

# 웨이블릿을 이용한 입체음향의 확산감 제어

## 3D Sound Diffusion Control Using Wavelets

김 익 형\*, 정 의 필\*  
IgHyeong Kim, Uipil Chong

### 요 약

본 논문에서는 무향실에서 녹음된 모노 음으로부터 효과적인 음의 확산감을 얻기 위해서 스테레오 헤드폰을 이용한 개선된 입체음향 시스템의 구현을 위한 알고리즘을 제안하고자 한다. 머리전달함수(HRTF)를 이용해서 음상을 정위하고 음의 확산 효과를 위해서 시간 지연을 삽입한 웨이블릿 필터 뱅크를 이용한다. 좌·우 머리전달함수의 샘플링률을 변화시키면서 음상 정위의 왜곡 정도를 파악한다. 계산의 복잡도를 고려하여 공간상의 정보를 잃지 않는 가장 낮은 샘플링률을 갖는 머리전달함수와 실험 음원과의 컨벌루션 처리를 통해서 2 채널의 스테레오 음을 획득한다. 헤드폰의 좌·우측 신호에 대한 상관계수 값의 제어를 통해서 음의 확산 정도를 비교한다. 잔향처리를 통하여 최종적인 확산 음원을 획득한다.

### ABSTRACT

In this paper, we propose an idea for the improved 3-D sound system using conventional stereo headphones to obtain a better sound diffusion from the mono-sound recorded at an anechoic chamber. We use the HRTF(Head Related Transfer Function) for the sound localization and the wavelet filter bank with time delay for the sound diffusion. And we test the modified HRTF with the various sampling rate. We investigate the effects of the 3-D sound depending on the length of time delay at lowest frequency band. Also the correlation coefficient of the signals between the left channel and the right channel is measured to identify the sound diffusion. At last we obtain the diffusion sound using Cool Edit for reverberation.

**Key words** : 3D Sound, HRTF, Sound Diffusion, Wavelets, Correlation Coefficient, Reverberation

### I. 서 론

최근의 입체음향 시스템은 가전제품이나 멀티미디어 제작도구, 그리고 게임 산업에 이르기까지 다양한 방법으로서의 발전과 지속적인 연구가 이루어지고 있다. 이러한 연구들은 인간이 개선된 양질의 음악을 듣고자 하는 욕구에 의한 것이라 볼 수 있겠다. 최근에는 입체음향의 발전으로 5.1채널을 이용하는 음량과 음질의 개선을 위한 연구가 활발하게 진행되고 있다[1]. 컴퓨팅 환경에서의 사용자들은 더 이상 전통적인 2 채널 스테레오 방식에 만

족하지 않는다. 그리고 4 채널 서라운드 시스템이 인기를 얻고 있긴 하더라도 스피커의 개수와 케이블 양이 증가하기 때문에 사용자들은 추가적인 비용을 감수해야 한다. 이러한 문제를 해결하기 위한 방법으로 본 논문에서는 2 채널 헤드폰을 이용한 개선된 입체 음향 시스템을 제안하려고 한다.

임의의 한 방향에 위치한 음원에서 발생한 소리는 음원의 방향에 따라 일정한 시간차이와 레벨차이를 가지고 청취자의 두 귀에 도달하게 된다. 그리고 소리는 머리, 몸통, 의이 등에 의해서 회절, 반사, 굴절되어 두 귀에 도달한다. 이와 같이 두 귀에 도달하는 소리의 정보를 머리 전달함수라고 하며[2], 컨벌루션 처리를 통하여 머리 전달함수가 포함하고 있는 방향 정보를 모노 음향에 합성할 수 있다. 본 논문에서는 머리 전달함수의 정보가 왜곡되지 않는 범위에서 샘플링률을 최소화시켜 컨벌루션 처리함으로써 계산의 복잡도를 줄인다[3]. 인간이 소리를 듣는 것만으로 음원의 위치 및 방향 등과 같은 3차원 정보를

\*울산대학교 컴퓨터정보통신공학과

접수 일자 : 2003. 7. 16      수정 완료 : 2003. 10. 14

논문 번호 : 2003-3-5

※본 연구는 2003년 정보통신부 기초기술연구 지원사업 및 한국 과학재단 지정 울산대학교 네트워크 기반 자동화연구센터의 지원에 의한 것임

인지할 수 있는 이유는 음원으로부터 발생한 소리가 두 귀에 도달하는데 걸리는 시간의 차이 (ITD : interaural time difference)와 두 귀에 도달한 소리의 레벨 차이(IID : interaural intensity difference), 그리고 소리가 공기 중을 진행 할 때의 전파 특성 등에 의한 것이다. 특히 입체음향을 구현하는데 있어서, ITD는 방위 변화에 대한 입체음향의 단서를 제공하고 IID는 입체음향의 효과를 더욱 증가시킬 수 있는 방법으로 활용할 수 있다[4]. 본 논문에서는 이들 중에서 IID가 1.5kHz 부근의 주파수 성분에서 음장에 영향을 주는 것에 착안하여 입체음향의 확산감을 제어할 수 있는 단서로 활용하여 웨이블릿 필터뱅크를 이용해서 음의 확산감 제어를 위한 시스템을 구현한다. 또한 음의 확산 정도를 확인하기 위해서 좌·우 신호의 상관계수 값을 측정한다. 좌·우 신호의 상관계수 값이 0에 가까울수록 확산감 제어에 좋은 영향을 준다[2].

본문에서는 모노 음을 머리전달함수를 통해서 2 채널 음원으로 생산하는 방법과 논문에서 제안하고자 하는 웨이블릿을 이용한 음의 확산감 제어를 위한 알고리즘을 설명한다. 다음으로 본 연구의 실험 결과를 보여주고, 마지막으로 본 논문의 최종 결과와 향후 연구 방향에 대해서 기술한다.

## II. 시간 지연과 필터 뱅크를 이용한 입체음향 시스템의 구현

### 2.1 머리전달함수를 통한 음원 재생

머리전달함수는 자유음장에서 어느 특정한 위치에 있는 음원으로부터 청취자의 고막까지 음원의 공간 전달을 행하는 전달함수를 의미한다.

본 연구에서는 무향실에서 녹음한 단음과 연주음을 모노 음원으로 채취해서 머리전달함수와 컨벌루션을 통하여 2 채널의 방향 정위된 실험 음원을 획득한다.

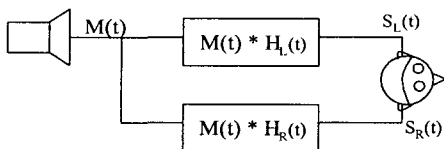


그림 1. 3D 스테레오 음원 획득을 위한 시스템 블록도  
Fig. 1. Block diagram of system for 3D stereo sound

그림 1은 실험 음원으로 사용할 스테레오 음을 생산하기 위한 시스템 블록도를 보여 준다. 스피커로부터의 모노 음,  $M(t)$ 는 오른쪽 및 왼쪽 머리전달함수( $H_R(t)$ ,  $H_L(t)$ )와 각각 컨벌루션 되어 방향 정위된 왼쪽 음원( $S_L(t)$ )과 오른쪽 음원( $S_R(t)$ )을 얻게 된다.

그림 2는 음원으로부터 청취자에게 음이 전달되는 과정을 보여주고 있다. 본 연구는 음상을 정위시키기 위한 방

법으로 MIT Media Lab.의 KEMAR 데이터를 이용한 머리전달함수를 사용하고[5], 그 정위된 음상의 확산감을 좋게 하기 위한 방법을 설명한다.

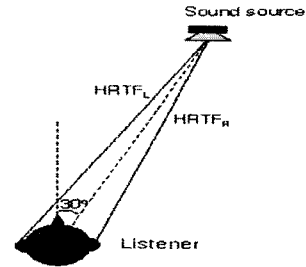


그림 2. 음원에서부터 청취자에게로 음의 전달  
Fig 2. Sound transmission from source to listener

### 2.2 입체음향 시스템의 구현

모노 채널의 헤드폰이나 스피커를 통해서 음을 청취할 경우에는 음의 파라미터를 조정할 수 있는 방법이 없다. 그러므로 머리전달함수와 컨벌루션을 통해 얻어진 2 채널 음을 사용하게 된다. 얻어진 음원에 확산감을 부여하기 위한 방법으로는 웨이블릿 필터 뱅크를 이용한다. 시스템의 구현은 가장 낮은 주파수 대역에 시간 지연을 부여함으로써 음의 확산 정도를 제어한다. 서론에서도 밝힌 바와 같이 머리전달함수에서 음의 정위를 위한 가장 큰 단서는 ITD와 IID를 들 수 있다[6].

본 논문에서는 위의 두 가지 단서 가운데에 1.5kHz 부근의 주파수 영역에서 IID 성분에 영향이 주어짐을 착안하여 음의 확산 정도를 조정하려는 것이다[7].

그림 2에서 보는 것처럼 무향실에서 녹음된 모노 음(sound source)을 좌·우 머리전달함수 각각에 적용시켜 원하는 실험 음원을 만든다. 실험에 이용되는 모든 음은 방위각은 30°, 상승각은 0°, 음원과 청취자와의 거리는 1.4m로 고정해서 사용한다.

그림 3은 시간 지연을 삽입하여 확산감을 얻기 위해 제안한 시스템의 블록도를 나타낸다. 머리전달함수를 적용한 좌·우 신호들은 웨이블릿 필터 뱅크를 통과하면서 신호의 주파수 대역이 44.1kHz에서 1.5kHz까지 분리가능하게 된다[8].

MATLAB software를 이용해서 웨이블릿 필터 뱅크를 구현하고, 음원 실험을 위해 16개의 필터 탭을 가지는 Daubechies 필터를 사용하였다.

신호의 가장 낮은 주파수 대역인 1.5kHz의 신호를 얻기 위해 5 단계의 웨이블릿 필터 뱅크를 구성한다. 웨이블릿 필터 뱅크의 마지막 단계에서 왼쪽 채널의 1.5kHz 부근 주파수 대역에 약 7.25ms의 시간지연을 시킨다. 웨이블릿 변환을 통해 시간 지연시킨 음을 역 웨이블릿 변환을 통해서 오른쪽 음과 함께 원래의 음으로 재생한다.

청취 실험에서 역 웨이블릿 변환을 통해서 만들어진 음과 머리전달함수만을 적용해서 만든 음 사이에 잡음 신

호가 발생하여, 이 잡음 신호를 감소시키기 위한 방법으로 발생한 잡음 신호의 위상을 역 위상으로 바꾸어 준다. 이는 본 연구에서 음의 확산 정도를 측정하는 방법으로  $L$ · $R$  신호의 상관계수 값을 이용하는데, 이 과정을 통해서 상관계수의 값을 좀 더 0에 가깝게 만든다[2]. 이렇게 생성된 신호를 HRTF sound 신호에 더해줌으로써 시간 지연으로 확산감이 부여된 왼쪽 채널의 음을 얻어낸다. 실제 청취 음은 오른쪽 채널의 신호와 함께 2 채널 스테레오 헤드폰을 통해서 청취한다.

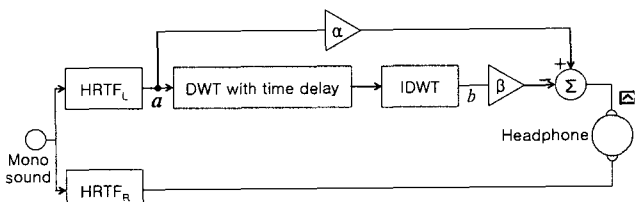


그림 3. 시간지연과 필터뱅크를 이용한 시스템의 블록도  
Fig 3. Overall block diagram using time delay and filter banks

$a$ 는 왼쪽(L) 채널의 출력 결과를 나타내며, 식(1)은 다음과 같다.

$$y = \alpha \times a - \beta \times b \quad (1)$$

$a$ 는 모노 음원에 머리전달함수가 컨벌루션된 음을 나타내며,  $b$ 는  $a$ 음의 1.5kHz 부근 주파수 대역에 확산 효과를 더하기 위하여 시간지연을 삽입한 음원이다. 여기서  $\alpha, \beta$ 는 상관계수의 값을 향상시키는 상수 값으로서 실험에 의해 0.9와 1.2사이의 값이다.

### III. 잔향을 이용한 확산 효과 및 공간감

#### 3.1 실내 공간 효과를 위한 잔향 삽입

실내에서 음원으로부터 소리를 발생시켜 갑자기 발생을 중지시켜도 소리는 어느 순간에 없어지는 것이 아니라 점차로 감쇠 하면서 들리지 않게 된다. 이와 같이 음원에서 발생이 중지된 이후에 실내에 음이 남는 현상을 잔향이라 한다[2]. 그리고 실내의 잔향이 어느 정도 남아 있는 시간을 양적으로 표현하는 것을 잔향 시간이라고 하며, 잔향 시간은 음이 정지한 후의 에너지 밀도가  $0^{-6}$ (60dB)까지 감소되는데 걸리는 시간을 말한다. 잔향 시간은 다음의 식(2)에 의해 구할 수 있다[9].

$$t = 0.049v/a \quad (2)$$

여기서  $t$ 는 잔향 시간을 나타내고,  $v$ 는 실내 공간의 용적(높이×폭×길이),  $a$ 는 실내 공간의 전체적인 흡음률을 나타낸다. 이 잔향 시간은 실내 공간의 구조, 습도와 온도,

그리고 주파수의 종류 등에 따라서 값이 변화될 수 있다.

잔향은 일반적으로 전 방향에서 사람에게 전달되기 때문에 대부분의 사람들은 자연적인 공간에서 생기는 잔향의 방향을 거의 인지하지 못한다. 또 출력이 하나인 잔향 시스템의 소리는 자연스러운 잔향을 만들어 낼 수 없으며 적어도 두 개 이상의 잔향 시스템이 갖춰져야 한다.

두 신호의 음색과 레벨이 거의 같으면 모노 신호로 들리는 게 일반적이지만 잔향 시스템은 두 신호에 임의의 위상 편이가 생기기 때문에 공간성을 가지는 신호를 만들어 낸다[9].

#### 3.2 잔향 처리(Reverberation Processing)

본 논문에서는 음상 정위된 음원에 입체음향의 확산 효과를 부여하기 위하여 웨이블릿 필터 뱅크를 이용한 시간지연을 삽입하였다. 또한 잔향시간의 제어를 통해 공간의 크기에 따른 공간감 부여를 위해서 상용 소프트웨어인 Cool edit pro를 이용해서 공간의 크기가 가지는 효과를 포함시켰다.

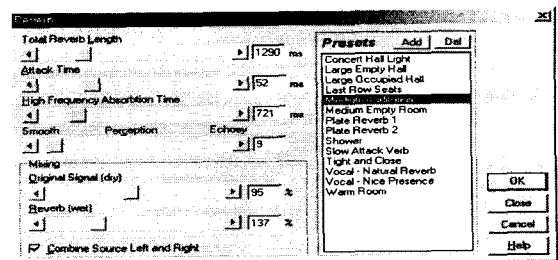


그림 4. Cool Edit에서의 잔향 처리  
Fig 4. Reverberation processing using cool edit pro

그림 4는 Cool edit pro에서 잔향 처리를 위한 도구를 보여주고 있다. 고주파 흡수 시간은 공간감의 효과를 부과하기 위한 파라미터이다. 음향 환경 하에서 고주파 신호는 저주파 신호보다 훨씬 빠르게 감쇠하는 경향이 있다. 고주파 성분에 해당하는 신호들이 잔향이 감쇠하는 시간동안 자연스러운 흡수 작용에 의해 줄어들 수 있도록 고주파 흡수 시간을 이용한다. 빠른 흡수 시간은 극장과 같은 공간에서 좌석이 점령되어 있고, 가구나 카펫 등의 설치를 고려하는 것이 된다[10].

### IV. 실험 및 주관평가 결과

#### 4.1 여러 가지 샘플링률을 가지는 HRTF의 비교

본 실험은 기존의 머리전달함수와 다운 샘플링을 통하여 샘플링률을 감소시킨 머리전달함수가 실험 음원과의 컨벌루션 처리를 거친 음의 방향 정위에 문제가 없음을 보여준다.

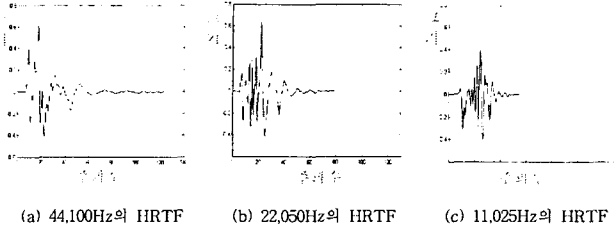


그림 5. 샘플링률에 따른 머리전달함수의 파형  
 Fig 5. HRTF's waveform according to sampling rate  
 (a) 44,100Hz HRTF (b) 22,050Hz HRTF  
 (c) 11,025Hz의 HRTF

그림 5는 기존의 머리전달함수의 샘플링률을 22kHz와 11kHz로 변화시켰을 때의 머리전달함수 파형을 나타낸다. 그림 5의 실험 음원은 방위각이 30도이고 상승각이 0도인 머리전달함수의 오른쪽 채널의 샘플링률을 각기 다르게 처리한 파형을 나타내고 있다. 진폭의 크기는 머리전달함수의 샘플링률을 달리하면서 약간의 감소 추세를 보이며, 각각의 머리전달함수의 파형 형태는 다운샘플링 전의 머리전달함수와 비교해서 거의 같은 모양을 유지하고 있다. 하지만 11kHz 대역의 머리전달함수는 음상이 올바르게 정위되지 않는 문제점을 나타냈다.

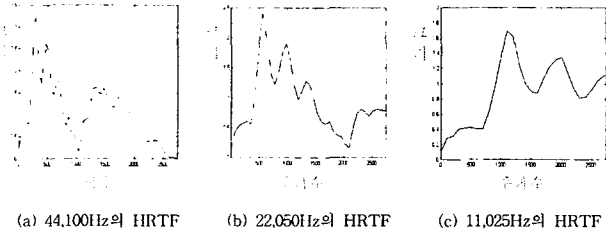


그림 6. 샘플링률에 따른 HRTF의 기본주파수  
 Fig 6. HRTF's fundamental frequency based on sampling rate  
 (a) 44,100Hz HRTF (b) 22,050Hz HRTF  
 (c) 11,025Hz의 HRTF

그림 6은 샘플링률이 다른 머리전달함수의 기본주파수 값에 대한 실험 결과를 보여준다. 이 실험에서 11kHz 대역의 머리전달함수를 사용했을 때의 음상 정위가 올바르게 이루어지지 못하는 원인을 확인할 수 있다. 44,100Hz의 머리전달함수 데이터를 가지는 a에서 b로 샘플링률이 절반으로 감소했을 경우, 기본주파수의 첫 번째 배음은 각각 250Hz와 500Hz에서 유지되고, c의 경우는 첫 번째 배음이 약 1,000Hz 부근에서 형성되고 있음을 확인할 수 있다. 샘플링률을 감소시켰을 경우 22kHz 이하에서는 기본주파수의 첫 번째 배음이 이동하는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 첫 번째 배음이 2배수 이상 이동할 경우, 음상의 정위가 올바르게 이루어지지 않는 원인을 제공하는 것으로 판단할 수 있었다.

4.2 HRTF 적용된 음파 시간 지연시킨 음의 상관 계수 값 비교

표 1은 시간 지연에 따른 신호의 상관계수 값을 나타낸 것이다. 상관계수 값의 측정은 왼쪽 채널에 시간 지연을 삽입하고 시간 지연을 삽입하지 않은 오른쪽 음파의 상관관계를 측정하는 방법을 취하였다. 시간 지연에 따른 상관계수 값의 확인을 위해서 약 4.4초의 연주시간을 가지는 첼로 연주음을 사용하였다. 시간 지연이 길어질수록 음의 확산 정도를 평가하기 위한 상관계수의 값도 함께 증가함을 볼 수 있다. 또한 단순히 시간 지연만을 부과했을 때와 시간 지연 신호에서 발생한 잡음 신호를 제어한 후에 만들어진 음파의 상관계수 값을 비교했을 때 후자의 상관계수 값이 훨씬 개선되었음을 확인할 수 있다.

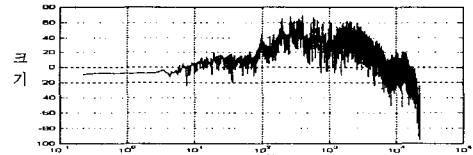
표 1. 시간 지연과 상관 계수와의 관계  
 Table 1. Relation between time delays and correlation coefficients

시간지연	상관계수(Correlation coefficient)	
	시간 지연만을 적용한 음	상관계수 제어후의 음
7.25ms	0.1077	-0.0487
14.5ms	-0.1184	-0.0616
17.4ms	0.2284	0.1819

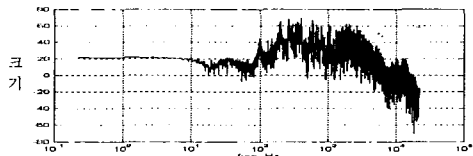
4.3 실험 음원과 최종 결과 음의 파형 분석

4.3.1 첼로 연주음을 통한 파형 분석

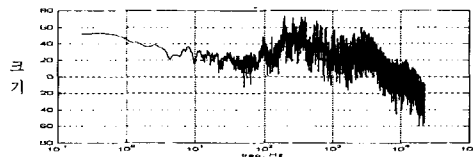
그림 7은 4.4초의 연주시간을 가지는 첼로 음을 주파수 영역에서 본 파형이다.



(a) 머리전달함수만을 적용한 첼로 음의 파형



(b) 시간 지연을 포함한 첼로 음의 파형



(c) 첼로 음의 최종 파형

그림 7. 첼로 연주음의 주파수 영역에서의 파형  
 Fig 7. Waveform of frequency domain of the cello  
 (a) Waveform of the cello using HRTF  
 (b) Waveform of cello including time delay  
 (c) Waveform of final sound

그림 7(a)과 그림 7(b)의 첼로 연주음의 파형을 비교하면 머리전달함수만을 적용하여 만든 음과 여기에 시간 지연 회로를 이용했을 때의 파형이 10Hz에서 10kHz 부근까지 시각적으로도 차이를 나타냄을 확인할 수 있었다. 특히 사람의 귀가 저주파수에서 예민함을 보이는 것과 관련하여 그림에서 보이는 파형의 차이는 청취자에게 다소의 영향을 미칠 수 있을 것으로 본다. 그림 7(c)의 파형은 시간 지연을 삽입하여 확산 효과를 부여한 이후에 잔향을 이용하여 실내 공간의 크기 정보를 가지는 최종적인 음의 파형을 나타낸 것이다.

본 논문에서는 시간 지연시킨 음원에 실내 공간이 가지는 크기 정보를 포함시키기 위해서 상용 소프트웨어인 Cool Edit Pro를 이용하였다. 앞의 그림 4에서 보는 것처럼, 전체 잔향 길이는 1,290ms를 주었고 Attack Time은 52ms, 고주파 흡수 시간은 721ms, Perception은 9, 그리고 Mixing에서 원음 신호를 95%, 잔향을 137%를 가해서 중간 규모의 강당에 해당하는 공간 정보가 부가된 최종적인 음원을 만들어냈다.

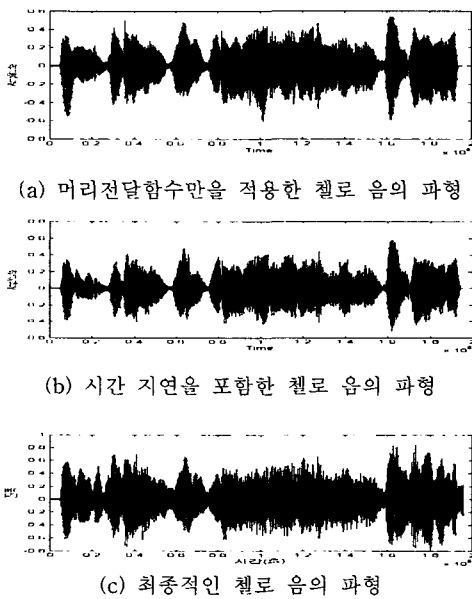


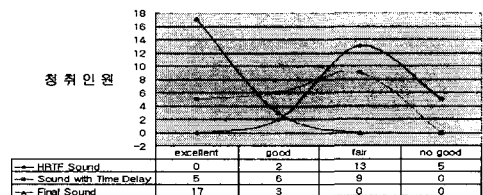
그림 8. 첼로 연주음의 시간 영역에서의 파형  
Fig 8. Waveform of time domain of the cello  
(a) Waveform of the cello using HRTF  
(b) Waveform of the cello including time delay  
(c) Waveform of final sound

그림 8은 시간영역에서의 첼로 연주음에 대한 파형을 보여준다. 그림 8(a)은 첼로 음원에 머리전달함수를 컨벌루션 처리하여 나타낸 파형이고, 그림 8(b)은 (a)의 음원 데이터에 웨이블릿 필터 뱅크를 이용해서 시간 지연시킨 음의 파형을 나타낸다. 마지막으로 그림 8(c)은 공간의 크기 정보를 부가하기 위해서 잔향 처리를 한 최종 음의 파형을 나타낸다. 그림 8의 파형을 분석하면 그림 8(a), 그림 8(b)의 초반 도입부와 중간부에서 파형의 모습이 머리전달함수만을 적용했을 때와 시간 지연을 포함한 음 사이에서 다소의 차이를 보이고 있음을 확인할 수 있다.

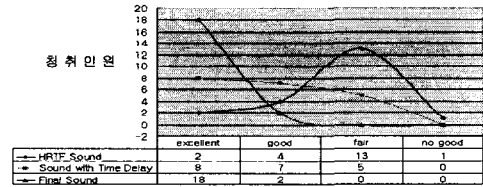
그림 8(c)의 경우에는 실험 음원 전체에 걸쳐서 잔향이 삽입되어 있음을 확인할 수 있다. 그리고 원음의 크기는 어느 정도 감소시킨 상태에서 잔향처리를 하면 더욱 효과적인 공간의 크기 정보를 취할 수 있다[10].

#### 4.4 주관평가 결과

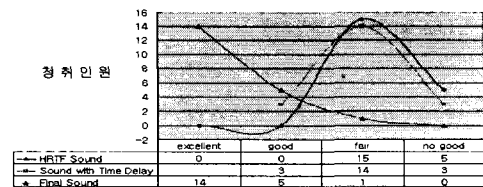
입체음향에 대한 기초적인 지식이 전혀 없는 피실험자들을 대상으로 최종적으로 만든 음에 대해서 주관적인 청취 평가 실험을 실시했다. 그림 9는 피실험자들의 청취 음원에 대한 확산감 효과의 양호 정도를 그래프로 보여주고 있다. 실험 음원은 4.4초의 첼로 연주음과 5.8초의 스와니 강 소프라노 곡, 그리고 트럼펫 연주곡과 피아노 연주곡 등을 가지고 실시했으며, 각각의 실험 음은 머리전달함수만을 적용했을 때와 시간 지연의 효과를 포함했을 때, 그리고 잔향처리 이후의 공간 정보를 가지는 최종 음 등의 3가지 경우에서 실시했다.



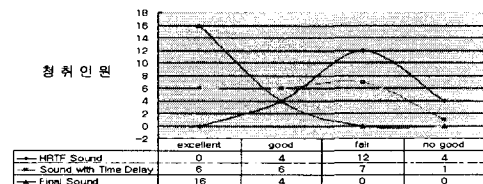
(a) 첼로 연주곡에 대한 청취결과



(b) 스와니 강(노래)에 대한 청취결과



(c) 트럼펫 연주곡에 대한 청취결과



(d) 피아노 연주곡에 대한 청취결과

그림 9. 실험 음원에 대한 피 실험자들의 청취 평가 결과  
fig 9. Result of hearing test for experimental sound  
(a) result of hearing test for the cello  
(b) result of hearing test for the swanee river  
(c) result of hearing test for the trumpet  
(d) result of hearing test for the piano

그림 9(a)의 첼로 연주음에 대한 청취 결과에서 볼 수 있듯이 머리전달함수만을 적용시켰을 때의 음보다는 제안된 알고리즘으로 최종 생성된 음의 확산감의 정도가 훨씬 좋게 나타남을 확인할 수 있다. 그림 9(b)는 스와니 강에 대한 피실험자들의 청취 결과에 대해 보여주고 있다. 이 경우 역시 머리전달함수만을 적용시킨 원음보다 최종 생성된 음의 확산감 및 공간감이 더 나아졌음을 확인할 수 있다. 그림 9(c)는 트럼펫 연주곡에 대한 청취 결과를 보여주고 있다. 트럼펫 곡의 경우는 다른 청취 실험의 결과와는 다르게 머리전달함수만을 적용했을 때의 결과와 여기에 시간 지연을 시켰을 때의 결과가 거의 변화가 없을 보이고 있는데, 이는 음이 끊어지는 경우를 처리하지 못한 결과 때문에 에코가 발생하기 때문이다. 최종적으로 잔향 처리 후에 만들어진 음은 이러한 비연속 음에 대한 문제를 해결해 주고 있음을 그래프는 보여주고 있다. 그림 9(d)는 피아노 연주곡에 대한 청취 결과를 보여준다. 피아노 역시도 확산감이 부여되고 공간의 크기 정보를 가지고 있는 최종 음의 경우가 가장 양호한 청취 결과를 보여주고 있다. 스와니 강이 다른 연주곡들보다 세 가지 경우(머리전달함수만을 적용한 음, 시간 지연을 통해 확산감이 부여된 음, 잔향 처리 후에 공간의 크기 정보가 포함된 음) 모두에서 확산감이 더 좋게 나오는 것은 본 논문에서 제안한 연구의 결과인 음의 확산 효과에 대한 영향뿐만 아니라 피 실험자들이 경험으로 가지는 음(스와니 강)에 대한 친숙도에 따른 것으로 보인다.

본 연구에서 실험음원으로 이용한 악기는 첼로, 피아노, 기타, 트럼펫 음 등이고, 미국 민요인 스와니 강도 연구음원으로 사용했다. 모든 악기에서 음의 확산 정도가 양호한 결과를 보였으며 잔향 처리 이후의 공간의 크기 정보에 대한 인식 역시 주관평가 결과에서 이를 검증했다. 트럼펫과 같이 연주음이 끊어지는 경우가 발생할 경우라도 공간의 크기 정보를 처리하기 위한 잔향 삽입 과정에서 음의 확산감을 효과적으로 만들어 낼 수 있음을 검증하였다.

## V. 결론

본 논문에서는 머리전달함수를 이용해 음상을 정위하던 기존의 음향 시스템에 음의 확산 효과를 부여하기 위해서 웨이블릿을 이용한 음의 확산 제어 시스템을 구현하였다. 웨이블릿을 이용하여 필터 뱅크를 구성하고 음의 확산에 영향을 미치는 최소 주파수 대역에 시간 지연을 삽입함으로써 음의 확산감 및 공간감에 효과를 더할 수 있었다. 기존의 머리전달함수 데이터의 샘플링률을 낮추어서 시스템을 구현함으로써 해서 음상의 정위에도 문제가 없음을 확인할 수 있었다. 공간의 크기 정보를 포함시키기 위한 방법으로 잔향 처리를 통하여 효과적인 확산감을 가지는 음을 만들어 낼 수 있었다.

본 논문에서 제안한 시스템은 실험음원으로 이용한 첼

로, 피아노, 기타, 트럼펫 등의 음에서 모두 양질의 확산 효과와 공간 효과를 나타냈다. 다만, 연주음이 끊어지는 경우가 발생하는 트럼펫과 같은 악기는 공간 정보를 포함시키기 위한 잔향 처리 과정에서 효과적인 확산감을 부여할 수 있었다. 음의 확산 정도를 측정하기 위해서 이용한 상관계수 값의 비교에서도 머리전달함수만을 적용한 최초의 음보다는 본 연구에서 제안한 시스템으로 시간 지연을 시키고 확산감을 부여한 음이 향상된 데이터 값을 가지는 것을 확인할 수 있었다.

본 연구의 주관평가 결과에서도 제안한 시스템은 입체음향을 위한 음의 확산 효과 및 공간 크기 정보 부분에서 양호한 결과를 보임을 확인할 수 있었다.

향후 연구과제로는 확산 음원에 컷바퀴 효과와 같은 사람의 청각 심리 모델을 적용하는 연구가 계속 진행되어야 할 것으로 본다.

## 참고문헌

- [1] 최갑근, 방송법 외 2, "5.1채널 스피커 시스템에서 트랜스오럴 필터 구현에 관한 연구", 한국음향학회지 제 21 권 제 3 호, pp.245-255, 2002.
- [2] 강성훈, 강경옥 공저, 입체 음향, 기전연구사, 1997.
- [3] 황신, 양진우 외 2, "1/3-옥타브 대역통과필터를 이용한 음상정위기법 성능 향상", 한국음향학회지 제20권 제3호, pp.98-103, 2001.
- [4] 이동우, 김영오 외 2, "실시간 입체 음상 제어 시스템의 구현", 한국음향학회지 제 18 권 제 3 호, pp.79-87, 1999.
- [5] HRTF Measurements of a KEMAR Dummy-Head Microphone MIT Media Lab Perceptual Computing - Technical Report #280.
- [6] S. Carlile, The Physical and Psychophysical Basis of Sound Localization, in Virtual Auditory Space: Generation and Applications, S. Carlile, Ed. Austin, TX: R. G. Landes, pp.27-78, 1996.
- [7] J. Blauert, Spatial Hearing. The psychophysics of human sound localization, revised edition, MIT press, Cambridge MA, 1997
- [8] A. Akansu and R. A. Haddad, *Multiresolution Signal Decomposition*, Academic Press, pp.304-333, 1992.
- [9] 장인석 저, 사운드 레코딩 테크닉, CP&R, pp.28-30, pp.176-177, 2000.
- [10] Cool Edit pro User Guide,  
["http://support.svnrillium.com/tutorials.html"](http://support.svnrillium.com/tutorials.html)



김 익 형(Ig-Hyeong Kim)

正會員

1999년 울산대학교 컴퓨터공학과 졸업

2002년 울산대학교 컴퓨터공학(석사)

2001년 ~ 현재 (주)팜캐스트 연구개발  
실장

관심분야 : 음성 및 오디오 신호처리, 멀티미디어 시스템, 화상통신



정 의 필(Ui-pil Chong)

正會員

1978년 울산대학교 전기공학과 졸업

1980년 고려대학교 전기공학과(석사)

1985년 미국 Oregon State University  
(공학석사)

1997년 미국 Polytechnic University(공학박사)

관심분야 : 신호처리, 멀티미디어, 컴퓨터음향

---