

# 스테레오 시스템을 위한 머리전달함수의 개선

## HRTF Enhancement Algorithm for Stereo Sound Systems

구 교 식\*, 차 형 태\*  
(Kyo-Sik Koo\*, Hyung-Tai Cha\*)

\*송실대학교 전자공학과

(접수일자: 2008년 2월 20일; 수정일자: 2008년 3월 20일; 채택일자: 2008년 4월 1일)

입체음향을 구현하는 방법으로는 다수의 스피커를 사용하는 다채널 음향재생 시스템과 2개의 스피커나 스테레오 헤드폰을 이용하는 2채널 음향재생 바이노럴 시스템이 있다. 그 중에서 공간 및 비용 상의 문제로 인하여 2채널을 이용한 음향재생 시스템이 주목을 받고 있다. 일반적으로 2채널로 입체음향을 재생하기 위해서는 소리가 음원으로부터 청자의 두 귀에 이르는 경로를 모델링한 머리전달함수 (HRTF : Head Related Transfer Function)를 이용하지만 혼돈원추 상에서 음상정위의 혼돈을 주게 되므로 입체감을 저하시킨다는 단점이 있다. 본 논문에서는 2채널 입체음향 시스템을 효과적으로 구현하기 위하여 머리전달함수를 개선하는 알고리즘을 제안한다. HRTF 그룹화 및 심리음향을 이용하여 각 방향에 해당하는 주파수 스펙트럼 특성을 부각시키는 방법을 적용하였으며 시뮬레이션을 통하여 제안한 알고리즘이 정확한 방향감을 생성할 수 있음을 확인하였다.

**핵심용어:** 머리전달함수, 3D 입체음향, 음상정위, 심리음향, 가상현실

**투고분야:** 전기음향 분야 (3.5)

To create 3D sound, we usually use two methods which are two channels or multichannel sound systems. Because of cost and space problems, we prefer two channel sound system to multi-channel. Using a headphone or two speakers, the most typical method to create 3D sound effects is a technology of head related transfer function (HRTF) which contains the information that sound arrives from a sound source to the ears of the listener. But it causes a problem to localize a sound source around a certain places which is called cone-of-confusion. In this paper, we proposed the new algorithm to reduce the confusion of sound image localization. HRTF grouping and psychoacoustics theory are used to boost the spectral cue with spectrum difference among each directions. Informal listening tests show that the proposed method improves the front-back sound localization characteristics much better than conventional methods.

**Keywords:** Head related transfer function, 3D Sound, Sound localization, Psychoacoustics, Virtual reality

**ASK subject classification:** Electro-Acoustic (3.5)

### I. 서론

오늘날 멀티미디어의 기술의 발전은 영상과 음향에 대한 전반적인 기술의 발전을 가져왔다. 영상분야에 있어서는 화려한 색상과 넓은 화면, 고선명 화질, 3D 영상에 이르기 까지 눈부신 발전을 보여 왔다. 이에 따라 음향 분야에서도 역시 좀 더 현실감 있는 사운드를 만들기 위한 많은 노력이 있어 왔다. 단순히 소리를 재생하던 단계에서 벗어나 원음에 가까운 실제적인 소리를 생성할 수 있는 3차원 입체음향 시스템으로 발전하고 있는 것이다.

입체음향이란 모노음의 음의 고저, 음색, 음원의 방향이나 거리감을 조절하여 듣는 사람으로 하여금 현장감이나 입체감을 가지게 하는 음향이다. 가상현실의 경우 입체음향은 현실감을 높이는 중요한 감각정보 중 하나로서 발생하는 사운드에 대하여 청취자가 공간적인 인식이 가능하도록 음향적인 효과를 발생하는 것을 의미한다 [1]. 이러한 음향을 구현하기 위하여 DVD 등에서는 5.1 채널 등의 다채널 음향재생 시스템을 적용하고 있다. 그러나 다채널 음향재생 시스템은 스피커를 설치하기 위한 공간이나 비용 등의 문제가 발생하게 된다. 따라서 2개의 채널로 입체음향을 구현하는 바이노럴 시스템이 주목을 받고 있으며 대표적인 방법으로는 머리전달함수를 이용한 방법을 들 수 있다. 머리전달함수는 소리가 귓바퀴의 영

향으로 그 발생위치에 따라 다르게 들리는 현상을 표현한 함수로 실제 사람이 음원에 대한 공간지각을 느낄 수 있는 단서들을 포함하고 있다. 따라서 머리전달함수를 이용하여 삼차원 공간지각을 생성하는 것은 각종 하드웨어에서 기본으로 구현되어지고 있다 [2]. 그러나 머리전달함수를 개개의 사람마다 측정하고 모델링 하는 것은 많은 시간과 노력을 요구하는 일이나 대부분의 경우 표준화된 모델에 대하여 측정한 자료를 그대로 사용하고 있으므로 입체음향의 성능이 떨어지는 현상이 발생한다. 특히 혼돈원추 상에서는 상/하, 전/후 등의 방향에 대해 정확한 방향을 판별할 수 없게 된다. 따라서 본 논문에서는 이러한 단점들을 보완하여 2채널 음향재생 시스템에서 머리 전달함수를 이용하여 입체음향을 생성하는 경우 음상정위에 대한 혼돈을 개선하기 위한 알고리즘을 제안하고자 한다.

본 논문의 2절에서는 머리전달함수를 이용한 입체음상정위 기술에 대해 서술하고 제 3절에서는 제안한 알고리즘에 대해 설명한다. 이어 제 4절에서 테스트를 통한 실험 결과를 제시하며 마지막으로 5절에서 결론을 맺는다.

## II. 머리전달함수를 이용한 입체음향 생성

음원이 발생한 공간 내에 있는 청취자의 양쪽 귀에 마이크로폰을 각각 설치하여 녹음한 신호를 바이노럴 신호라 하며 사람이 두 귀만으로 소리의 방향을 인지할 수 있다는 사실에 착안하여 양쪽 귀에 들리는 소리를 두 개의 채널을 사용하여 스피커나 헤드폰으로 재생하는 기술을 말한다. 음원과 음상은 공간적 특성이 반드시 일치하지 않으며 음원과 음상이 일치할수록 좋은 음질의 입체음향이 구현되었다고 할 수 있다. 바이노럴 신호에는 음원의 위치, 방향뿐만 아니라 음원을 둘러싸고 있는 공간, 즉 음장과 관련한 공간적 단서들이 포함되어 있다. 2채널 음향 재생시스템은 인간이 두 개의 귀로 음향을 지각하는 특성을 이용하여 음상정위와 음장제어에 의해 생성된 입체음향을 2채널에 의해서 재생하는 방식을 말한다. 음상정위 기술이란 가상의 음원을 공간상에 특정한 위치에 위치시키는 기술을 말하며 음장제어 기술이란 잔향을 인위적으로 제어하여 특정 실내에 음원이 존재하는 것과 같은 효과를 구현하는 기술이다. 2채널 입체음향을 생성하는 방법 중 가장 대표적인 것으로는 머리전달함수를 이용한 방법을 들 수 있다. 머리전달함수는 자유음장 (Free Field)에서 일정한 입사각으로 사람의 외이도 (Ear

Canal)에 이르는 소리를 표현하는 전달함수를 말하며 가상현실 응용시스템이나 가청 (Auralization) 시스템의 바이노럴 신호 합성에 이용된다 [3]. 3차원 음상제어를 수행하기 위해서는 음의 수평과 수직 방향을 지각할 수 있는 방향감, 음의 원근을 지각할 수 있는 거리감, 음이 재생되고 있는 배경 및 환경을 느낄 수 있는 공간감의 실현이 필수적이라 할 수 있다. 따라서 이들 세 가지 요소를 구현함으로써 입체감을 느낄 수 있는 음상제어를 할 수 있게 된다. 그림 1은 3차원 음상을 제어하기 위한 전체 시스템 구성도를 보인다. 머리전달함수를 모노음에 컨벌루션 시킴으로서 방향감을 부여하고 거리 제어 및 공간감을 제어하기 위한 거리제어 알고리즘 및 잔향기를 통과한 합성된 신호를 스테레오로 헤드폰에 재생시킨다 [4].

인간의 청각 시스템이 음원의 수평면에 대한 음의 방향을 지각할 수 있는 주요인은 Interaural Time Difference (ITD)와 Interaural Intensity Difference (IID)이며 수직면에 대한 음의 고저는 청취자의 정면이나 뒤에서 재생되어지는 음에 대해 방향을 인지할 수 있는 주 파라메타는 스펙트럼 요소들이라고 알려져 왔다. 더불어 입사파가 내이에 도달하기 까지 몸통, 머리, 외이와의 상호 작용과 직접음의 반사와 회절에 의한 음의 스펙트럼 변화 등 다양한 요인들이 작용하게 된다. 따라서 이와 같은 모든 사항을 고려하여 방향감을 재생하는 것은 현실적으로 불가능하다. 그러나 인간의 청각 시스템은 각 귀에서의 지향성 의존 필터링에 의해 방향을 인지할 수 있으며 이 필터링에 대한 주파수 응답을 머리 전달함수라고 하며 음원의

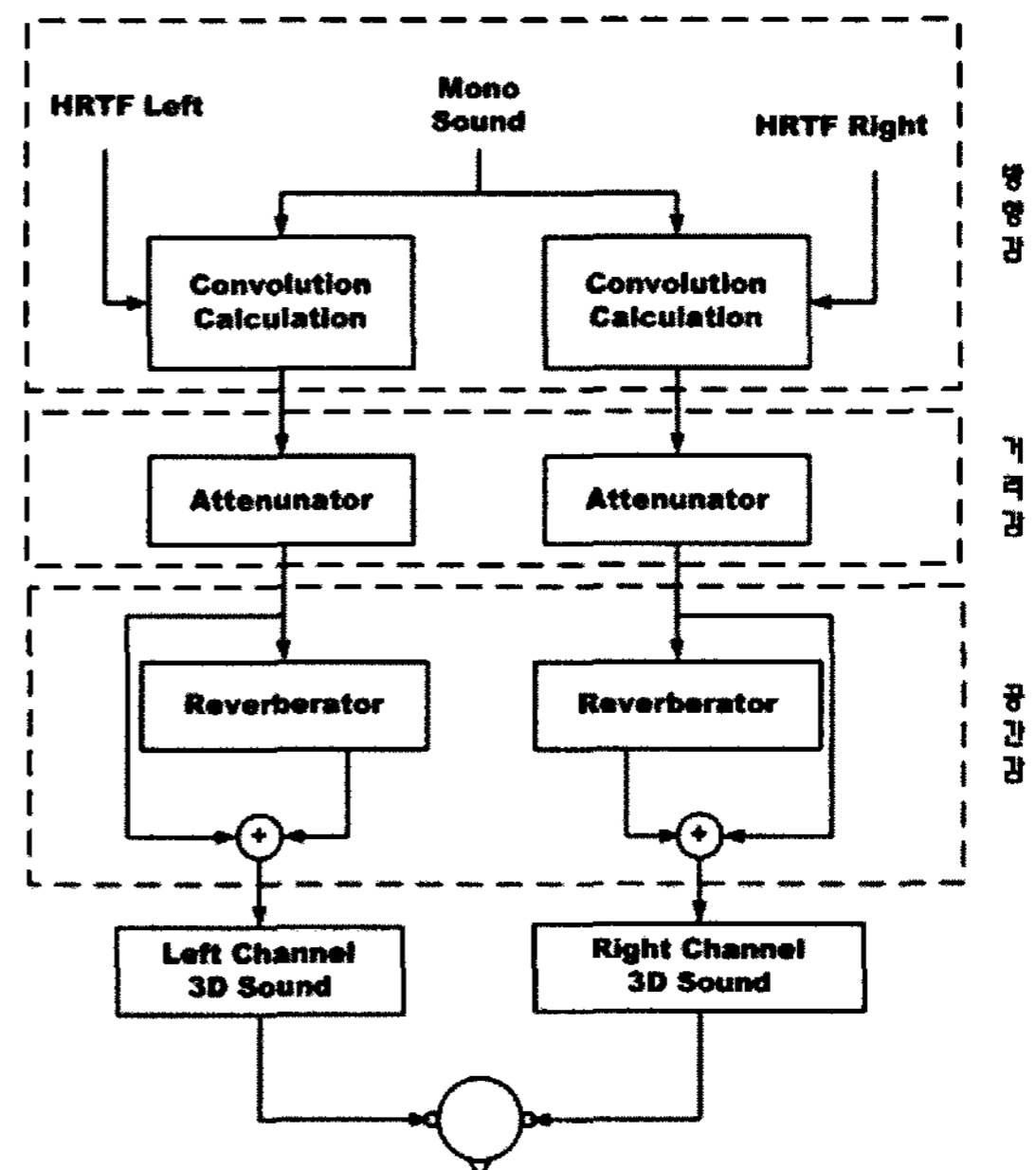


그림 1. 3차원 입체음향 시스템 구성도  
Fig. 1. block diagram of 3D sound system.

로부터 좌우 귀까지의 전달함수인 HRTF를 이용함으로써 방향감의 구현이 가능할 수 있게 된다 [4].

### III. 심리음향을 이용한 혼돈원추의 개선

#### 3.1. 음상 지각

음원에서 음파가 방사될 때 사람은 음상을 지각하게 된다. 그 지각된 음상의 위치 (방향과 거리)를 판단하는 것을 음상 정위 (Localization)라고 한다. 앞에서 언급한 것처럼 일반적으로 음원 정위는 두 귀간의 시간차 (ITD)와 두 귀간의 레벨 (IID)차 등에 의하여 이루어진다 [1][5].

음상정위에 관련된 많은 연구결과에서 살펴보면 두 귀 사이의 레벨 차이는 저주파 대역보다 1.5 kHz 이상에서 변화가 뚜렷하게 나타나므로 고주파 대역의 신호가 음상정위의 실마리가 된다. 두 귀 사이의 시간차는 머리전달함수의 위상 특성을 나타내는 단서로서 1.5 kHz 이하의 낮은 주파수대역에서 음상정위의 주요 단서가 된다 [5].

더불어 정중면 전체에 걸쳐 올바른 음상 정위를 얻기 위해서는 음원 신호로 5~10 kHz의 주파수 성분이 포함되어 있어야 하며 전 방향의 음상정위 대해서 컷바퀴가 크게 관여함을 알 수 있다. 이를 통해 음상 방향은 음원 방향에 관계없이 각 주파수 대역에 의존하고 있으며 이와 같이 음상의 방향을 정하는 대역을 방향 결정 대역이라고 한다. 그리고 각 음원 방향에 관계없이 고막에 도달하는 신호의 스펙트럼에서 강조된 주파수 대역과 일치하는 방향 결정 대역의 방향에 음상이 생기게 된다 [1].

그림 2는 혼돈원추를 나타내고 있다. 혼돈원추란 IID와 ITD를 이용해 상/하나 앞/뒤 방향을 정확하게 판별할 수 없는 영역을 나타낸 것으로서 비개인화된 HRTF DB로 인해 발생하게 된다. 이를 해결하기 위한 가장 좋은 방법은 청취자 개개인마다 머리전달함수를 측정하여 사용하는 것이지만 이는 매우 어려운 일이므로 표준화된 머리전달함수를 개선하여 음상정위의 오차를 최소화시키려는 연구가 활발히 진행되고 있다 [3].

#### 3.2. 머리전달함수의 그룹화를 통한 음상 정위감 개선

머리전달함수를 이용하여 입체음향을 생성하는 과정에서 음상정위감을 개선하는 방법으로는 그룹화 방법을 들 수 있다. 원하는 위치의 머리전달함수를 중심으로 주변의 머리전달함수를 2개, 3개, 4개, 5개, 9개의 경우로 그룹화 하여 각각의 평균을 취하여 새로운 머리전달함수를 생성한다. 이후 각 개수의 경우에서 각 방향에 따른

최적의 머리전달함수 개수를 설정한다. 그림 3은 기준이 되는 머리전달함수와 주변의 머리전달함수를 그룹화 하는 모습을 나타내고 있다 [6].

#### 3.3. 제안된 알고리즘

바이노럴 시스템에서 방향지각의 혼돈을 개선하기 위한 기존의 연구는 각 방향에 대한 머리전달함수의 주파수 특성인 스펙트럴 큐를 부각시키는 연구가 주를 이루고 있다. 이는 각 방향지각에 관련된 특징이 특정 주파수 대역에 있다는 심리음향의 연구결과를 바탕으로 한 것이다 [7].

가장 대표적인 방법으로는 그림 4와 같이 머리전달함수를 5개의 대역으로 나누어 각 방향에 따라 증폭/감쇄시

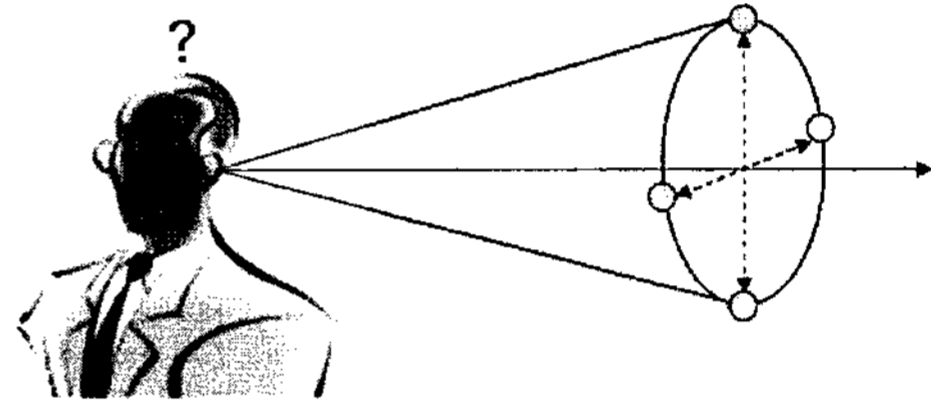


그림 2. 혼돈 원추  
Fig. 2. Cone of confusion.

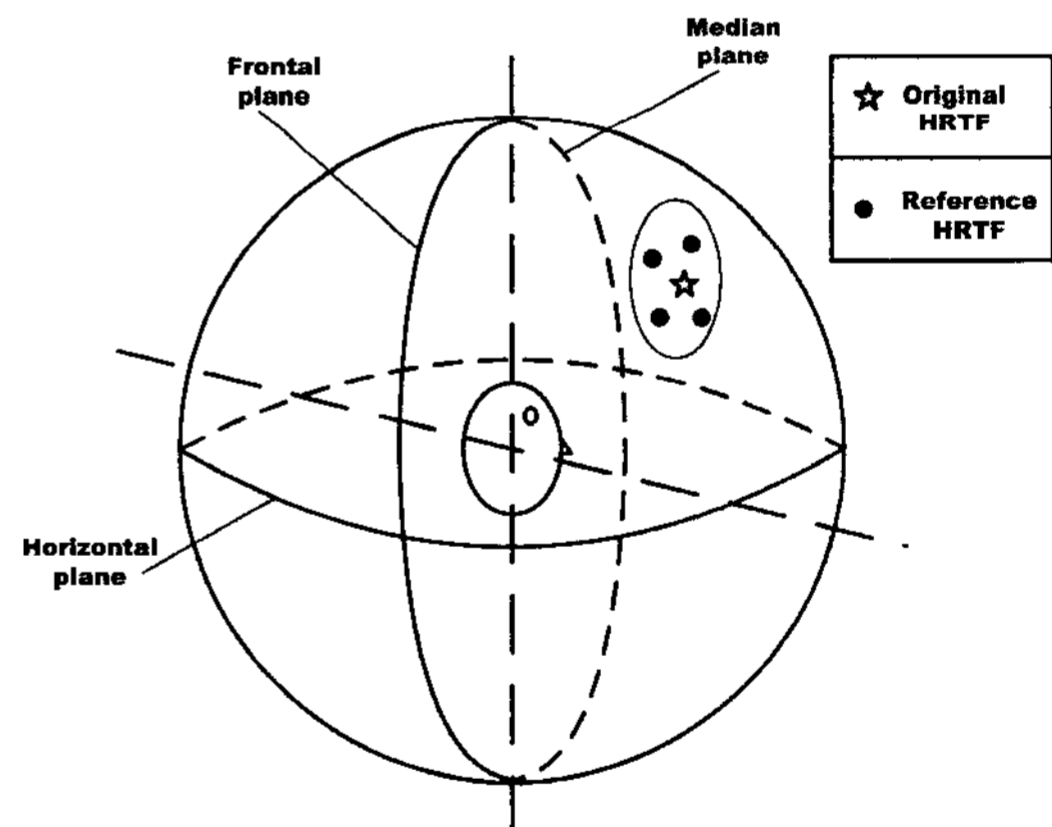


그림 3. 머리전달함수의 그룹화  
Fig. 3. Grouping HRTF.

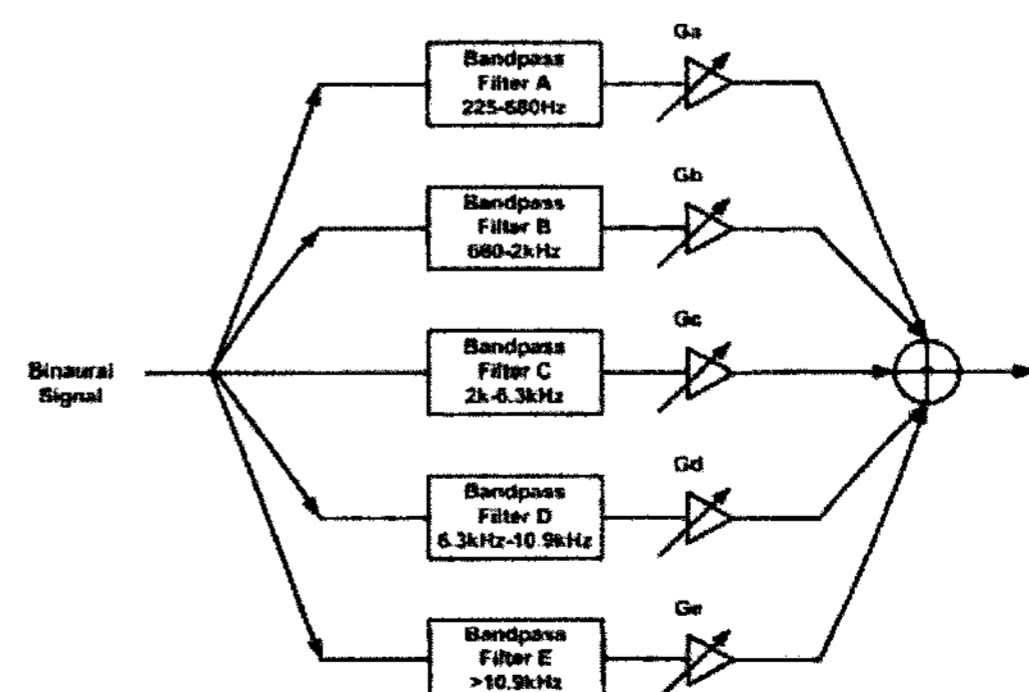


그림 4. 필터뱅크 방법  
Fig. 4. Filterbank method.

김으로서 개선된 머리전달함수를 획득하는 방법을 들 수 있다. 머리전달함수를 5개의 주파수 대역으로 분할하여 각 주파수 대역에 대하여 각각 병렬로 구성된 필터뱅크를 통과시킴으로서 대역통과 필터링 과정을 거친 후 그 출력이 합해지게 된다 [8].

두 번째로는 인간의 신체 특성 중에서 귀의 돌출된 정도의 차이가 앞/뒤 방향 지각에 관계한다는 특성을 이용하는 방법도 들 수 있다 [9].

마지막으로 혼돈을 야기하는 두 방향의 머리전달함수 스펙트럼 차이를 부각시키는 방법이 있다. 음상을 정위시킬 p 방향의 머리전달함수  $H_p(f)$ 를 정규화 시키고 그 스펙트럼 크기를 이용하여 가중치 함수를 적용함으로써 머리전달함수를 수정하는 방법이다 [10].

그러나 이런 방법들은 단순히 주파수 대역만을 조절함으로써 해당 대역에 에너지가 과다하게 존재할 경우 정확한 음상의 정위가 불가능하며 음질까지 손실되는 경우가 생기게 된다.

따라서 본 연구에서는 인간의 청각 특성을 이용하여 보다 효과적으로 음상을 정위하는 방법에 대한 알고리즘을 제안하고자 한다.

제안된 알고리즘의 Block Diagram은 그림 5와 같다.

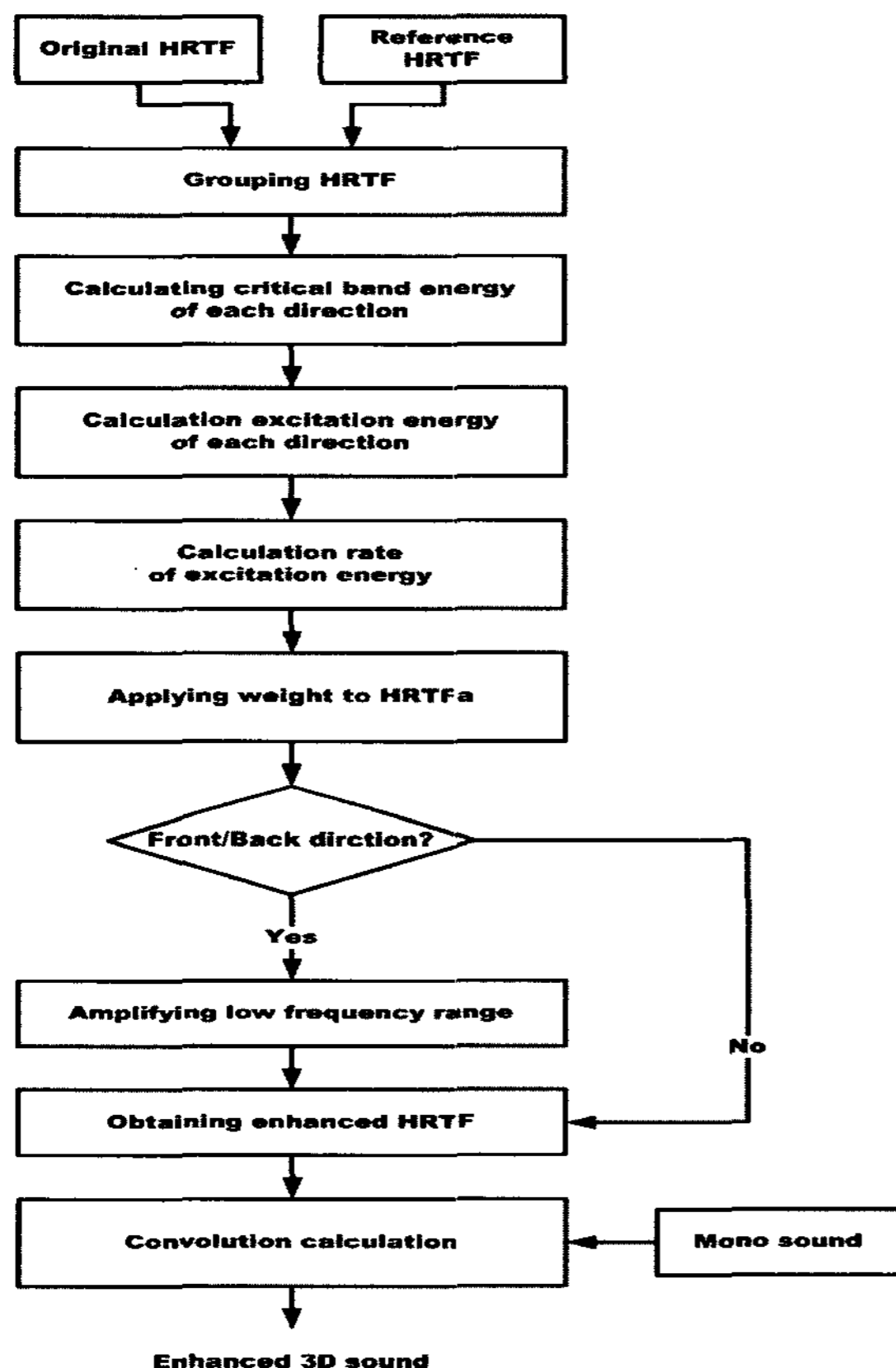


그림 5. 제안된 알고리즘의 block diagram  
Fig. 5. Block diagram of the proposed algorithm.

먼저 심리음향을 적용하기 전에 전처리 단계로서 음상을 정위시키고자 하는 방향, a의 머리전달함수를 그림 6처럼 같은 방위각 선상에서 위, 아래의 머리전달함수를 레퍼런스 신호로 사용하여 그룹화 시킨다.

그러면 각 방향에 해당하는 스펙트럼 상의 특징이 강조되어 결과적으로 혼돈방향의 두 머리전달함수의 스펙트럼 차이가 부각되는 효과를 얻게 된다. 그 결과로 1차로 방향감 및 음상정위감이 강조된다.

이어 그룹화된 머리전달함수의 주파수 스펙트럼을 이용하여 임계대역 에너지  $cband\_e_a(z)$ 를 계산한다. 마찬가지로 혼돈을 일으키는 방향 b의 그룹화된 머리전달함수를 이용하여 임계대역 에너지,  $cband\_e_b(z)$ 를 계산한다.

다음으로 a, b 방향의 임계대역 에너지와 신호 에너지의 확산 연상을 나타내는 지각적인 에너지 확산 함수를 통해 컨벌루션을 취함으로써 기저막에서의 신호에너지에 대한 응답인 청각자극 에너지  $exci\_e_a(z)$ ,  $exci\_e_b(z)$ 를 계산한다 [3].  $x(n)$ 이 입력신호일 때 어떤 임계 대역에 대한 전력 스펙트럼을  $x(\omega, i)$ 라고 정의할 수 있다. 이때  $i$ 는 임의의 시간 프레임에서의 인덱스를 의미하여 기저막에서의 청각 자극 에너지는 식 (1)로 표현 가능하다.

$$X_e(z) = \sum_{v=0}^{Z-1} [SF(v, z) \{a_0(z) \sum_{\omega_{z1}}^{\omega_{z2}} X(\omega, i)\}] \quad (1)$$

$$0 \leq z \leq Z-1$$

여기서  $\omega_{z2}$ 와  $\omega_{z1}$ 은 전체 임계 대역 Z에서의 임의의 임계 대역 z에 대한 저주파 경계와 고주파 경계를 나타낸다.  $a_0(z)$ 는 외이에서부터 중이까지의 다양한 전달 특성 요소 (transmission factor)들에 의한 주파수 의존 감쇠 특성을 나타내는 감쇠 성분이다. 단, 이때  $a_0(z)$ 는 외이부터 중이까지의 감쇠 특성을 나타낸 것이므로, 신호를 직접 내이(內耳)로 전달하는 경우 또는 난청 환경과 같이 이러한 특성의

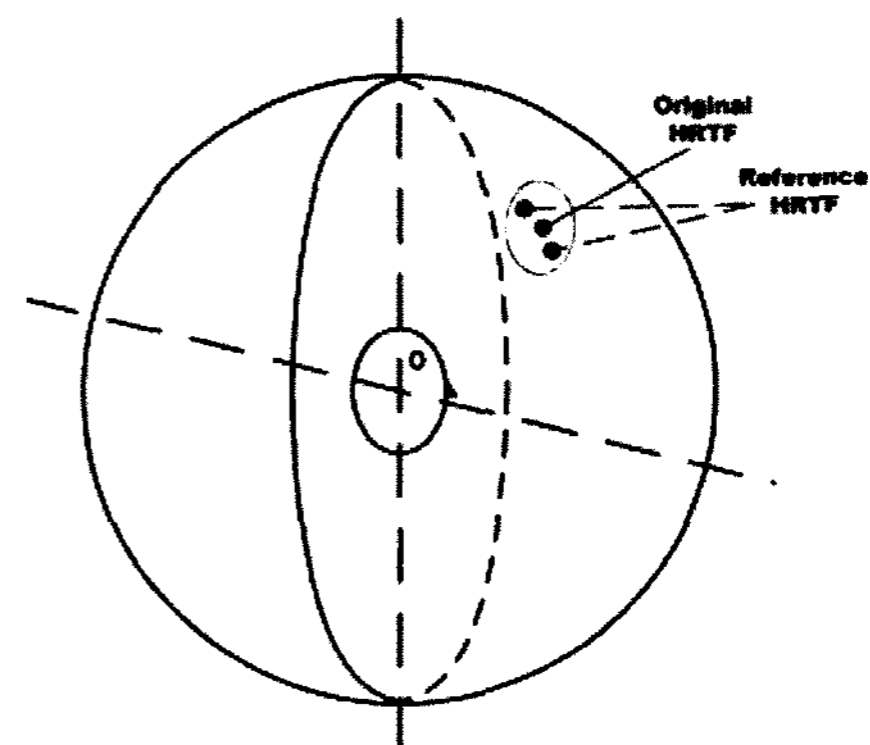


그림 6. 2개의 레퍼런스 HRTF를 이용한 그룹화  
Fig. 6. Grouping using 2 reference HRTFs.

변화가 있을 경우를 제외하고는 그 영향을 무시할 수 있다.

확산 함수 SF (v, z)는 다음과 같이 표현되어질 수 있다. 여기서  $\Delta z = z-v$ 는 바크 인덱스로 표현된 임계 대역 간 차이이다.

$$SF(v,z)=15.81+7.5(\Delta z+0.474)-17.5\sqrt{1+(\Delta z+0.474)^2} \quad (2)$$

다음으로 a와 b방향의 각 청각 자극 에너지의 비율,  $rate_a(z)$ 를 계산한다.

$$rate_a(z) = (exci\_e_a(z)/exci\_e_b(z))^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

그림 7은 방위각 30°에서 고도각 ±20°에 대한 청각 자극 에너지 비율을 보여준다.

계산된 비율은 가중치로서 원 머리전달함수에 적용되어 각 방향에 따른 피크나 노치 등을 강조시켜 청각에너지 차이를 부각시킨다.

$$HRTF'_a(f_z, i) = HRTF_a(f_z, i) \times rate_a(z) \quad (4)$$

$$0 \leq z \leq Z-1$$

여기서  $f_z$ 는 각 임계대역에 해당하는 주파수 범위를 의미한다.

일반적으로 머리전달함수의 주파수 스펙트럼을 살펴 보면 음상이 앞쪽에 정위될 경우 4 kHz 주변에 큰 에너지를 가진다. 그 이유는 인간의 신체 중 귓바퀴에 의해 발생된 "shadow zone" 때문이다. 따라서 앞/뒤 방향감 개선일 경우는 귓바퀴의 영향을 고려하여 저주파 보상 알고리즘을 추가한다.

$$enHRTF_a = HRTF'_a(f, i) \times \tau \quad \text{where } f \leq 5kHz$$

$$enHRTF_a = HRTF'_a(f, i) \quad \text{otherwise} \quad (5)$$

여기서  $\tau$ 는 저주파 이득 파라미터로서 음상이 0° (정면)에 가깝게 위치할수록 귓바퀴의 영향이 커지게 되어 큰 값을 가지게 된다. 그러나 음상이 90° (옆면)에 위치할수록 귓바퀴의 영향이 적어 값이 작아지게 된다. 본 논문에서는 실험에 의해 음상이 0° ~ 30°에 위치할 경우 3 dB, 30° ~ 60°에 위치할 경우는 2 dB로  $\tau$ 값을 정의하였다.

그림 8은 최종적으로 개선된 머리전달함수를 나타낸다.

방향감이 개선된 머리전달함수는 모노음에 컨벌루션 연산을 통해 적용되어 음상을 원하는 위치에 정위시키게 된다.

그림 9, 10, 11은 각 방법을 통해 개선된 머리전달함수를 사용해 새롭게 생성된 입체음향 사운드를 보여주고

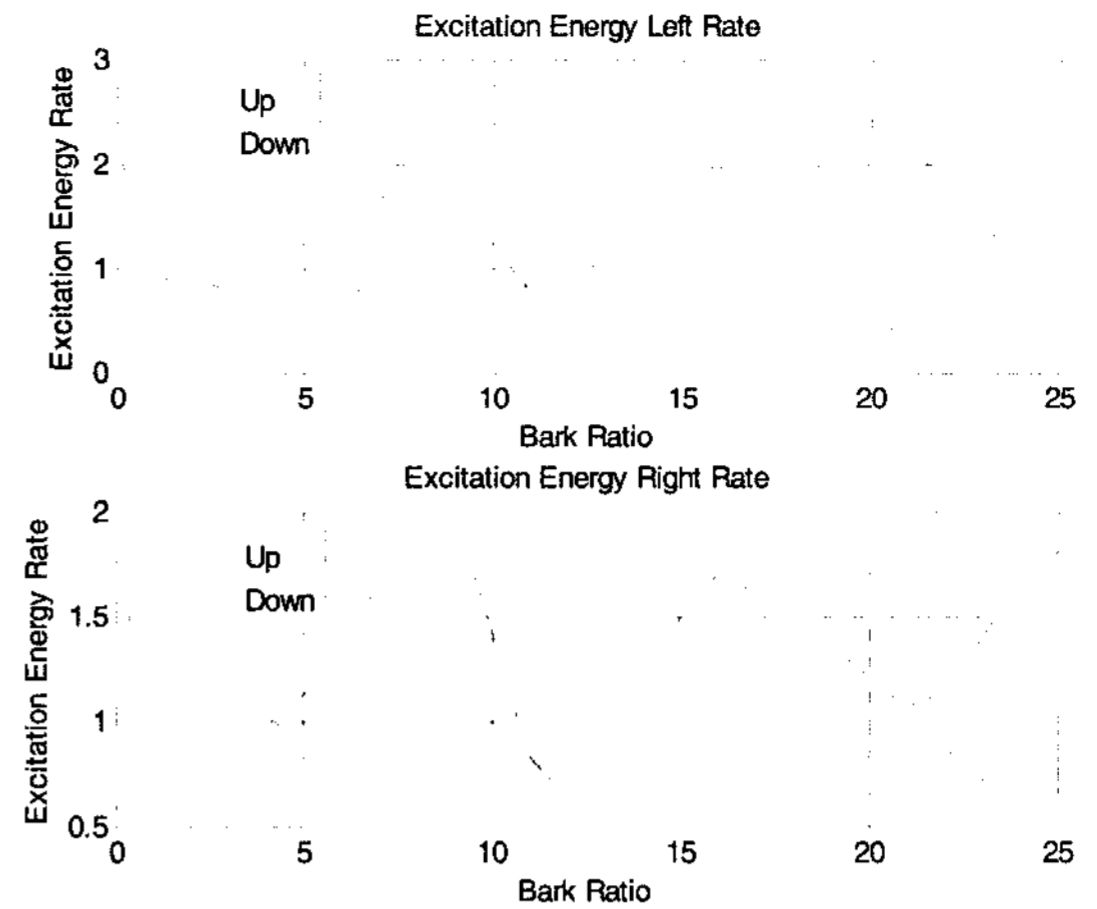


그림 7. 청각자극 에너지 비율 (고도각 ±20° & 방위각 30°)  
Fig. 7. Rate of excitation energy (Ele. ±20° & Azi. 30°).

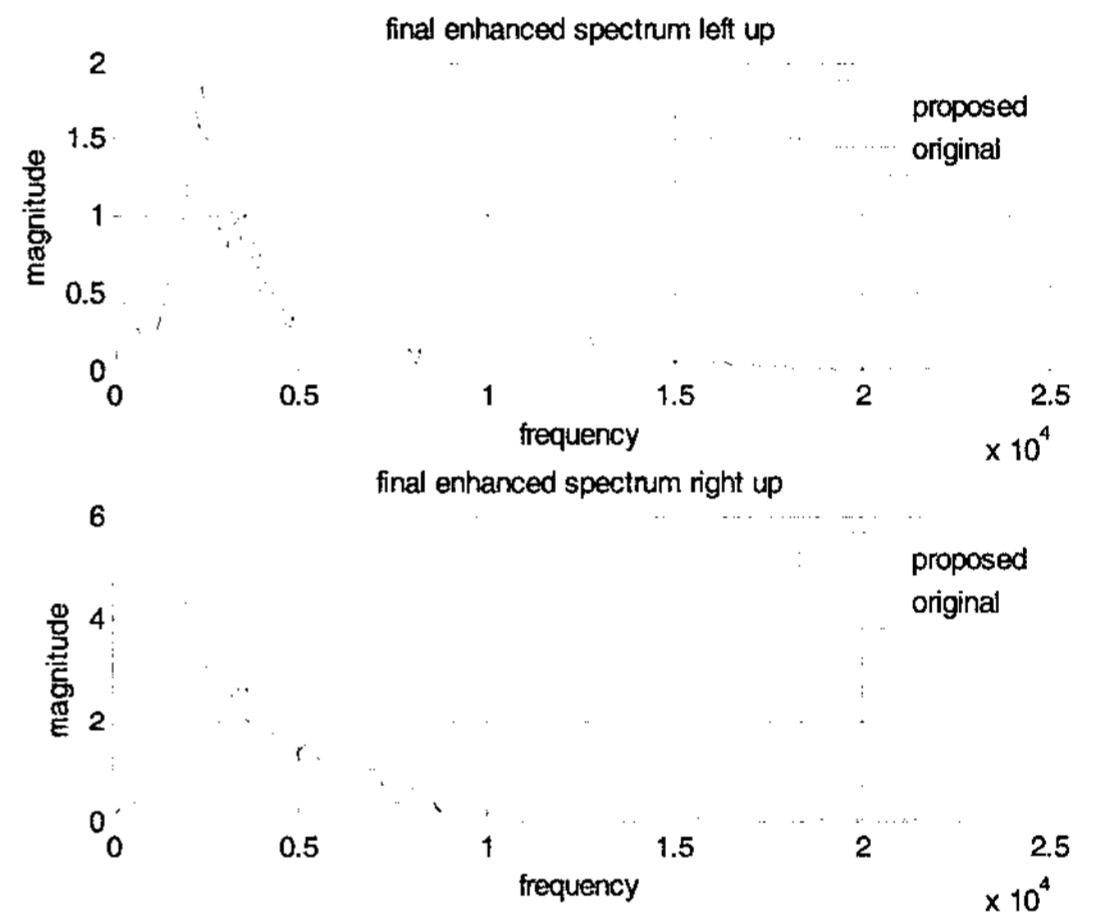


그림 8. 개선된 머리전달함수 (고도각 20° & 방위각 30°)  
Fig. 8. Enhanced HRTF (Ele. 20° & Azi. 30°).

있다. 그림 10은 밴드패스 필터링을 이용하여 개선된 입체음향이다. 생성된 사운드를 살펴볼 때 증폭되는 대역에 주파수 에너지가 집중될 경우 방향감과 음질이 심하게 손상됨을 볼 수가 있다. 특히 뒷부분을 보면 오른쪽의 신호가 심하게 증폭되어 IID가 달라지기 때문에 음상의 방향이 올바르게 정위되지 않는다.

하지만 제안된 방법을 이용한 머리전달함수를 적용한 것은 각 임계 대역마다 효과적으로 에너지를 조절할 수 있기 때문에 실제적인 느낌을 줄 수가 있게 된다. 더불어 음질의 왜곡이 적어지기 때문에 명료성의 저하나 귀의 피로감을 줄일 수 있다.

#### IV. 실험 및 결과고찰

본 논문은 머리전달함수를 이용하여 보다 현실적인 입



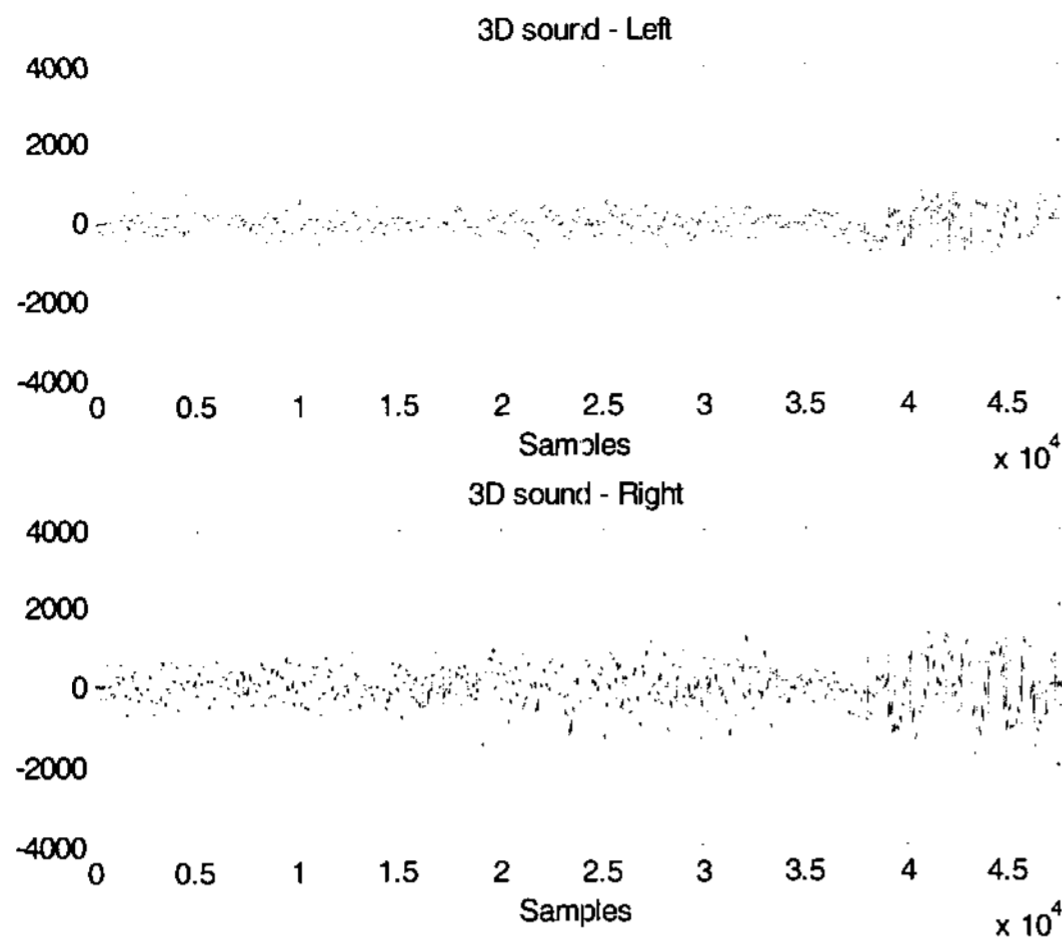


그림 9. 원 HRTF를 이용한 입체음향 생성 (고도각 20° & 방위각 30°)  
 Fig. 9. Creating 3D sound using original HRTF (Ele. 20° & Azi. 30°).

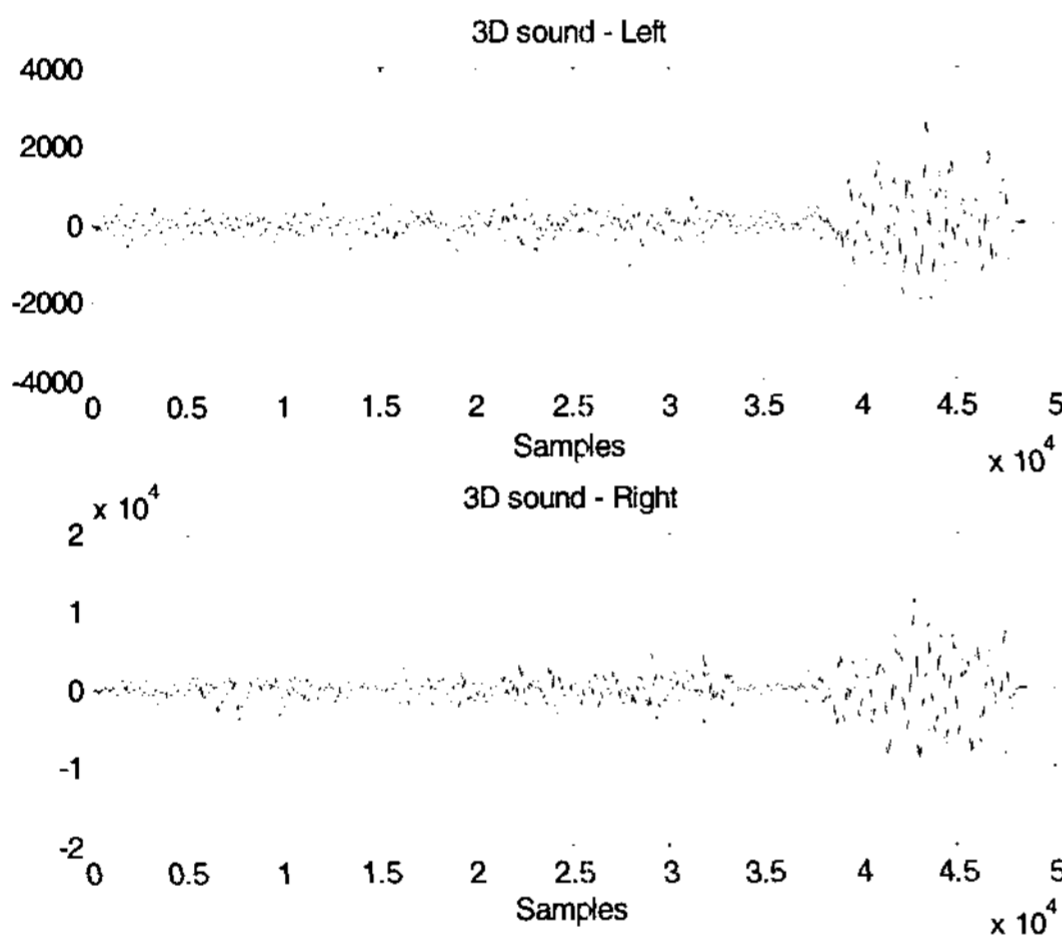


그림 10. 필터뱅크 방법을 이용한 입체음향 생성 (고도각 20° & 방위각 30°)  
 Fig. 10. Creating 3D sound using filterbank method (Ele. 20° & Azi. 30°).

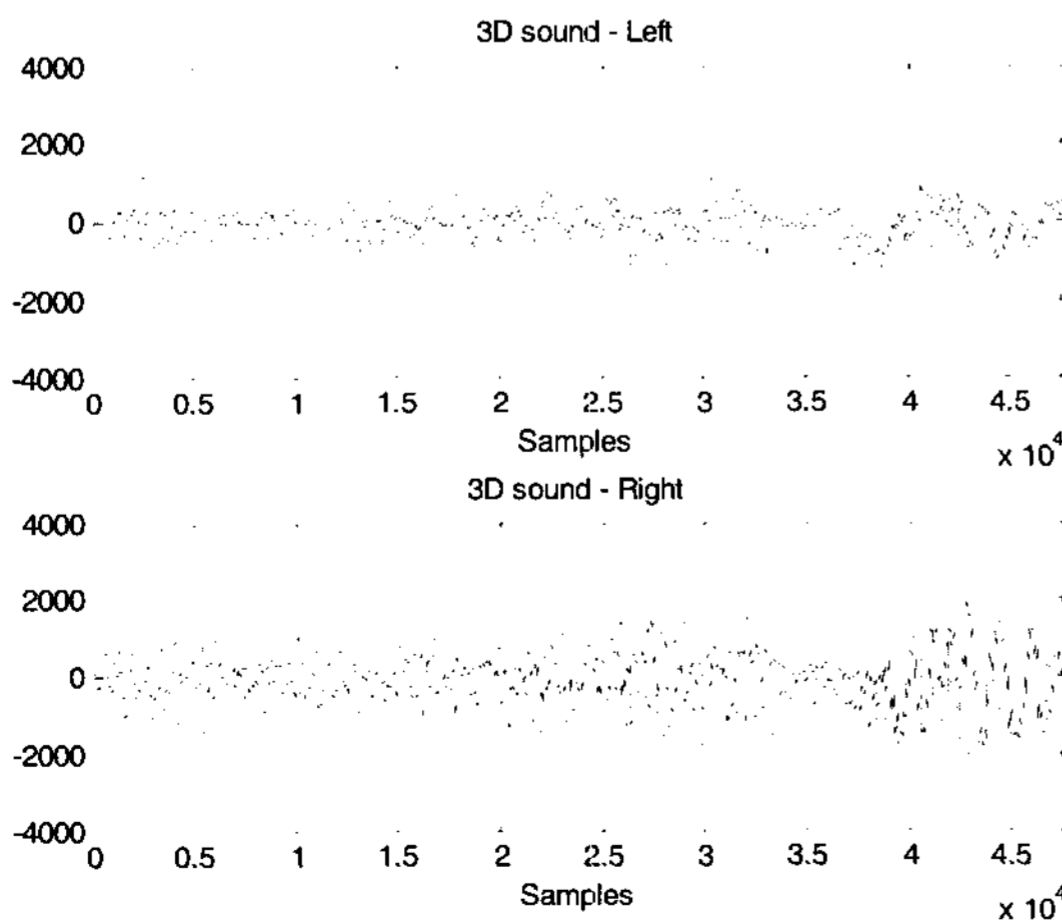


그림 11. 제안된 알고리즘을 이용한 입체음향 생성 (고도각 20° & 방위각 30°)  
 Fig. 11. Creating 3D sound using proposed algorithm (Ele. 20° & Azi. 30°).

표. 1. 사용된 머리전달함수

Table. 1. HRTF DB for simulations.

샘플수	512
샘플링 주파수	44.1 kHz
샘플당 비트수	16 bits/samples
수평각	0° ~ 360°
고도각	-40° ~ 90°
측정대상	KEMAR dummy head

표. 2. 사운드 음원

Table. 2. Sound sources for simulations.

Sample No.	1	2	3
Sample name	Voice	Helicopter	Classic
샘플수	47551	244446	244446
샘플링 주파수	44.1 kHz		
샘플당 비트수	16 bits/samples		

체음향을 생성하는 과정에서 발생하는 혼돈원추의 문제를 해결하기 위한 알고리즘을 제안한다. 시뮬레이션에 사용된 사운드 음원들은 직접 녹음하거나 오디오 CD로부터 획득한 44.1 kHz, 16 bit/sample 사운드 음원을 이용하였다. 머리전달함수로는 HRTF DB로는 MIT의 Media Lab에서 KEMAR dummy head를 이용하여 측정된 것을 사용하였다. 테스트 장비로는 청취자의 귀에 밀착되는 헤드폰 (audio-technica ATH-ES7), Pentium computer (Intel core2duo E6600)를 사용하였으며 청취자가 음원의 종류나 방향을 사전에 알 수 없도록 컴퓨터와 거리를 두도록 하였으며 무 순서로 음원을 재생하였다.

제안한 알고리즘의 성능을 확인하기 위하여 음상정위 테스트 및 청감 테스트를 실시하였다.

비교대상은 원 머리전달함수, 필터뱅크 방식, 제안한 방식이며 고도각과 수평각을 변경시켜 가며 테스트를 진행하였다.

#### 4.1. 음상정위 테스트

성능을 평가하기 위한 첫 번째 테스트로 청취자가 얼마나 정확하게 음상의 방향을 지각하는지에 대한 테스트를 진행하였다. 테스트는 2,30 대의 일반 남녀 10명을 대상으로 하여 입체음향을 들려준 후 인지하는 방향에 대한 정확도를 측정하였다. 오차는 ±10°로 하였다.

그림 12는 각 방법을 이용하여 구현된 입체음향에 대한 음상정위 테스트 결과를 나타내고 있다. 3가지 음원에 대한 테스트를 진행한 후 각 방향에 따른 평균값을 제시하였다. 모든 음원 샘플에 대해서 실험 결과 단순히 전/후 지각 뿐만 아니라 상/하 지각에서도 입체감이 개선되었

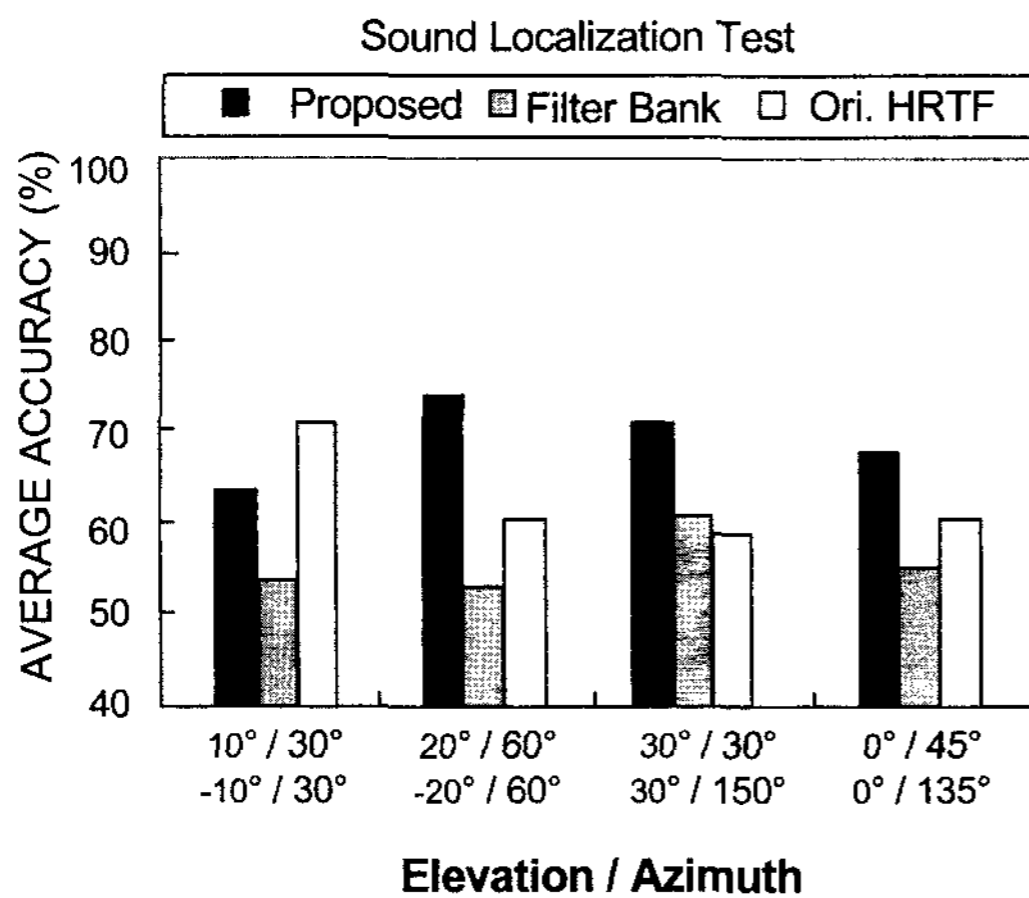


그림 12. 음상정위 테스트 결과  
Fig. 12. Sound Localization Test result.

으며 이를 통해 제안한 알고리즘이 대부분의 경우에서 정위감이 우수함을 알 수 있었다.

#### 4.2. 음질 테스트

두 번째 테스트로는 제안된 알고리즘이 음질에 미치는 영향을 확인하기 위하여 음질 테스트를 실시하였다. 평가방법은 원 머리전달함수를 적용한 소리를 기준으로 삼아서 개선된 소리의 음질이 기준에 얼마나 충실한지를 비교하는 Degradation Category Rating Method를 사용하였다. 이 방법은 5가지 Degradation Category Scale를 적용하며 그 내용은 표 3과 같다 [11].

표 3. 음질 테스트 점수  
Table. 3. Degradation category scale.

5	Degradation is inaudible.
4	Degradation is audible but not annoying
3	Degradation is slightly annoying
2	Degradation is annoying
1	Degradation is very annoying

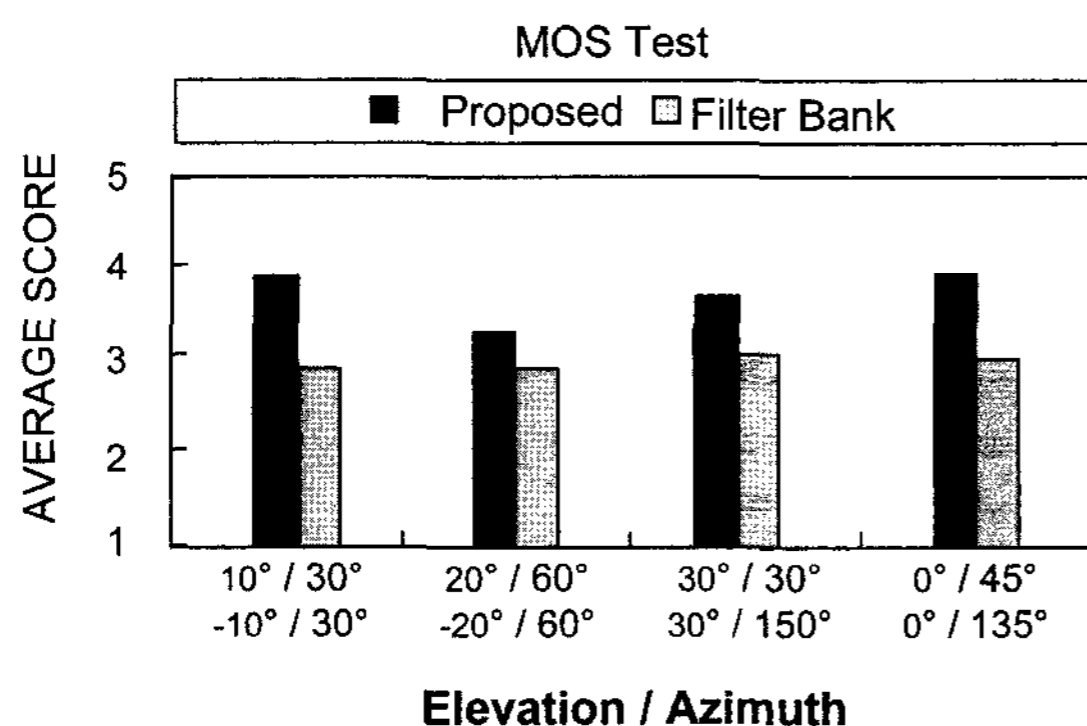


그림 13. 청감 테스트 결과  
Fig. 13. MOS Test result.

그림 13은 각 방향에 대한 음질 테스트 결과를 보여주고 있다. 음상정위 테스트와 마찬가지로 각 방향에 대한 평균값을 제시하였다. 기존의 개선 방법은 5개의 고정된 대역에서 증폭 및 감쇄를 하기 때문에 증폭되는 대역에서 모노음의 주파수 에너지가 큰 경우 음질이 손상되는 현상이 발생하게 된다. 그러나 본 알고리즘은 인간의 청각특성을 이용하여 효율적으로 정위감을 개선시킬 수 있기 때문에 음질의 변화를 최소화 할 수 있다. 결과적으로 보다 정확한 방향감을 생성시킬 수 있다.

## V. 결론

본 논문에서는 인간의 청각특성을 이용하여 바이노럴 시스템에서 보다 현실적인 입체음향을 생성하고 정확한 방향감을 생성하기 위한 알고리즘을 제안한다.

제안된 방식에 의해 머리전달함수가 인간의 청각에 미치는 영향을 고려하여 방향결정대역에 따른 음상정위 단서를 강조하여 원 사운드 신호와 비슷한 음상 정위감을 획득할 수 있었다. 또한 원 머리전달함수 및 혼돈원추 문제를 해결하기 위한 기존의 알고리즘과 비교할 때 음상정위 테스트 및 청감 테스트 결과에서 좋은 성능의 결과를 확인할 수 있었다.

하지만 머리전달함수가 상당히 주관적이기 때문에 제안된 알고리즘으로는 모든 청취자들에게 동일한 느낌을 가지게 하기에는 한계가 있음을 확인하였다. 이러한 단점으로 인하여 사운드 음원에 따라 생성된 입체음향의 결과가 달라지는 것을 확인할 수 있었다.

그러므로 향후 진행될 연구 과제는 청자 개개인의 신체적 및 청각적 특성에 따라 청각 모델링의 오차를 낮출 수 있는 방법에 대한 연구가 진행될 예정이다.

## 참고 문헌

1. 강성훈, 강경옥, *입체음향* (기전연구사, 1997).
2. 김기홍, 김용완, 명현, 정혁, 김기호, "3D Sound 기술," 정보과학회지 19(5), 2001.
3. 구교식, 차형태, "머리전달함수의 심리음향적 특성을 이용한 전/후 음상정위 특성 개선," 방송공학회 논문지 11(4), 2006, 12.
4. 김학윤, 김희석, "3차원 음상제어 알고리즘," 산업과학연구, 15(2), 1-6, 1997.
5. Durand R, Begault, 3-D Sound for Virtual Reality and Multimedia, NASA, 2000.
6. 서보국, 차형태, "머리전달함수의 그룹화를 이용한 가상 스피커의 정위감 개선," 퍼지 및 지능시스템학회 논문지 16(6), 2006.

7. 김경훈, 김시호, 배건성, 최송인, 박만호, "헤드폰 기반의 입체음향 생성에서 앞/뒤 음상정위 특성 개선," 한국통신학회 논문지 29(8c), 2004.
8. Chong-Jin Tan, Woon-Seng Gan, "User-defined spectral manipulation of HRTF for improved localisation in 3D sound systems," Electronics letters 34(25), 1998.
9. Navarun Gupta, Armando Barreto and Carlos Ordonez, "Spectral Modification of head-related transfer functions for improved virtual sound specialization," IEEE, 2002.
10. Ming Zhang, Kah-Chye Tan and M.H.Er, "A Refined Algorithm of 3D Sound Synthesis," ICSP98, 1408-1411, 1998.
11. ITU-T P.800, "Methods for subjective determination of transmission quality".

---

## 저자 약력

---

### • 구 교 식 (Kyo-Sik Koo)



2005년 2월: 송실대학교 정보통신전자공학부 (공학사)  
2007년 2월: 송실대학교 전자공학과 (공학석사)  
2007년 2월~현재: 송실대학교 전자공학과 박사 과정 재학  
※주관심분야: 오디오 및 음성 신호처리, 통신 신호처리

### • 차 형 태 (Hyung-Tai Cha)



1993년: The University of Pittsburgh (공학박사)  
1993년~1996년: 삼성전자 신호처리 연구소 선임연구원  
1996년~현재: 송실대학교 정보통신전자공학부 부교수  
2001년~현재: 한국 신호 및 시스템 학회 이사  
2001~현재: 한국 방송공학회지 편집위원장, 편집위원  
※주관심분야: Multimedia Systems and Applications  
Audio and Video Signal Processing, Communication System, ASIC Implementation of Digital System