

논문 2005-42SP-4-19

## 5.1 채널 스피커 시스템 음향재생을 위한 크로스토크 제거방법

(A method of the cross-talk cancellation for an sound reproduction of 5.1 channel speaker system)

이수정\*, 최갑근\*, 김순협\*\*

(Soojeong Lee, Gabken Choi, and SoonHyob Kim)

### 요약

스피커를 이용한 5.1채널 재생시 필연적으로 나타나는 현상인 크로스토크를 제거하여 청취자에게 보다 입체적인 음을 재현하는 방법에 관한 것이다. 정면 또는 후면에 위치한 스피커로부터 좌우측 귀로 입사되는 교차경로의 음을 제거하여 청취자에게 정확한 음을 제시하는 방법에 대해 기술하였다. 그리고 이것을 2채널 및 5.1 채널에 적용하여 재생하는 방법에 대해 기술하였다. 크로스토크를 제거하기 위한 방법으로는 자유음장 모델을 이용하였다. 이 모델은 음질의 왜곡을 최소화하는 장점을 가지며 근래에 들어 많은 학자들에 의해 연구되고 있다.<sup>[3][5]</sup> 구체적으로 크로스토크를 제거 하는 방법으로는 정면 스피커 재생음에 대해서 가청주파수 영역에서 심리음향에 기초한 바크 스케일(bark scale)[7]을 사용한 음질 보상방법을 사용하였으며 서라운드 채널에 관해서는 재생되는 주파수 제한대역에 근거하여 밴드패스 필터를 추가하여 크로스토크 제거를 실시하였다.

### Abstract

This thesis deals with a method to deliver more realistic sound by cancelling the cross-talk which is inherent to the 5.1 channel speaker system. First, the cross-talk cancellation method that eliminates cross-talks on the path from left speaker to right ear and from right speaker to left ear is explained. Then the application and replaying method using the cross-talk cancellation explained here is introduced. The acoustical model for cross-talk cancellation is the free field model. This model minimizes distortion of sound. Many experts also make studies on this model. I used the bark scale sound quality compensation based on psycho-acoustic. For the surround channels, band-limited sound quality compensation is performed in the frequency domain.

**Keywords:** Spatial sound, Cross-talk cancellation, Transaural filter, Sound assessment

### I. 서론

이 논문은 멀티 채널시스템에서 영화감상이나 현장감 있는 음향재현에 있어 가장 효율적이고, 대중화된 방법인 5.1채널을 이용한 청취에서 청취자의 정면에 위치한 L, C, R 채널간의 크로스토크와 Ls, Rs 의 서라운드 채널의 크로스토크를 제거하여 청취자에게 보다 입체적인 음을 제시하는 방법에 관한 것이다. 크로스토크를 제거하기 위한 기법은 자유 음장 모델을 사용하였다. 이 모델은 음질의 왜곡을 최소화 할 수 있는 장점이 있

는 것으로 알려져 있다.<sup>[3][5][6]</sup>

5.1 채널의 경우 일반적인 스테레오 음원과는 다른 재생 포맷을 가지고 있다. 이 경우 정면(front)과 서라운드(surround)의 역할이 각기 다르다. 이 논문에서는 5.1 채널 시 발생하는 교차경로를 자유음장 모델링을 사용하여 크로스토크를 제거하고, 각 스피커에 공급되는 소리의 주파수 범위와 돌비프로로직의 저작물 재생 주파수 범위를 참고하여 각 재생물에 대해 실험하였다. 재생 시 2채널에서 정면채널(front channel)의 효과를 살펴보면, 크로스토크 제거시 와 비 제거시, 그리고 기존의 5.1채널 재생과 비교하여 정면 및 서라운드에 대해 평가하였다. 일련의 실험들은 ITU-R 기준을 만족하는 청취실 에서 행하였다.<sup>[2][4]</sup>

정면에 위치한 채널에서의 크로스토크는 제작물에 따라 L, R의 음을 단순히 합하여 중앙의 C 스피커를

\* 학생회원, \*\* 정회원, 광운대학교 컴퓨터공학과  
(Department of Computer Engineering, Kwangwoon University)

※ 이 논문은 2004학년도 광운대학교 교내학술연구비 지원에 의한 것임  
접수일자: 2004년11월24일, 수정완료일: 2005년2월24일

통하여 재생하는 돌비프로로직의 제작물과 DTS 와 같 이 L, C, R 이 분리되어 제공되는 경우에 대하여 효과적인 재생법에 대한 실험을 수행하였고, 크로스토크 제거시의 장점에 대한 검증을 수행하였다. 그리고 주파수 제한적인 음원이 공급되는 재생 시  $S_L, S_R$  채널과 같은 경우를 포함하여 청취자의 선호도에 대한 주관 평가를 실시하였다. 여기에는 주파수 제한적인 몇 개의 필터를 조합하여 크로스토크 제거 기법을 사용하였다. 이것의 구현과 실험을 위한 편집 장치를 윈도우에서 동작하도록 구현하였다. 트랜스 오럴 필터를 내장하여 서라운드 및 정면 채널을 편집이 가능하게 하였다. 이 장치는 멀티채널을 지원하는 오디오 카드나 사운드 카드를 이용하여 제작된 음원의 전체 실험이 이루어 졌다.

## II. 재생방법에 따른 크로스토크 제거

### 1. 2 채널 크로스토크 제거

기존의 측정 머리전달함수를 이용한 크로스토크 (crosstalk) 제거<sup>[1]</sup>의 문제점인 음색 왜곡과 음질 저하를 최소화하기 위한 고전적 자유음장 모델을 선정하였다. 여기서 스피커로부터 방사되는 음원은 점음원 으로 간주한다. 청취자는 항상 자신의 머리, 상체 등 신체 구조에 따른 자신의 음향학적 음압 전달 특성에 따라 들리는 음을 가장 자연스러운 음으로 인식한다. 자유음장 모델은 양 귀 주위의 재현에 초점을 맞추고 있으며, 고막위치에서의 음압 재현은 아니다.

$$P(r;f) = \rho_0 \cdot j\omega \cdot q \cdot \frac{\exp(-jkr)}{4\pi r} \quad (1)$$

위 식에서  $\rho_0$  = 공기의 밀도,  $j\omega \cdot q$  = 음원의 체적 가속도 (volume acceleration),  $k$  = 파수 ( $\omega/C_0$ ;  $\omega$ =각속도,  $C_0$ =음속)이다.

음원의 특성치  $V = \rho_0 \cdot j\omega \cdot q/4\pi$ 라 하면, 공간위치에 대한 음원의 음압 전달함수는 다음과 같다.

$$C(r;f) = \frac{P}{V} = \frac{\exp(-jkr)}{r} \quad (2)$$

그림 1은 스피커와 청취자의 기하학적 구성도 이다.  $R_0$ 는 음원에서 머리 중심까지의 거리이고,  $R_1$ 과  $R_2$ 는 음원에 근접한 귀까지의 경로와 먼 쪽 귀와의 경로의 거리이며,  $\theta$ 는 머리의 중심점과 스피커와의 각도, 그리고  $a$ 는 청취자 머리의 반경이다. 여기서 직접경로 R

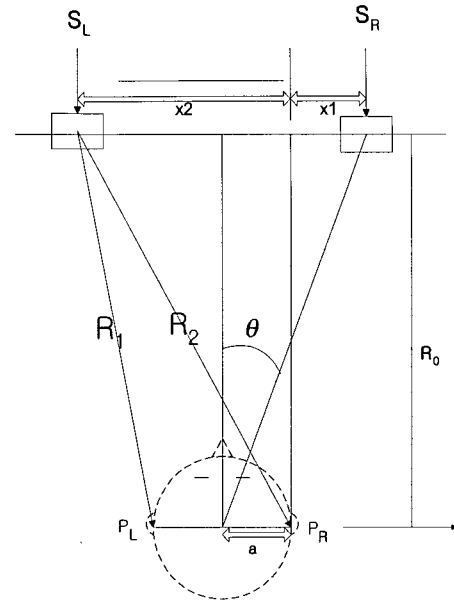


그림 1. 청취자와 스피커에 대한 구성  
Fig. 1. construction of a listener and speaker.

과 교차경로  $R_2$  의 계산은 다음과 같고

$$\begin{aligned} R_1 &= \sqrt{R_0^2 + a^2 - 2a R_0 \cdot \sin \theta} \\ R_2 &= \sqrt{R_0^2 - a^2 - 2a R_0 \cdot \sin \theta} \end{aligned} \quad (3)$$

근접 경로와 교차경로와의 음압 비  $g_c$ 와 두 경로차이에 의한 음압도달 시간  $\tau_c$ 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} g_c &= C(R_2;f)/C(R_1;f) = R_1 / R_2 \\ \tau_c &= (R_2 - R_1) / C_0 \end{aligned} \quad (4)$$

여기서 음압 비  $g_c$ 는 항상 1 보다 작다.

### 2. 트랜스오럴 필터의 음향학적 고찰

그림 1과 같이 구성된 좌·우측 스피커의 구동 음원 신호  $\{S_L, S_R\}$ 이라 할 때, 식 (2)의 음압 전달함수로 부터 양 귀의 직접경로 음압은

$$\begin{aligned} P_{LL}(R_L;f) &= S_L(f) \cdot e^{-jkR_L}/R_L \\ P_{RR}(R_R;f) &= S_R(f) \cdot e^{-jkR_R}/R_R \end{aligned} \quad (5)$$

좌우 교차 성분인 크로스 토크 경로 음압은

$$\begin{aligned} P_{RL}(R_r;f) &= S_L(f) \cdot e^{-jkR_r}/R_r \\ P_{LR}(R_r;f) &= S_R(f) \cdot e^{-jkR_r}/R_r \end{aligned} \quad (6)$$

로 각각 기술된다. 따라서, 좌우 귀 음압  $\{P_L, P_R\}$  은 식 (5)과 식 (6)의 음압 성분들의 합으로 기술된다.

$$\begin{bmatrix} P_L(f) \\ P_R(f) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{e^{-jkR_1}}{R_1} & \frac{e^{-jkR_2}}{R_2} \\ \frac{e^{-jkR_2}}{R_2} & \frac{e^{-jkR_1}}{R_1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_L(f) \\ S_R(f) \end{bmatrix} \quad (7)$$

식 (7)은 좌, 우측 음원을 두 스피커에 구동할 때 양 귀 주변의 음압에 대한 모델이다. 이때 2채널 스피커 구동 신호는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} S_L(f) &= |G(f)| \cdot [P_L(f) - P_R(f) \cdot g_c e^{-j\omega\tau_c}] \\ S_R(f) &= |G(f)| \cdot [P_R(f) - P_L(f) \cdot g_c e^{-j\omega\tau_c}] \end{aligned} \quad (8)$$

$G(f)$ 는 다음과 같은 복소수 함수이다.<sup>[9]</sup>

$$G(f; R_0, \theta) = \frac{g_c \cdot e^{+j\omega\tau_c}}{1 - g_c^2 \cdot e^{-j2\omega\tau_c}} \quad (9)$$

따라서, 식 (9)의  $|G(f)|$ 는 좌우 스피커에 동일하게 인가하는 이득(gain) 값이다. 우측 귀의 음압  $P_R=0$  이라 가정하면, 좌측 스피커는  $P_L$ 에 비례하는 성분만을 구동하고 우측 스피커는  $(-g_c \cdot e^{-j\omega\tau}) \times P_L$ 에 비례하는 신호를 구동하게 된다. 이때, 우측 구동 신호  $(-g_c \cdot e^{-j\omega\tau}) \times P_L$ 는 좌측 구동 스피커 구동신호

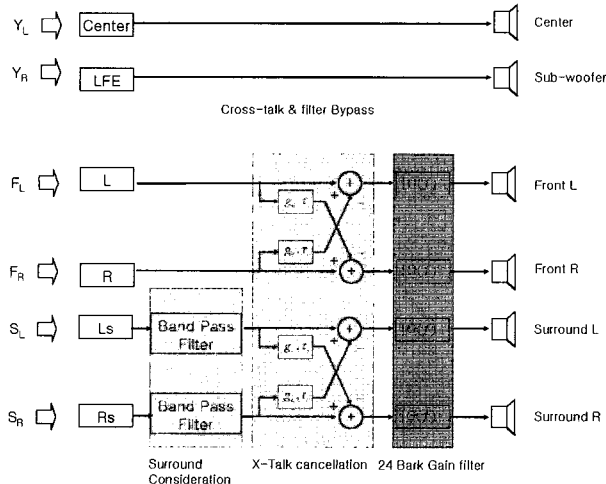


그림 2. 5.1채널 트랜스오럴 필터링  
Fig. 2. Trans-aural filtering of the 5.1 channel.

$P_L$ 에 좌우측 귀의 상대적 음압 비(Relative ILD) 만큼의 이득을  $g_c (g_c < 1)$  적용과 양 귀 도달 시간차이 ITD 만큼 시간지연인  $\tau_c$  적용, 그리고 위상 180°변환을 각각 적용하는 과정을 의미한다. 이러한 세 가지 과정(ILD, ITD, 위상반전)을 거쳐 얻어진 우측 신호와 좌측 신호를 동시에 스피커에 인가할 때, 스피커의 교차 전달 경로에 의한 교차 전달음압 성분이 제거된다. 이러한 연산 과정을 도식화하면 그림 2의 교차성분 제거부와 같이 표시된다.

정면채널과 서라운드 채널에 인가되는 정보는 좌우 채널에 동일하게 인가하게 되기 때문에 청각 기관의 인지에는 영향을 미치지 않는다. 그림 1에서 보인 바와 같이 청취자와 스피커의 거리 및 각도  $\{R_0, \theta\}$ 에 따라 좌우 채널의 이득을  $|G(f)|$ 는 결정된다.

### 3. 트랜스오럴 필터의 구현

좌·우측 스피커의 이득 (Gain) 함수인  $|G(f)|$ 를 구현하는 방법을 알아보면, 그림 1은 음원과 거리  $R_0 = 1.7 m$  이고, 청취자와 스피커의 각도  $\theta = 30^\circ$ 에 대한 이득율은 그림 3에서 보는 것과 같다.

이득율 함수의 최대값  $|G|_{\max} = g_c / (1 - g_c^2)$  이고 최소값은  $|G|_{\min} = g_c / (1 + g_c^2)$ 이다. 그림 1에 보인 경우와 같이 거리  $R_0 = 1.7 m$  이고 스피커의 각도  $30^\circ$ 도인 경우  $g_c(30^\circ) = 0.9577$ 이다. 청취자와 스피커의 각도가  $30^\circ$ 인 경우  $|G|_{\max} = 21.3 dB$ ,  $|G|_{\min} = -6 dB$ 로 각각 확인되었다. 스피커 위치가  $\pm 30^\circ$ 의 결과이다. 저주파에서 이득보상이 필요하며 이것의 적절한 보상이 필요함을 알 수 있다. 트랜스오럴 필터의 구현에서 직면하는 가장 기본적 문제점은 그림

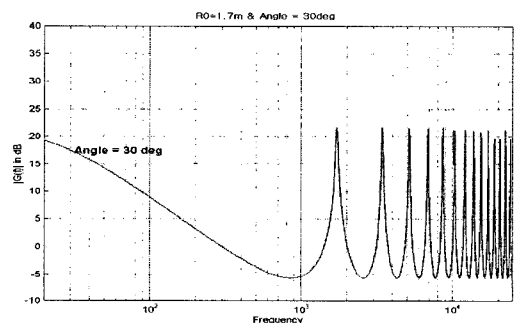


그림 3. 트랜스오럴필터 이득함수  
Fig. 3. The gain function of the trans-auralfilter.

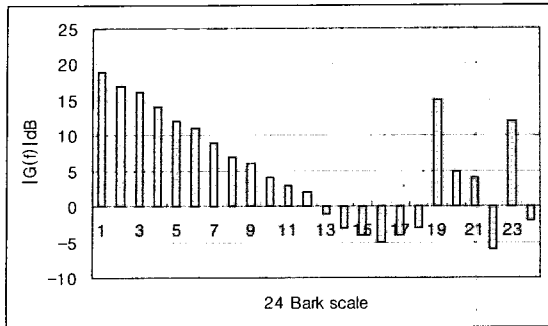


그림 4. 바크스케일 등가이득  
Fig. 4. An equivalent gain of the bark scale.

3에 보인 이득함수의 효과적 보상에 있다. 기존 트랜스오럴 필터 기법<sup>[1][3]</sup>들은 위의 문제에 대한 효과적으로 해결방안 제시를 못하고 있는 실정이다. 그림1에서 보인바와 같이 일반적으로 가장 널리 이용되고 있는 청취자와 스피커의 각도가 30°인 경우, 20 kHz까지의 가청 범위에서 11개의 피크를 갖는 이득함수  $|G(f)|$ 의 주파수 특성은 디지털 필터로 구현할 때 음색 왜곡과 음질 저하를 야기할 수 있는 인자임을 알 수 있다.<sup>[3]</sup>

본 연구에서는 다수의 피크를 갖는 이득함수  $|G(f)|$ 의 주파수 특성을 만족하는 이득보상 기법을 해결하기 위하여, "Masking" 청각 특성<sup>[8]</sup>을 이용한 유한 대역폭의 등가 이득율 (Equivalent bandwidth gain)을 계산하여 24밴드의 바크 스케일(bark scale)을 이용하여 이득보상을 수행하는 방법을 채택하였다.

특히, 30°인 경우 고주파 영역의 이득율은 이득함수  $|G(f)|$ 가 많은 최대 피크들 때문에 이득 보상량의 증가를 보인다. 그러나 2채널 스피커 시스템(스테레오 시스템)외에 이 방법을 그대로 현재의 모든 음향 시스템에 적용하는 것은 무리가 있다. 현재의 5.1 채널등의 시스템에서는 서브 우퍼의 사용등, 각 스피커간에 각기 다른 주파수 대역의 신호를 인가하여 각 스피커의 역할을 다르게 하고 있다.<sup>[2]</sup>

### III. 구현 및 실험

#### 1. 구현프로그램

앞에서 설명한 트랜스오럴 필터링을 구현하기 위하여 Windows를 기반으로 하는 음원 저작 툴을 저작하였다. 여기에 크로스토크를 제거 기능을 정면의 채널 및 서라운드 음원에 대해 처리를 할 수 있게 하였다. 편집기능을 살펴보면 대용량 데이터 지원 포맷인 RIFF형인 Windows PCM type의 wave data는 윈도우 메모리

보호를 위해 1024Kbyte 단위로 메모리에 로딩 된다. 이때 메모리는 수십 메가바이트에 해당하는 데이터의 효율적인 메모리적재를 위해 가상 메모리를 사용하며 저장방식은 이중 연결리스트를 사용하였다.

원시 웨이브 데이터 파일에 대해 transaural filter는 정면 채널과 서라운드 부분으로 나누어서 크로스토크를 제거 할 수 있다. 정면 채널에 대해서는 앞 절에서 설명한 방법에 따라  $\tau_c$  와  $|G(F)|$ 를 적용후 바크 스케일에 따른 저주파 보상을 수행한다. 단 음상 정위에 커다란 영향을 끼치지 않고 서브우퍼에 공급되는 250Hz 이하의 주파수 범위에 대해서는 처리하지 않는다. 또한 서라운드 채널에 대해서는 5.1채널 포맷의 재생에서 서라운드 채널에 공급되는 주파수 범위에 따라 300Hz~7kHz대역의 대역제한 필터를 거친 후 크로스토크를 제거하게 된다.

그림 5는 위에서 설명한 크로스토크 제거과정을 도식도로 나타낸 것이다.

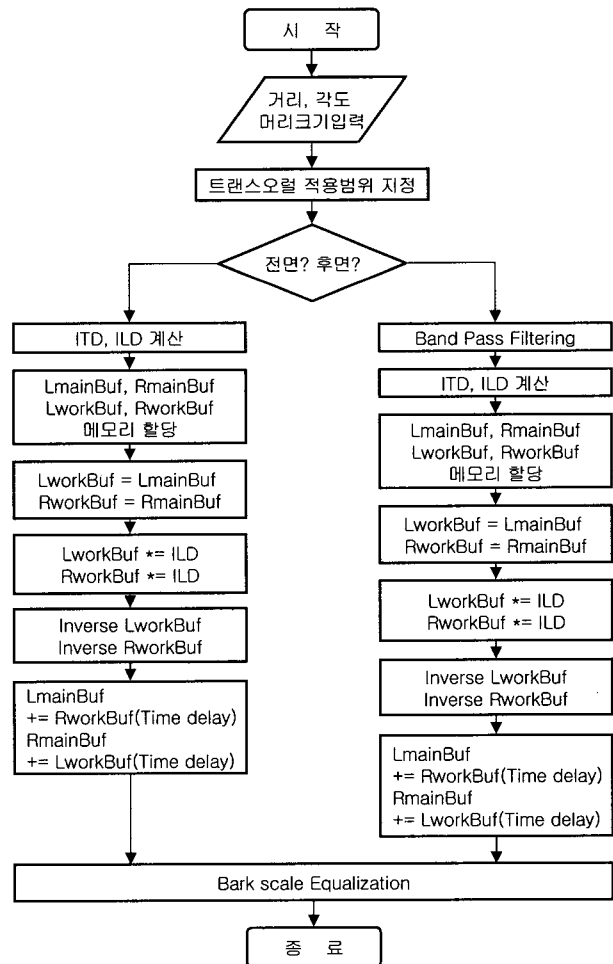


그림 5. 트랜스오럴 필터 순서도  
Fig. 5. Flow chart of the trans-aural filter.

▶ 구현된 프로그램을 살펴보면

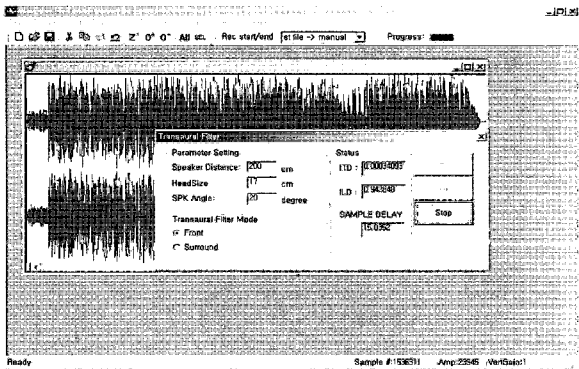


그림 6. 트랜스오럴 필터링  
Fig. 6. The trans-aural filtering.

2. 실험 및 성능평가

가. 실험방법

여기에서는 피험자가 일반 환경에서 표준 TV set으로 재현될 때의 경험하는 문제에 관한 것이다. 단지 음악을 재생하는 스피커의 경우  $\pm 30^\circ$ 의 배치를 가진다.

이 논문에서는 멀티채널 스피커를 사용하여 정면 채널 및 서라운드 채널에 대하여 크로스토크를 제거시 청취자가 인지하는 질을 조사하는 것이 목적이다. 일반적으로 멀티채널 시스템에서 성능 평가 시는 다음의 항목에 대해 실시하는 것이 통례이다.<sup>[4]</sup>

- 1) Low-frequency Reproduction
- 2) Listening & Viewing Position
- 3) Program material
- 4) Reproduction Level

$\pm 30^\circ$ 의 두 개의 앞쪽 스피커는 ITU 권고안에 따라 1.7m의 높이, 주변 밝기는 스크린 주위에서 5 lux 정도의 조도를 유지하였다. 실험 전 재생물에 대해서는 Video sequence의 경우 HDD recording system에 미리 저장되었으며 Audio signal은 ONKYO 5106 decoder

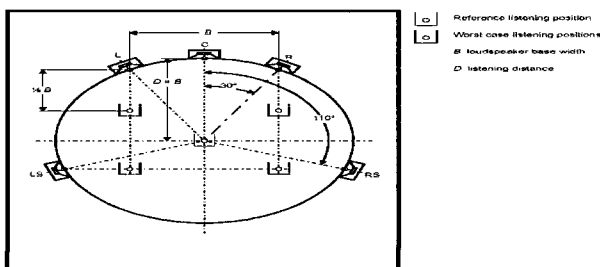


그림 7. ITU-R 권고 청취실 레이아웃  
Fig. 7. ITU-R Recommended listening room layout.

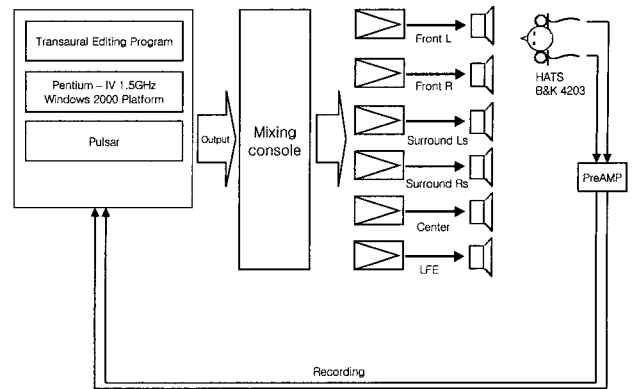


그림 8. 실험장치 계통도  
Fig. 8. Experiment equipment system diagram.

이용하여 HDD에 WAV 파일로 저장되었다. Audio만 있는 신호는 CD(44.1kHz 16 bit)를 이용하였다. 사용된 스피커는 평탄한 주파수 특성을 가진 2way Tannoy series5로 재생하였다.

실험의 진행은 미리 음원이 저장된 PC를 통하여 중앙에 설치된 마이크를 통하여 크로스토크의 성능이 시험되었고, 주관평가 시에는 중앙에 의자를 설치하여 청취자와 스피커간의 거리가 1.7m를 유지하도록 하였다. 서브우퍼의 경우는 SR 용도의 18' 제품을 사용하였다. LFE X-over 주파수는 20Hz- 1000Hz의 가변이 가능한 액티브 형 dBX 320를 사용하였다.

나. 평가용 프로그램 소스

평가 대상과 목적에 따라서 가장 적절한 것을 선택하여 사용하여야 한다. 프로그램 소스는 클래식 음악, 대중음악, 보컬 등을 포함한 것이 바람직하지만 EBU에 의해 제작된 SQM(Sound Quality Assessment Material)을 사용하기도 한다. 가정환경 내에서의 평가를 위해서 현재까지 특별히 제작된 것이 없으며 각 개발자들이 개별적으로 녹음하여 사용하고 있다.<sup>[9]</sup>

본 논문에서의 실험은 일반적 44.1kHz 16bit로 녹음된 음원(Dry source) 2종과 5.1채널로 녹음된 음원 3종 총 5종의 음원을 이용하였다.

- (1). 유라기 공원 - 첫 번째로 유라기 공원에 들어갔을 때의 장면, 여기서 디아노사우르스등의 동물 등장
- (2). 유라기 공원 - 티렉스가 등장시의 장면, 비오는 소리등의 확산음장
- (3). 라이언 일병구하기 - 오마하 해변 상륙장면
- (4). 브리튼 벤자민 "Young persons"
- (5). 레베카피죤 "spanish harlem"

표 1. 5등급 선호도 척도  
Table 1. 5-grade preferences.

점 수	척 도
5	아 주 좋 다
4	좋 다
3	보 통
2	나 썩 다
1	아주나쁘다

다. 주관평가

주관평가는 입체적인 느낌(spatial impression)을 재현하는 것에 대하여 그것의 해상도와 질을 추정하는 데에 그 목적이 있다. 프로그램의 종류에 따라 적절한 평가 항목을 가져야 한다. 5등급의 평가방법을 사용하게 되는 경우에 제시하는 프로그램의 입체적인 느낌이 1에서 5점의 간격을 가진 척도의 등급으로 주관 평가를 실시할 수 있다. '0'은 시청각 프로그램을 제시할 경우 입체적인 느낌이 영상과 아무 상관이 없다는 것을 의미한다. '5'의 경우는 소리의 느낌이 시각과 완전히 일치하는 것을 의미한다.

이 논문에서는 음악의 평가에 흔히 사용되는 5등급 척도를 사용하였다.<sup>[9]</sup>

(1) 주관평가 인자

입체적인 소리에 대한 것은 다음과 같은 인자를 고려하여 평가한다.<sup>[10]</sup>

- 1) 앞의 방향에서 넓이에 관한 입체적인 인상
- 2) 앞의 방향에서 깊이에 관한 입체적인 인상, 그리고
- 3) 소리에 의해 대상물(청취자)이 느끼는 서라운드적인 느낌의 정도

1)-3)의 인자에 대한 가중치는 청취자에 의해 결정되도록 남음.

ITU-R 권고에서는 일대일 비교법에 의한 2개 음의 차이를 엄밀하게 비교할 경우에는 다음의 방법으로 제시할 것을 권고하고 있다. A가 원음이고 B가 평가음일 경우 A, B 모두 평가음일 경우가 있다. 어느 경우에도 제시 순서와 조합을 랜덤하게 해야 한다. 하나의 평가 세션(session)은 시간을 약 15분 ~ 20분 이하로 하며 휴식시간은 평가시간과 같은 정도로 하는 것으로 한다. 간단한 평가를 위해서 1회만 제시하여 평가하기도 한다. 제시방법은 다음의 3, 7에서 보는 것과 같은 제시방

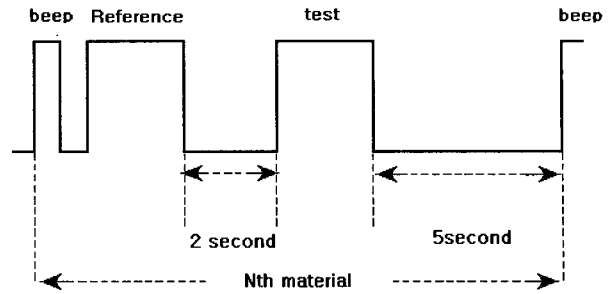


그림 9. 신호제시의 순서  
Fig. 9. Order of signal.

법을 사용하여 평가한다.<sup>[3][7]</sup>

이 실험에서 일대일 평가방법에 따라 미리 녹음된 소스를 A: 기존의 음, B: 크로스토크 제거 된 음을 랜덤하게 피험자에게 제시하였다. 7명의 피험자에게 제시하는 음은 각각 제시 순서가 다른 파일로 미리 녹음하여 주관평가를 실시하였다.

(2) 신호의 제시순서

제시순서	R-A	A-R	R-A를 랜덤 제시
평가			5점의 평가

R : Reference 신호(original), A : Test 신호

라. 트랜스오럴 성능평가

기존의 스테레오에 대한 크로스토크 제거를 확장시켜 5.1채널을 이용한 시스템에서 크로스토크의 적용방법과 이에 따른 트랜스오럴 필터를 구성하였다. 구현된 필터를 이용한 실험결과 20°와 30°에서 좌, 우측(Left&Right)의 값들을 Amplitude의 차이를 살펴보면, 38~42 dB의 크로스토크 제거 (crosstalk cancellation) 성능을 가지고 있고, 1.2kHz에서 균형 있는 성능을 갖는 것으로 나타났다.

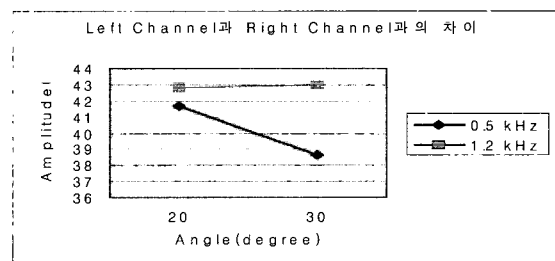


그림 10. 0.5kHz Sine Signl 과 1.2kHz Sine Signl의 스피커 20°와 30°위치에 따른 성능 평가  
Fig. 10. The evaluation of performance of the 0.5kHz Sine Signl and 1.2kHz Sine Signl with a speaker 20° and 30°.

마. 선호도 평가

(1) 5.1채널에서 서라운드채널에 대한 주관평가  
 동원된 청취자는 총 6명이며 3명의 전문가와 3명의 비전문가가 2가지 항목이 있는 설문지에 대해 최고 5점

표 4. 5.1채널(Dolby ProLogic)에서 서라운드채널 음원에 대한 크로스토크 제거 적용여부  
 Table 4. Cross-talk cancelation for surround channel sound source in 5.1 channel(Dolby ProLogic).

①	일반 재생		트랜스오럴 재생		②	일반 재생		트랜스오럴 재생	
	청취자 1	3.8	4.2	청취자 1		4.0	4.2	청취자 2	4.2
청취자 2	4.1	4.4	청취자 2	4.2	4.2	청취자 3	4.0	4.3	
청취자 3	3.9	4.5	청취자 3	4.0	4.3	청취자평균	4.0	4.2	
청취자평균	3.9	4.3	청취자평균	4.0	4.2				
비전문가	청취자 4	4.1	4.1	청취자 4	4.1	4.2	청취자 5	3.9	4.3
	청취자 5	4.0	4.2	청취자 5	3.9	4.3	청취자 6	4.2	4.0
	청취자 6	3.9	3.9	청취자 6	4.2	4.0	청취자평균	4.0	4.1
	청취자평균	4.0	4.0	청취자평균	4.0	4.1			

표 3. 5.1채널(Digital Theater System)에서 서라운드채널 음원에 대한 크로스토크 제거 적용여부  
 Table 3. Cross-talk cancelation for surround channel sound source in 5.1 channel(DTS).

①	일반 재생		트랜스오럴 재생		②	일반 재생		트랜스오럴 재생	
	청취자 1	3.7	4.2	청취자 1		4.0	4.2	청취자 2	4.5
청취자 2	4.0	4.4	청취자 2	4.5	4.5	청취자 3	4.0	4.0	
청취자 3	3.7	4.2	청취자 3	4.0	4.0	청취자평균	4.1	4.2	
청취자평균	3.8	4.2	청취자평균	4.1	4.2				
비전문가	청취자 4	4.0	4.2	청취자 4	3.9	3.8	청취자 5	4.0	4.1
	청취자 5	4.0	4.1	청취자 5	4.0	4.1	청취자 6	4.2	4.1
	청취자 6	3.9	4.0	청취자 6	4.2	4.1	청취자평균	4.0	4.0
	청취자평균	3.9	4.1	청취자평균	4.0	4.0			

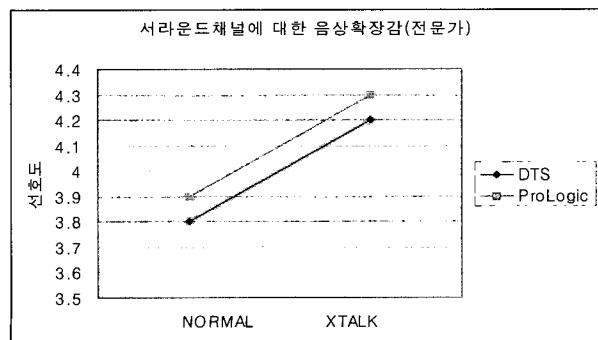


그림 11. 음상의 확장감(전문가)  
 Fig. 11. Sound diffusion(expert).

내의 0.1간격의 점수를 등급 시키도록 하였다.<sup>[4]</sup> 총 5종의 음원에 대해 주관평가 하였다. 그 중 단일음원에 의한 평가결과와 음악을 이용한 평가 결과는 다음과 같다.

(2) 서라운드 채널에 대한 음상 확장감 및 깊이감  
 서라운드 채널에 대한 음상 확장감은 전문가와 비전문가를 나누어 그림 11, 12, 13, 14 에 나타내었다.

IV. 결 론

본 논문에서는 기존의 스테레오에 대한 크로스토크 제거를 확장시켜 5.1채널에서 이용한 시스템에서 크로스토크의 적용방법과 이에 따른 트랜스오럴 필터를 구

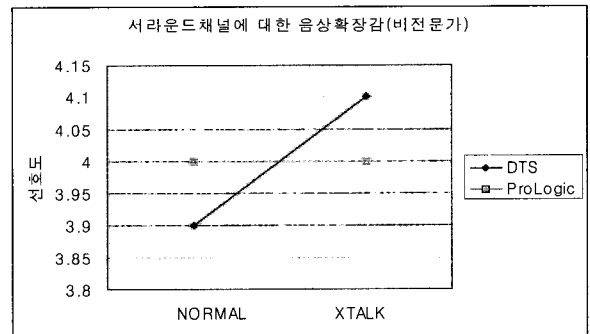


그림 12. 음상의 확장감(비전문가)  
 Fig. 12. Sound diffusion(layman).

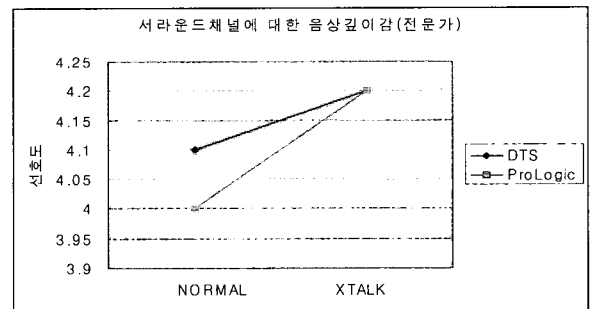


그림 13. 음상의 깊이감(전문가)  
 Fig. 13. Sound depth(expert).

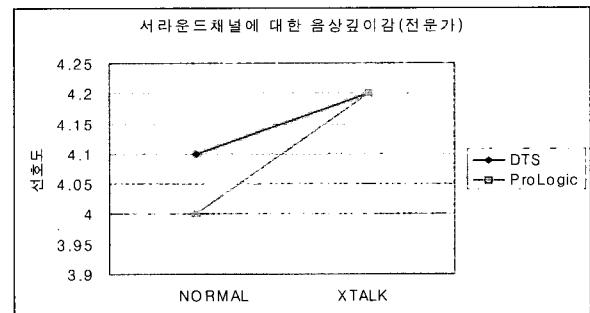


그림 14. 음상의 깊이감(비전문가)  
 Fig. 14. Sound depth(layman).

현하였다. 구현된 필터를 이용하여 실험한 결과 스테레오 폭, 즉 확산감의 영향은 크로스토크의 영향을 제거하였을 때 그 결과가 명백하며, 모든 위치에서 확산감의 증가는 입체적 음질의 향상결과를 보였다. 또한 정면채널의 크로스토크보다 서라운드 채널에서 효과가 더 큰 것을 알 수 있다. 제안된 트랜스오럴 필터는 38dB 이상의 채널 분리도를 보였다.<sup>[11]</sup> 주관평가 시 선택된 제작물은 입체정보의 질의재현과 음장의 변화가 명백한 제작물을 선택 하였으며, 유럽의EUREKA project 주관평가 시 사용된 제작물을 참고하였다. 전문가 및 비전문가를 대상으로 실험한 결과 전문가계층에서는 0.4점 이상 확산감 향상을 얻은 것으로 평가하였다. 따라서 기존의 5.1채널 제작물을 본 논문에서 제안한 방법으로 제작 및 재생 시 입체감을 향상시킬 수 있다.

### 참고 문헌

[1] B. S Atal and M.R Schroeder, "Apparent Sound Source Translator" U.S patent 3, 236,949. Feb. 1996.

[2] Dolby Laboratory Inc. <http://www.dolby.com> "Some guidelines for producing music in 5.1 channel surround".

[3] O. Kirkeby, P.A. Nelson, H. Hamada "Local Sound field reproduction using two closely spaced loudspeakers," *J. Acoust. Soc. Am*, 104(4), 1973-1981, 1998.

[4] ITU-R BS775-1, "Multichannel stereophonic Sound system with & without Accompanying Picture".

[5] T. Takeuchi, P.A. Nelson and O. Kirkeby "Robustness of the Performance of the "Stereo Dipole" to Misalignment of Head Position", Univ. of Southhampton.

[6] D.H.Cooper, J.L.Bauck, "Generalized Transaural stereo and Application", *J. Audio Eng. Soc.*, 44(9), 683-705, 1966.

[7] [www-users.york.ac.uk/~pgc104/work/CarterPhD\\_Appl.pdf](http://www-users.york.ac.uk/~pgc104/work/CarterPhD_Appl.pdf)

[8] E. Zwicker, H. Fastl, *Psychoacoustics: Facts and Models*, Springer-Verlag, Berlin, 432-436, 1990.

[9] EBU R22-1980. "Determination of the acoustical properties of control rooms and parameters in recording control room." *J. Audio eng. Soc.*28,pp.585-595, 1980.

[10] H. Moller. "Reproduction of artificial head recoding through loudspeakers." *J. Audio Soc.*, vol.37, no. 1/2, 1989.

[11] 강성훈, 강경욱, "멀티채널 오디오 음질평가 를 위한 기준 청취실 규격 및 설계", 한국음향학회 워크샵, pp.153-159, Nov.1995.

### 저 자 소 개



**이수정**(학생회원)  
 1997년 한국방송통신대학교 컴퓨터과학과 (이학사) 졸업.  
 2000년 광운대학교 정보통신 대학원 (공학석사) 졸업.  
 2004년 광운대학교 대학원 컴퓨터 공학과 박사 과정.

2000년 한국방송통신대학교 교육매체개발연구소  
 2004년 대한상공회의소 경기인력개발원  
 <주관심분야 : 멀티미디어신호처리, 음성처리>



**최갑근**(학생회원)  
 2002년 광운대학교 정보통신 대학원 컴퓨터공학과 (공학석사) 졸업.  
 2004년 광운대학교 대학원 컴퓨터 공학과 박사 과정.  
 2003년 삼성전자 블루텍 소프트웨어 개발그룹.

2004년 8월~현재 GM Corporation R&D Div  
 개발과장  
 <주관심분야 : 음성및음향처리,>



**김순협**(정회원)  
 1974년 울산대학교 전자공학과 졸업.  
 1976년 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업.  
 1983년 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업 (공학 박사).  
 1979년~현재 광운대학교 컴퓨터공학과 교수  
 2001년~한국음향학회 명예회장  
 <주관심분야 : 음성인식, 신호처리>