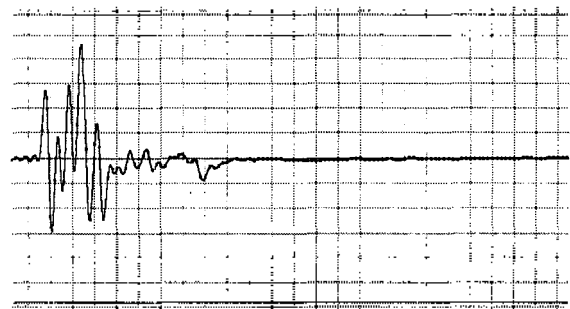


그림 2 MIT의 왼쪽 30도에서 왼쪽 귀로의 diffused field equalized HRIR..

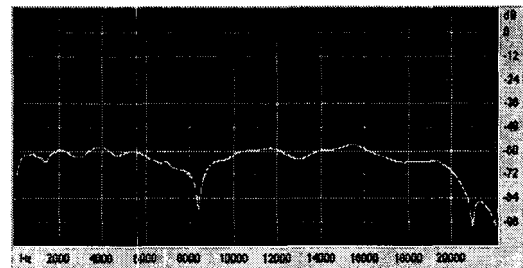


그림3 MIT의 왼쪽 30도에서 왼쪽 귀로의 diffused field equalized HRIR..

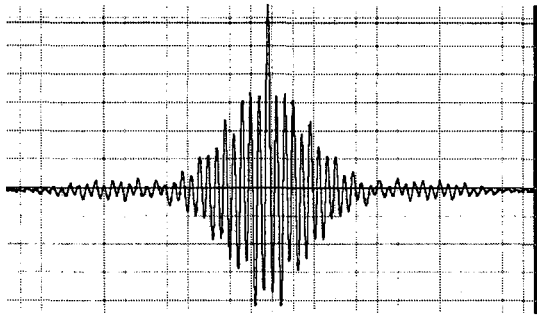


그림 4 위상과 샘플링 주파수에서의 roll off를 고려하지 않은 역필터

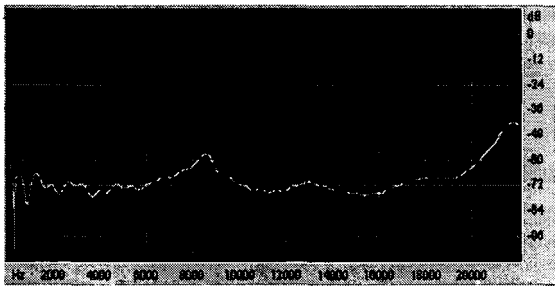


그림 5 위상과 샘플링 주파수에서의 roll off를 고려하지 않은 역필터의 스펙트럼

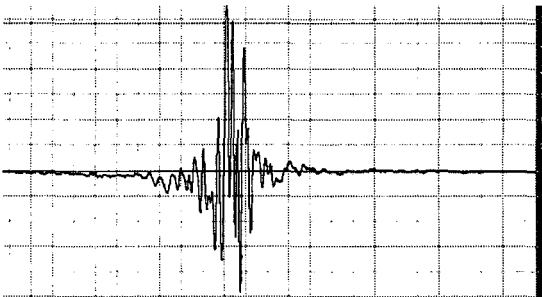


그림 6 위상과 샘플링 주파수에서의 roll off를 고려한 역필터

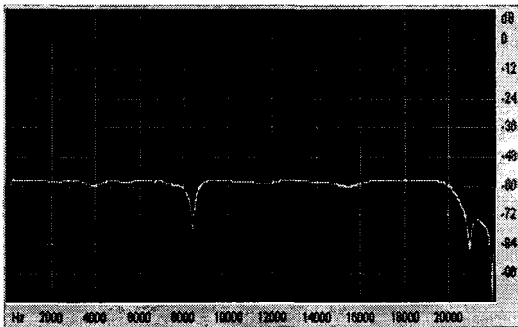


그림 6 위상과 샘플링 주파수에서의 roll off를 고려한 역필터의 스펙트럼

그림 4와 6을 보면 그림4에 비해 그림6이 평탄하고 고주파가 감쇠 되는 것을 볼 수 있다.

그러나 그림 6에서도 deep이 보이는데 이것은 음질을 저하시키는 요소가 될 수 있다.

본 논문에서는 1/3 옥타브 대역 필터링으로 이 급격한 deep 부분을 부드럽게 만들어 음질을 향상시키는 방법을 제안한다.

## 2.2.2 트랜스오럴 시스템

입체음향을 재생하는데는 헤드폰 재생과 스피커 재생이 있다. 헤드폰 재생의 경우 Equalization을 해준 뒤 재생하고 스피커 재생은 트랜스오럴 시스템을 거친 후 재생된다. 본 논문에서는 monopole-dipole 기법[3]을 응용한 트랜스오럴 시스템을 제안한다. 이 기법은 monopole 스피커와 dipole 스피커를 조합시킨 스피커 어레이의 한 방법으로 본 논문에서는 dipole 대신 monopole 스피커를 두 개 더 사용하여 한 쪽을 역상으로 만든 뒤 출력시키는 방법과 동상으로 하여 출력시키는 방법을 제안한다. 이 방법은 음압의 출력을 높이고 음질의 향상을 위한 방법이다. 역상의 경우에 monopole 스피커에는 L+R dipole 서로 역상의 스피커에는 L-R의 신호를 주게 된다.[3]

$$H = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{1}{2F} & 0 \\ 0 & \frac{1}{2(S-A)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$$

위의 수식에서 F는 정면에 위치되는 스피커에서 청취자 귀로의 HRTF, S는 오른쪽(왼쪽) 스피커에서 오른쪽(왼쪽) 귀로의 HRTF, A는 오른쪽(왼쪽) 스피커에서 왼쪽(오른쪽) 귀로의 HRTF이다. 위의 수식은 Headrest에 위치한 스피커가 동상으로 재생될 때의 수식이고 역상으로 재생될 때의 수식은 다음과 같다.[3]

$$H = \begin{bmatrix} \frac{1}{2F} & 0 \\ 0 & \frac{1}{2(S-A)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$$

## 2.2.3 블룸라인 필터링

이는 자신의 머리를 사용하지 않고 더미헤드로 녹음할 경우 더미헤드의 양 귀 사이의 시간차가 자신과 조금이라도 다를 경우 심각한 음질의 저하와 음

상 정위 저하를 가져오게 된다. 이는 양 귀 시간차를 없애고 저주파수 L-R 신호 보강을 위한 "Blumlein shuffling filter[8]"를 사용하면 된다.

### 3. 실시간 처리

Motorola 의 DSP56362를 이용하여 구현되며 이 DSP에는 Dolby Digital, DTS, THX 등의 decoding 이 마스킹 되어 있어 영화의 경우 6채널로 decoding된 음원을 2채널로 적절한 신호처리를 이용하여 downmix한 후 사용되어진다.[7]

### 4. 결론

현재 이 시스템은 A&D engineering과 함께 특허출원중이고 계속적으로 더욱 향상된 음질을 위해 테스트 중이다. 향후 계획으로는 의자에 Subwoofer를 추가하여 플 전도 효과를 주고 저음을 강화할 계획이다.

### 5. 참고 문헌

- [1]이신렬, 성평모, "3 채널 바이노럴 녹음기법에 관한 연구," 2000하계 음향학술 발표 대회, 발표예정
- [2] O. Kirkeby, P.A. Nelson, H. Hamada, and F. Orduna-Bustamante, "Fast deconvolution of multichannel systems using regularization", *IEEE Trans. Speech Audio Processing*, Vol. 6,pp. 189-194,1998
- [3] D. H. Cooper and J. L. Bauck, "Generalized Transaural Stereo and Applications" *J. Audio Eng. Soc.*, Vol. 44, No.9, 1996
- [4] J.-M. Jot , V. Larcher and G. Vandermoot , "Equalization methods in binaural technology" *J. Audio Eng. Soc.*,1998
- [5] O. Kirkeby, P.A. Nelson and H. Hamada, The "stereo dipole" -a virtual source imaging systems using two closely spaced loudspeakers, *J. Audio Eng. Soc.* 46(5), 387-395
- [6] O. Kirkeby, P.A. Nelson and H. Hamada, "Digital filter design for virtual source imaging systems", presented at the 104th convention of the Audio Engineering Society in Amsterdam, May 16-19,1998, AES preprint 4688 P1-3. Submitted *J. Audio Eng. Soc*
- [7] Motorola, "24-Bit Digital Signal Processor User's Manual", Incorporated Semiconductor Products Sector DSP Divison.1999
- [8] D. Griesinger, "Equalization and spatial equalization of Dummy-head recording for loudspeaker reproduction"