

## 2채널 오디오 시스템에서 전달계 변동에 강인한 역필터 설계 기법

박 병 옥\*, 김 학 윤\*

# The Method of New Robust Inverse Filter Design in 2-Ch Audio System

Park, Byoung-Uk \*, Kim, Hack-Yoon \*

### 요 약

2개 이상의 스피커로 오디오 신호를 재생할 경우에 발생하는 가장 커다란 문제점은 크로스토크 현상이다. 크로스토크 현상을 제거하기 위하여 역필터를 설계하는 대표적인 방법 중 하나인 LNS 방법은 구현이 쉽고, 계산량이 적다는 장점이 있지만, 전달계의 변동이 발생하였을 경우에는 쉽게 대응할 수 없기 때문에 역필터의 성능이 저하되는 문제점을 갖고 있다. 본 논문에서는 LNS 방법을 이용하여 초기 역필터를 설계하고, 그 역필터를 계속적으로 적용시켜 전달계가 변동하였을 때에도 변동된 전달계에 쉽게 대처할 수 있는 새로운 알고리즘을 제안하였다. 제안한 기법의 타당성을 입증하기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하여 기존의 방법과 비교한 결과, 크로스토크 제거 성능이 전 주파수 영역에서 개선됨을 확인하였다.

### Abstract

The crosstalk is the most serious problem in playing audio signals with more than two speakers. Usually an inverse filter is employed to remove such a phenomenon. The LNS method, one of most effective design techniques for an inverse filter, has some advantages such as easy implementation and quick computation. However, the inverse filter designed by the LNS method is not easy to adapt immediately for the delivery system change since the pre-measured impulse response is used to design the filter. In this work, we present an adaptive algorithm for the inverse filter design. With the present algorithm, the inverse filter is initially designed by the LNS methods and continuously adjusted to cope with the delivery system changes. To verify the proposed method, some simulations were carried out and the results confirmed that the performance of the crosstalk calculation can be improved in entire frequency range.

▶ Keyword : 크로스토크 제거(Crosstalk Cancellation), LNS 방법(LNS method), 역 필터(Inverse Filter), 음장 재생(Sound Reproduction)

---

• 제1저자 : 박병옥  
• 접수일 : 2007. 12. 10, 심사일 : 2008. 1. 7, 심사완료일 : 2008. 1.25.  
\* 정회원, 청주대학교 전자공학과

## I. 서론

입체 음향은 청각에 공간적인 배치 정보를 부여하여 발생된 음원의 위치·환경·음원의 형태·표정 등에 관한 정보를 얻을 수 있고, 음상의 분리뿐만 아니라 지각할 수 없는 미세한 음의 레벨에 대한 음의 분해 능력도 개선시킨다[1-2].

충실하게 입체 음향을 재생하기 위해서는 청취자의 귀 근처에서 음향 신호를 정확하게 제어하는 것이 필수적이다. 이를 위한 가장 쉬운 방법은 헤드폰을 통해 바이노럴(binaural)로 신호를 재생하는 방법이다. 스피커 시스템을 이용할 경우에는 왼쪽 신호가 왼쪽 귀 뿐만 아니라 오른쪽 귀에 도달하고, 오른쪽 신호도 오른쪽 귀뿐만 아니라 왼쪽 귀에 들리는 크로스토크(crosstalk)현상이 발생하기 때문에 완벽하게 입체 음향을 재생할 수 없다[1-8].

스피커 재생시 발생하는 크로스토크 현상은 스피커와 제어점까지의 전달계의 영향을 제거할 수 있는 역필터(Inverse Filter)를 설계하고, 역필터를 배치하여 제거할 수 있다[9]. 역필터의 설계 방법은 여러 가지 알고리즘이 제안되어 있고, 대표적인 알고리즘으로 MINT (Multiple input/output Inverse-filtering Theorem)법[9], 최소 노름(Least-Norm Solution : LNS)[10-11]방법, 그리고 Fast Deconvolution 법[4,12-13]이 있다. 이 방법 중 LNS방법은 구현이 쉽고, 계산량도 적다는 장점을 가지고 있다. 그러나 이 방법은 미리 측정한 실내 임펄스 응답(Room Transfer Function : RTF)을 이용하여 역필터를 설계하기 때문에 실 환경에서 발생하는 전달계의 변동에 쉽게 대응할 수 없고, 전달계의 변동이 발생하였을 때 역필터의 성능이 나빠져 음질이 저하되는 문제점을 갖고 있다[11].

따라서 본 논문에서는 스피커 재생시 발생하는 크로스토크 현상을 제거하기 위하여 기존의 LNS방법을 이용하여 초기 값을 설정한 후, 이 초기 역필터를 주파수 영역에서 계속적으로 적응시킴으로써 역필터를 구현하는 기법을 제안한다.

## II. LNS 방법

역필터는 트랜스오럴(transaural) 재생계에서 전달계의 특성을 제거하기 위하여 사용한다. 그림 1은 전달계와 역필터의 기본적인 관계를 나타낸 것이다.

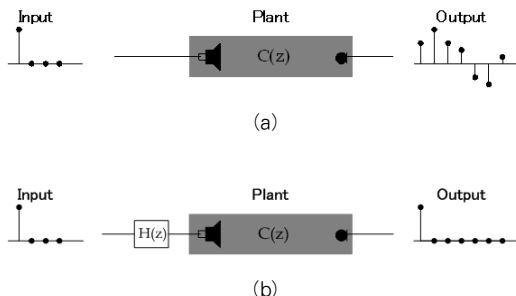


그림 1. 단일-채널 역필터  
Fig.1. Single-channel Inverse Filter

그림 1.(a)는 어떤 전달계에 임펄스 신호를 입력으로 하였을 때, 출력되는 임펄스 응답은 전달계의 특성에 의해서 신호가 변경됨을 나타낸 것이다. 따라서 이 변경된 값을 보상하여 입력신호를 그대로 출력단으로 전달하기 위하여 그림 1. (b)와 같이  $H(z)$  역필터를 전달계 앞에 직렬로 연결하여 출력에 입력으로 사용한 임펄스 신호가 얻어진다[8-9]. 이 때, 역필터  $H(z)$ 는 식 (1)과 같이 구한다.

$$H(z) = 1/C(z) \dots\dots\dots (1)$$

즉, 시스템의 출력이 임펄스함수  $\delta(n)$  가 되도록  $H(z)$ 가 설계된다. 이와 같은 역필터를 설계하는 방법에는 시간 영역과 주파수 영역에서 설계하는 방법으로 대별된다. 주파수 영역에서 역필터를 설계하는 여러 가지 방법 중 LNS방법[9]은 그림 2와 같이 2 개의 이차 음원과 2 개의 제어 점을 가지는 2채널 음장재현 시스템에서 전달계 특성  $C(\omega)$ 와 역필터  $H(\omega)$ 는 다음 식과 같이 표현할 수 있다.

$$C(\omega) = \begin{bmatrix} C_{11}(\omega) & C_{12}(\omega) \\ C_{21}(\omega) & C_{22}(\omega) \end{bmatrix} \dots\dots\dots (2)$$

$$H(\omega) = \begin{bmatrix} H_{11}(\omega) & H_{12}(\omega) \\ H_{21}(\omega) & H_{22}(\omega) \end{bmatrix} \dots\dots\dots (3)$$

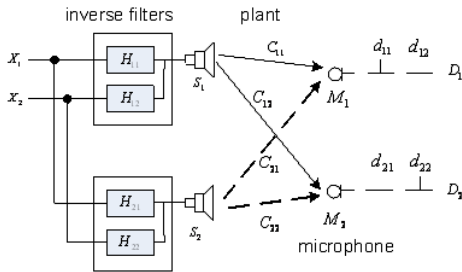


그림 2. 2채널 음장 재현 시스템  
Fig. 2. 2-Ch Sound Reproduction System

여기서,  $C_{11}(\omega), C_{12}(\omega), C_{21}(\omega), C_{22}(\omega)$ 는 전달계의 임펄스 응답  $c_{11}(n), c_{12}(n), c_{21}(n), c_{22}(n)$ 의 주파수 표현이고,  $H_{11}(\omega), H_{12}(\omega), H_{21}(\omega), H_{22}(\omega)$ 는  $h_{11}(n), h_{12}(n), h_{21}(n), h_{22}(n)$ 의 주파수 표현이다.

전달계와 역필터의 관계를 수식으로 나타내면 식 (4)와 같다.

$$C(\omega)H(\omega) = I(\omega) \dots\dots\dots (4)$$

여기서  $I(\omega)$ 은  $2 \times 2$  단위행렬이다. 이때  $H(\omega)$ 는

$$H(\omega) = C(\omega)^{-1}I_M(\omega) \dots\dots\dots (5)$$

식 (5)와 같이 구할 수 있다. 여기서  $C^{-1}(\omega)$ 은 실내 전달 함수  $C(\omega)$ 의 역행렬이다. 재현계의 이차음원 수( $M$ 이라 가정)과 제어 포인트 수( $N$ 이라 가정)와의 관계가  $M > N$ 일 때는,  $H(\omega)$ 는  $(M - N)$ 차원의 개공간을 가진다. 이 경우, 식 (6)과 같이 역필터  $H_{LNS}(\omega)$ 을 구한다 [10-11].

$$H_{LNS}(\omega) = C'(\omega)(C(\omega)C'(\omega))^{-1} \dots\dots\dots (6)$$

여기서  $C'(\omega)$ 은  $C(\omega)$ 의 헤르미트 전치행렬이다. 그러나 기존의 LNS방법으로 구한  $H_{LNS}(\omega)$ 는 미리 계획한 RTF를 기초하여 역필터를 설계하므로, 실 환경에서 생기는 전달계의 변동에 쉽게 대응할 수 없게 되어 전달계의 변동이 발생하면 역필터의 성능이 저하된다는 문제점을 갖고 있다.

### III. 제안한 알고리즘

제안한 알고리즘은 그림 2와 마찬가지로 2개의 이차 음원, 2개의 제어 점을 가지는 2 채널 음장재현 시스템에서의 역필터를 구현한다.

먼저, 초기 역필터  $H(\omega)$ 는 식 (6)으로 구한 LNS 방법을 이용하여 초기화한다. 이 초기 역필터 값은 식 (7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$H(\omega) = H_{LNS}(\omega) \dots\dots\dots (7)$$

식 (7)로 구하는 역필터 초기 값은 LNS방법이 아닌 다른 값을 이용하여도 된다. 즉, 역필터의 초기 값을 모두 0으로 설정한 후 역필터를 설계하여도 전달계의 역필터를 추정할 수 있다. 그러나 0으로 초기 값을 설정하였을 때보다 LNS 방법을 이용하여 초기 값을 설정한 이유는 LNS 방법이 구현하기 쉽고, 추정 성능을 향상시킬 수 있기 때문이다.

이와 같이 초기 값의 설정이 끝나면, 전달계의 변동에 따른 역필터 값을 갱신하기 위하여 오차를 판단한다. 만약, 전달계가 변하지 않았다면 전달계와 역필터의 출력은 그림 2의 목적 신호  $D(\omega)$ 와 같은  $2 \times 2$  단위행렬의 값을 가지므로, 오차 행렬  $E(\omega)$ 는 영행렬이 된다. 그러나 전달계의 특성이 외부 요인에 의해서 변동이 발생하면, 전달계와 역필터는 더 이상 단위행렬이 아닌 다른 값을 가지게 되어 오차 행렬  $E(\omega)$ 는 영행렬이 아닌 다른 행렬 값을 가지게 될 것이다. 이와 같이 역필터와 임펄스 응답을 이용하여 역 시스템의 오차를 구하는 식은 식 (8)과 같다.

$$E(\omega) = D(\omega) - C(\omega)H(\omega) \dots\dots\dots (8)$$

$$= \begin{bmatrix} d_{11}(\omega) & 0 \\ 0 & d_{22}(\omega) \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} C_{11}(\omega) & C_{12}(\omega) \\ C_{21}(\omega) & C_{22}(\omega) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} H_{11}(\omega) & H_{12}(\omega) \\ H_{21}(\omega) & H_{22}(\omega) \end{bmatrix}$$

여기서  $E(\omega), C(\omega), H(\omega)$ 는 각각  $E_{ji}(\omega), C_{ji}(\omega), H_{ij}(\omega)$ 을 성분으로 가지는 행렬이고, 2채널인 경우  $i$ 와  $j$ 는 각각 1~2의 값을 가진다. 또한  $\omega$ 는 주파수 성분을 나타낸다.

이와 같이 구한 오차 행렬  $E(\omega)$ 과 역필터의 초기 값을

이용하여 역필터를 갱신(renew)하는 행렬  $\mathbf{H}_{re}(\omega)$ 를 식 (9)와 같이 구한다.

$$\mathbf{H}_{re}(\omega) = \mathbf{H}(\omega)\mathbf{E}(\omega) \dots\dots (9)$$

$$= \begin{bmatrix} H_{11}(\omega) & H_{12}(\omega) \\ H_{21}(\omega) & H_{22}(\omega) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_{11}(\omega) & E_{12}(\omega) \\ E_{21}(\omega) & E_{22}(\omega) \end{bmatrix}$$

식 (9)는 초기 역필터  $\mathbf{H}(\omega)$ 와 오차 행렬  $\mathbf{E}(\omega)$ 을 곱하여 역필터의 변동분을 구한다. 만약 오차가 발생하지 않았다면,  $\mathbf{E}(\omega)$ 는 영행렬이므로  $\mathbf{H}_{re}(\omega)$ 도 오차 행렬과 마찬가지로 영행렬이 될 것이다. 그러나 전달계의 전달함수 값이 변한다면 오차가 발생하고, 갱신 행렬의 성분 값도 영행렬이 아닌 어떠한 값을 가질 것이다.

이상과 같이 구한 갱신행렬  $\mathbf{H}_{re}(\omega)$ 와 LNS방법을 이용하여 구한 초기 역필터  $\mathbf{H}(\omega)$ 을 더함으로써 전달계의 변화에 의한 새로운 역필터  $\hat{\mathbf{H}}(\omega_n)$ 을 식 (10)과 같이 구할 수 있다.

$$\hat{\mathbf{H}}(\omega) = \mathbf{H}(\omega) + \mathbf{H}_{re}(\omega) \dots\dots (10)$$

$$= \begin{bmatrix} H_{11}(\omega) & H_{12}(\omega) \\ H_{21}(\omega) & H_{22}(\omega) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} H_{re11}(\omega) & H_{re12}(\omega) \\ H_{re21}(\omega) & H_{re22}(\omega) \end{bmatrix}$$

이와 같은 절차를 모든 주파수 영역에서 반복 수행한 후, 모든 주파수 영역에서 반복이 종료되면 지정한 반복횟수만큼 식(7)에 새롭게 구한  $\hat{\mathbf{H}}(\omega)$ 을 대입한 후 지정한 반복횟수만큼 반복시켜서 역필터를 갱신한다. 이와 같은 식(7)에서 식(10)까지의 과정을 거친 후, 저장된 새로운 역필터 값을 시간 영역으로 변환하면 전달계의 변동에 적응한 새로운 역필터를 구한다.

#### IV. 실험 및 고찰

본 절에서는 제안한 알고리즘을 평가하기 위하여 시뮬레이션을 수행하고, 기존 방법인 LNS 방법과 비교하였다. 전체적인 시뮬레이션은 그림 3과 같은 흐름대로 진행하였으며, 시뮬레이션 두 가지 형태로 구성하였다. 전달계의 변동이 없을 경우 LNS방법과 제안한 방법을 비교하였고, 전달계의 변동이 발생하였을 경우 제안한 방법이 역필터를 추정할 수 있는가에 초점을 맞춰서 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 2에서 스피커는 청취자의 전방 30°와 -30°에 위치하며, 청취 점은 90°와

-90°이다. 입력신호  $x_1$ 과  $x_2$ 는 임펄스 신호를 사용하였고, 라우드 스피커와 청취자의 청취점 사이의 전달계의 전달함수  $c_{11}, c_{12}, c_{21}, c_{22}$ 는 그림 3과 같다. 이 전달계의 값들은 ETRI에서 측정한 SPR15 dummy head의 128 tap HRTF를 이용한 것으로, 2채널 스테레오 시스템에서는 방위 각 0°이고, 청취자 전면에서 30도와 -30(330)도에서의 임펄스 응답을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 2와 같이 전달 경로 특성은,  $c_{11}$ 과  $c_{22}$ 가 대칭으로 나타나고,  $c_{12}$ 와  $c_{21}$  또한 대칭으로 나타나고 있음을 알 수 있다.

그림 4는 제안한 방법을 이용하여 전달계의 탭 수를 128 tap으로 설정한 후에 구한 역필터  $h(n)$ 를 구한 것이다. 여기서, 필터의 탭 수는 128tap ~ 1024tap으로 설정 값을 변경하면서 시뮬레이션을 실행하였다. 이 때 HRTF는 128tap 이상 설정되면, 앞·뒤 단에 제로 패딩을 수행하여 필터의 tap수를 동일하게 설정한 후 시뮬레이션을 수행하였다.

그림 5는 그림 2의 블록도에서 스피커에서 재생한 신호가 마이크로폰에 도달할 경우의 신호로서, 제안한 방법으로 구한 역필터  $h(n)$ 과 전달계의 임펄스 응답  $c(n)$ 을 콘볼루션함으로서 구한 최종 재생 신호  $w(n)$ 이다. 그림 4에서  $x$ 축은 필터의 탭 수를 나타내고,  $y$ 축은 신호의 크기를 나타낸다.  $w_{11}$ 과  $w_{22}$ 는 임펄스 응답 형태를 가지고,  $w_{12}$ 와  $w_{21}$ 은  $c_{12}$ 와  $c_{21}$ 에 존재하던 크로스토크가 억제됨을 알 수 있다. 그러나 필터의 탭 수를 128 탭으로 하였을 경우 크로스토크가 완전히 억제 되지 않는다는 것을 알 수 있다.

그림 6과 7은 기존의 LNS방법과 제안한 알고리즘으로 구한 최종 출력 신호( $w_{ij}$ )의 주파수 응답을 나타낸다. 이용한 필터의 탭 수는 128탭으로 설정하였고, 그래프상의  $x$ 축은 주파수이고  $y$ 축은 신호의 크기를 dB로 나타냈다. 그림 6과 7의  $W_{11}$ 과  $W_{22}$ 은 그림 5의  $w_{11}, w_{22}$ 가 임펄스 신호를 가지므로 전 주파수 대역에서 0의 값을 가져야 하지만, 30 Hz이하에서 약간의 오차가 발생함을 알 수 있다. 이것은 그림 5의  $w_{11}, w_{22}$ 의 임펄스 신호 전후에 약간의 오차 성분이 존재하였기에 나타나는 현상이다. 또한, 30 Hz이상 부분에서 제안한 방법이 LNS 방법보다 평탄한 결과 값을 가짐을 알 수 있다. 그러나  $W_{12}$ 와  $W_{21}$ 의 결과는 제안한 알고리즘이 500 Hz이상부분에서 약 7~8 dB정도 크게 나타났다.

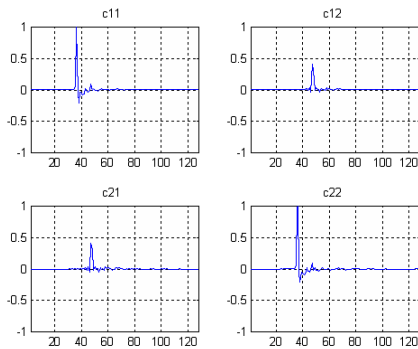


그림 3. 2채널 스테레오 시스템 전달계의 임펄스 응답  
Fig. 3. A Impulse Response of 2-ch Stereo System

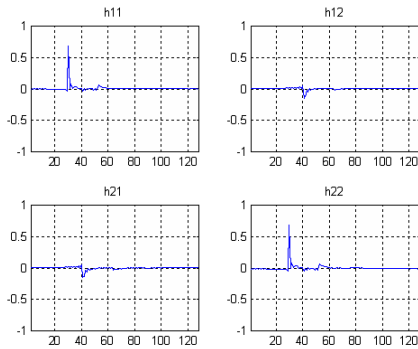


그림 4. 제안한 방법에 의해 구한 역필터  $h(n)$   
Fig. 4 Inverse Filter  $h(n)$  by the proposed method

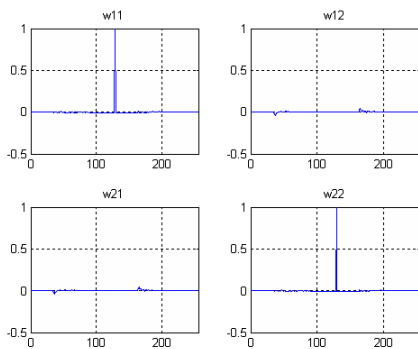


그림 5. 제안한 방법에 의해 구한 재생 신호  $w(n)$   
Fig. 5. Reproduction signal  $w(n)$  by the proposed method

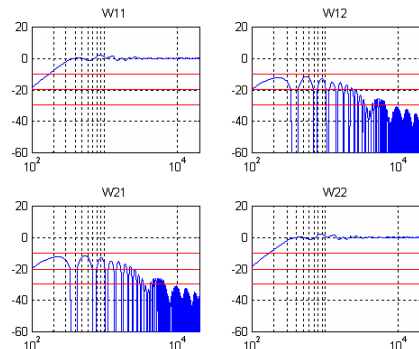


그림 6. LNS 방법에 의한 재생신호의 주파수 특성 (128 tap)  
Fig. 6. Frequency Characteristic by LNS method (128 tap)

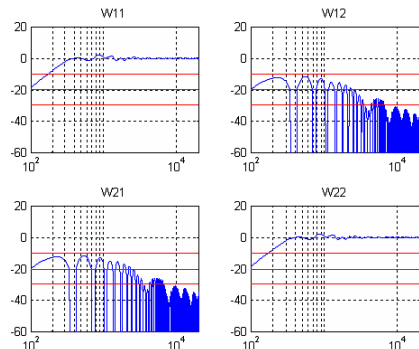


그림 7. 제안한 방법에 의한 재생 신호의 주파수 특성 (128 tap)  
Fig. 7. Frequency Characteristic by the proposed method (128 tap)

그림 8과 9는 필터의 탭 수를 512탭으로 변경하여 시뮬레이션한 결과이다. 필터의 탭 수를 증가시켰을 경우  $W_{11}$ 과  $W_{22}$ 는 그림 6, 7과 비교하여 30 Hz이하부분에서도 평탄한 특성을 나타내고, 그 이상의 주파수 영역에서도 0값에 근사한 값을 가짐을 확인하였다. 이것은 시간 축 상에서  $w_{11}, w_{22}$ 가 오차 없이 임펄스 신호를 가지기 때문이다. 또한, 그림 6, 7의 128 탭일 경우와 동일하게 제안한 알고리즘이 LNS방법보다 좀 더 평탄한 주파수 특성을 가지고,  $W_{12}$ 와  $W_{21}$ 는 128탭의 경우와 달리 제안한 방법이 전 주파수 영역에 걸쳐서 약 10 dB정도 작게 나타났다. 이 경우에는, 제안한 방법이 LNS방법보다 크로스토크 제거 성능이 개선됨을 확인하였다.

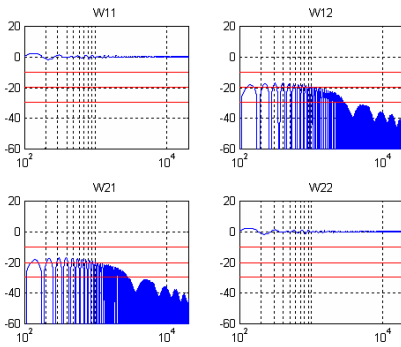


그림 8. LNS 방법에 의한 주파수 특성(512tap)  
Fig. 8. Frequency Characteristic by LNS method (512 tap)

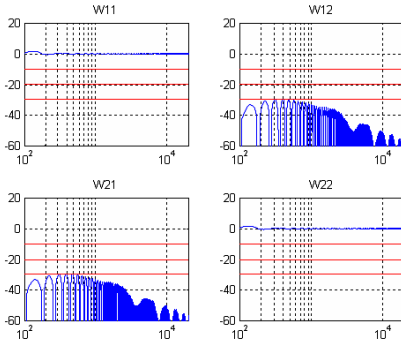


그림 9. 제안한 방법에 의한 주파수 특성 (512tap)  
Fig. 9. Frequency Characteristic by the proposed method (512 tap)

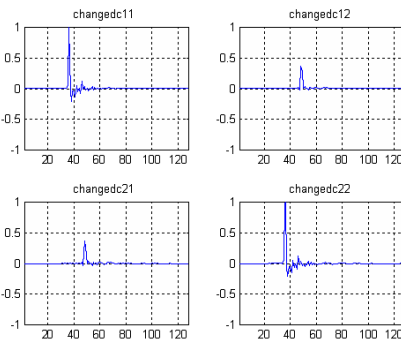


그림 10. 변동된 2채널 스테레오 시스템의 임펄스 응답  
Fig. 10. Changed Impulse Response of 2-ch Stereo System

그림 10에서 12는 전달계가 외부요인에 의해서 변동되었다고 가정한 후에 제안한 방법으로 역필터를 설계하고, 갱신

하는 과정을 시뮬레이션 한 결과이다. 그림 10은 변동된 전달계  $c_{11}, c_{12}, c_{21}, c_{22}$ 의 값을 나타낸 것이다. 초기 역필터 설정은 그림 3을 이용하여 설계하고, 역필터 설계과정중에 그림 10과 같이 전달계가 변동되었다고 가정한다.

그림 11과 12는 그림 10으로 전달계가 변동하였을 때 제안한 방법을 이용하여 역필터를 추정하고, 그 재생 신호를 구한 결과이다. 우선, 변동되기 전 임펄스 응답인 그림 3을 가지고, LNS 방법을 이용하여 역필터를 구한다. 식(7)에서 식(10)까지의 역필터를 갱신 과정에서는 전달계 값은 변동한 값(그림 10)을 이용하였다. 이때, 반복횟수는 재생 신호의 정확도와 추정 속도를 고려하여 결정한다. 그림 10은 반복횟수를 1회로 하여 시뮬레이션한 결과이다. 그림 10의 재생 신호  $W_{11}, W_{22}$ 가 그림 7과 비교하여 평탄한 결과를 가지지 못함을 알 수 있고,  $W_{12}, W_{21}$ 이 그림 7보다 더 큰 값이 나타나 성능이 좋지 않음을 알 수 있다. 이것은 그림 3에서 그림 10으로 전달계가 변동됨에 따라 LNS방법의 단점을 보여주는 것이다. LNS방법은 역필터 설계 중에 전달계의 특성이 바뀌면, 정확한 역필터를 설계할 수 없다는 문제점이 있다.

이와 같은 문제점을 보완하기 위하여 제안한 알고리즘에서는 식(7)에서 식(10)을 이용하여 역필터를 적응시키면서 새로운 전달계에 적응하도록 하였다. 이 시뮬레이션 결과가 그림 12이다. 그림 12는 반복횟수를 5회로 설정한 결과, 즉 5번 적응시킨 결과를 나타낸다. 그림 12를 그림 11과 비교하면,  $W_{11}, W_{22}$ 의 임펄스 신호의 주파수 성분의 오차에서 1회 반복에서 발생했던 잡음 성분은 감소시킬 수 있다. 또한,  $W_{12}, W_{21}$ 의 주파수 응답은 거의 비슷한 성능을 가짐을 알 수 있다. 반복 횟수를 5회 이상으로 늘리면 성능은 증가하지만, 처리 속도가 늘어난다는 단점 때문에 반복 횟수는 5회 정도로 제한하여 시뮬레이션을 수행하였다.

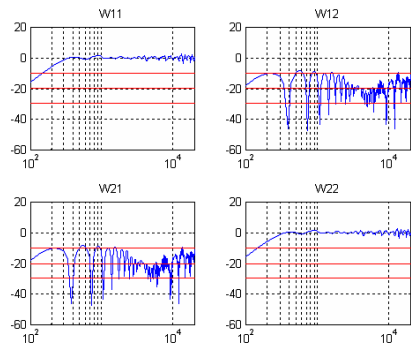


그림 11. 제안한 방법에 의한 재생신호의 주파수 특성 (1회 반복)  
Fig. 11. Frequency Characteristic by the proposed method (1 loop)

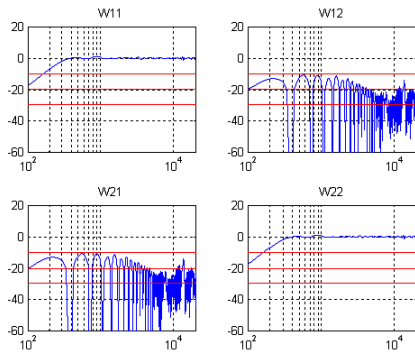


그림 12. 제안한 방법에 의한 재생신호의 주파수 특성 (5회 반복)  
 Fig. 12. Frequency Characteristic by the proposed method (5 loop)

이상의 시뮬레이션 결과 그림 6에서 9는 전달계의 임펄스 응답을 측정하고, 전달계의 변동이 없다는 가정한 후 역필터를 설계한 결과이다. 그러나 전달계가 외부요인에 의해서 변동이 되면 LNS 방법(그림 6, 8)은 오차가 발생하여 역필터의 성능이 저하되게 된다. 제안한 방법은 전달계의 변동이 일어나지 않았을 때(그림 7, 9)와 전달계의 변동이 일어났을 때(그림 11, 12) 역필터 설계가 가능하다는 것을 알 수 있었다.

### V. 결론

본 논문에서는 3차원 오디오 음상 제어 시스템에서 가장 큰 문제점으로 대두되고 있는 스테레오 스피커 재생 시에 발생하는 크로스토크 현상을 억제하는 방법에 관하여 고찰하였다. 기존의 크로스토크 제거 알고리즘 중 LNS방법은 구현이 쉽고, 계산량도 적다는 장점을 가지고 있지만 미리 측정한 실내 임펄스응답을 이용하여 역필터를 설계하기 때문에 실 환경에서 쉽게 발생하는 전달계의 변동에 대응할 수 없고, 전달계의 변동이 발생하였을 때 역필터의 성능이 저하되어 음질이 저하된다는 문제점을 가진다. 따라서, 본 논문에서는 LNS 방법을 이용하여 초기 역필터를 설계한 다음 그 역필터를 계속적으로 적응시킴으로서 변화하는 전달계의 변동에 대처할 수 있도록 역필터를 설계하였다.

제안한 알고리즘의 성능 평가를 위하여 두 가지 형태의 컴퓨터 시뮬레이션을 수행한 결과, 전달계의 변동이 없을 시에는 기존 방법과 비교하여 전 주파수 영역에 걸쳐서 크로스토크 제거 성능이 개선됨을 확인하였고, 전달계의 변동이 일어

났을 때는 역필터를 계속적으로 추정할 수 있음을 확인하였다. 그러나 제안한 방법은 역필터를 구할 때 적응을 시키기 때문에 LNS방법보다 처리 속도가 떨어진다는 단점을 가지고 있다. 추후 연구에서는 처리속도를 개선할 수 있는 방법을 수행하여 이 점을 보완하고자 한다.

### 참고문헌

- [1] William G. Gardner, 3-D Audio Using Loudspeakers, (Kluwer Academic Publishers, 1998), pp.
- [2] William G. Gardner, " Transaural 3-D audio", M.I.T Media Lab. Perceptual Computing Section Technical Report No. 342 July 20, 1995
- [3] 김래훈, 임준석, 성평모, "3차원 오디오 시스템에서 합과 차 여파기를 이용한 새로운 광대역 간섭신호 제거 방법", 한국음향학회지, Vol 20, No. 4, pp. 17~21, 2001
- [4] 이태진, 강경욱, "멀티채널 3차원 마이크를 이용한 입체 음향 처리 기술", 한국음향학회지, Vol 24, No. 2, pp. 68~77, 2005
- [5] 박병욱, 김학운 "2채널 스피커 음상제어 기법" 한국정보 기술학회 하계 학술대회 논문집, pp.36-40, 2004
- [6] 박병욱, 서재갑, 김학운 "3차원 오디오를 위한 크로스토크 제거 기법" 한국정보기술학회 하계 학술대회 논문집, pp.157-161, 2005
- [7] Darren B. Ward, Gary W., Elko., "Effect of Loudspeaker Position on the Robustness of Acoustic Crosstalk Cancellation ", IEEE Signal Processing Letters, Vol. 6, No. 5, pp.106-108, 1999.
- [8] Miyoshi, Y.Kaneda., "Inverse Filtering of room acoustics", IEEE Transaction on Speech and Processing, Vol. 36, No. 2, pp.145-155, 1998.
- [9] 神沼 充伸, 伊勢 史郎, "波數における最小ノルム解を利用した多チャンネル音場再現システムにおける逆フィルタの設計", 日本音響學會, Vol.57, No.3, pp. 175-183, 2001
- [10] Yosuke Takekura, Shigefumi Urata, Hiroshi Saruwatari, "On-line Relaxation Applicate to Acoustic Fluctuation for Inverse Filter in Multichannel Sound Reproduction System ", IEICE Trans. Fundamentals, Vol. E88-A, No. 7, pp.1747-11756, 2005.

- [11] Ole Kirkeby, Philip A. Nelson, Hareo Hamada and Felipe Orduna-Bustamante, "Fast Deconvolution of Multichannel Systems Using Regulation ", IEEE Trans. On Speech and Audio Processing, Vol. 6, No. 2, pp.189-194, 1998.
- [12] Daryl Sartain, 3D Audio Programming, (INTINITY Publishers, 2000). pp. 279-296

**저 자 소 개**



**박 병 옥**  
1999년 2월 : 청주대학교 전자공학과 (학사)  
2001년 2월 : 청주대학교 전자공학과 (석사)  
2003년 3월 ~ 현재 : 청주대학교 전자공학과 (박사과정)  
<관심분야> 3-D sound, sound enhancement



**김 학 윤**  
1982년 2월 : 청주대학교 전자공학과 (학사)  
1986년 2월 : 연세대학교 전자공학과 (석사)  
1988년 12월 ~ 1991년 6월 : (주)신도리코 기술연구소 주임연구원  
1996년 3월 : 일본 동북대학교 시스템정보공학 (박사)  
1997년 3월 ~ 현재 : 청주대학교 전자정보통신공학부 교수  
<관심분야> speech enhancement, 3-D Sound