

저역 위상 처리와 고역 반사음을 이용한 텔레비전에서의 음상 확장

김 동 수, 박 해 광, 권 용 대, 이 건 일, 송 규 익
경북대학교 전자공학과
702-701 대구광역시 북구 산격동 1370 번지
E-mail : kds@palgong.kyungpook.ac.kr

An Expansion of Sound Image Using Phase Shifting of Low Frequency and Reflected Sound of High Frequency in Television

Dong-Su Kim, Hae-Kwang Park, Yong-Dae Kwon, Kuhn-Il Lee, Kyu-Ik Sohng
Dept. of Electronics, Kyungpook National University
1370 Sankyuk-dong Buk-gu, Taegu, 702-701, Korea

Abstract

In television stereo system, to produce the sound image for spatial impression is too difficult because of the narrow distance between two speakers. A method of widening the sound image using precedence effect was introduced but it didn't work effectively in low frequency band.

In this paper, we propose a new method to produce an expanded sound image in full band of audio frequency in television stereo system. In this method, a lower frequency band sound is expanded by phase shifting method and a higher frequency band sound is expanded by reflection. In simulation and experiment, the proposed system guarantees useful effect of sound image expansion in television stereo system.

좌우 두 개의 스피커만 사용하고 스피커 전면에 반사판을 둔 새로운 음상 확장 방식을 제안하였다. 제안한 방식은 감쇠가 거의 없이 반사판을 회절하여 청취자에 직접 도달하는 1 kHz 이하의 저음에 대해서는 위상 처리 방식을 이용하였고, 고음에 대해서는 스피커 앞의 반사판을 이용하여 벽면 반사시킴으로써 음상 확장을 꾀하였다.

제안한 방식으로 백색 잡음 (white noise)과 음악 신호 등을 입력신호로 이용하여 오디오에 관심이 많은 비전문가 20 명을 대상으로 청취 실험을 한 결과 기존의 확장 방식보다 음상의 확장감 및 거리감이 더욱 우수하여 공간감 있는 음향 효과를 얻었다.

I. 서 론

음악이나 영화에 있어서 원음에 충실한 음질과 입장감의 추구는 음향 재생에 있어서 궁극적인 목적이다. 음질에 대해서는 이미 디지털 신호의 기록기술과 전송 기술의 진보로 큰 개선을 보이고 있고, 음장의 재생이라는 점에서는 영화관에서 볼 수 있는 multi-channel 에 의한 재생이 이전부터 그 해답으로 되고 있다. 그러나 일반 가정용 오디오 시스템에서도 1970 년 무렵, 4 채널 재생 방식이 제안되었지만, 4 스피커의 배치가 번거롭고, 가격이 높아지는 문제 등으로 널리 보급되지 않았다.

한편, 텔레비전 시스템에서는 스피커의 간격이 좁아서 음상 (sound image)이 두 스피커 사이의 좁은 공간에만 위치하게 된다. 따라서, 별도의 스피커를 사용하지 않고 공간감 있는 음향 효과를 내기 위해서는 텔레비전 스피커의 바깥쪽까지 음상을 확장 시켜야 한다.

그러나, 기존의 음상 확장 방식인 위상차를 이용한 방식은 1kHz 미만의 저음일 때만 효과가 있고, 청취자의 위치가 고정되어 있지 않을 때는 그 효과가 반감된다.^{[1][2]} 또한 반사음을 이용한 선착 효과를 이용하는 방법도 연구 되었으나, 저음에는 효과가 없고 측면 스피커를 추가해야 한다는 문제점이 있다.^{[3][4]}

본 논문에서는 경제성을 고려하여 기존 텔레비전의

II. 위상 처리 및 반사를 이용한 음상 정위

청취자의 양쪽 귀에 전달되는 단일 순음에 위상차와 음압 레벨차가 있을 경우, 인간의 귀는 음원의 주파수에 따라 방향 판별 능력이 다르므로, 단일 순음을 좌우 스피커를 통해 재생하기 전에 음압 레벨과 위상을 적절하게 변화시키면 음상을 스피커의 위치보다 넓은 방향에 정위 시킬 수 있다.^[5] 스테레오 음의 경우도 동일하여 청취 위치에서 좌우 스피커를 바라본 스피커의 각도 θ 가 20° 일 때, 스테레오 재생음의 음상을 스피커의 위치보다 넓게 정위시키기 위한 음압 레벨차 k 와 위상차 ϕ 를 구한 결과는 그림 1 과 같다. 그림에서 음상을 40° 에 정위시키기 위한 음압 레벨차 k_{40} 는 주파수에 따라 약간의 차이는 있으나 약 0.6~0.7 정도의 값을 가지고, 위상차 ϕ_{40} 는 $172^\circ \sim 180^\circ$ 사이에 위치하게 됨을 알 수 있다.

한편, 위상 처리에 의한 음상 확장은 약 1kHz 이하에서만 가능하므로 1 kHz 이상의 대역에서 음상을 확장 시킬 수 있는 방식으로 일반 가정에서의 콘크리트 벽을 이용한 반사음으로 확장감을 느끼게 할 수 있다.^{[6][7]} 이때, 직접음과 벽면 반사음과의 도달시간을 같게 하기 위한 도달 시간차 Δt 는 직접음과 반사음의 경로차를 음파의 속도로 나눈

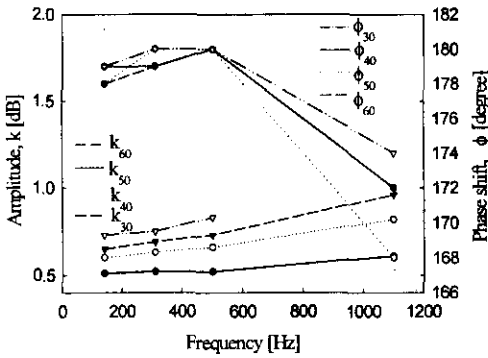


그림 1. 음상을 30°, 40°, 50°, 60° 에 정위시키기 위한 음압차 k, 위상차 φ

$$\Delta\tau = (R_1 + R_2 - L) / v_s \quad (1)$$

$$= (2\sqrt{W^2 + (0.5L)^2} - L) / v_s$$

로 주어진다. 여기서 v_s 는 실온에서의 음파의 전파 속도 340 m/s 이다. 청취자의 귀에 들리는 직접음과 반사음의 음압 레벨은 각각의 경로차에 의해 달라진다. 직접음의 음압 레벨 P_D 는

$$P_D \propto \frac{1}{L^2} \quad (2)$$

로 되므로 직접음의 경로 H 의 제곱에 반비례한다. 또한 반사음의 음압 P_R 은

$$P_R \propto \frac{1}{(R_1 + R_2)^2} \quad (3)$$

과 같이 반사 전의 경로 R_1 과 반사 후의 경로 R_2 각각의 합의 제곱에 반비례한다. 따라서 직접음과 반사음의 음압 레벨차 ΔP 는

$$\Delta P = 10 \log \left(\frac{P_D}{P_R} \right)^2 = 20 \log \frac{P_D}{P_R} \quad [\text{dB}] \quad (4)$$

와 같다. 콘크리트 벽면의 반사율을 100 %로 가정하면 경로차에 따른 음압차 ΔP 는,

$$\Delta P = 20 \log \frac{R_1 + R_2}{L} \quad (5)$$

$$= 20 \log \frac{2\sqrt{W^2 + (0.5L)^2}}{L} \quad [\text{dB}]$$

로 주어진다.¹⁴⁾

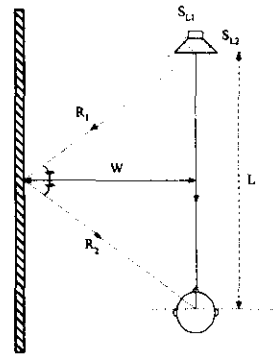


그림 2. 직접음과 반사음의 진행 경로

III. 회절, 지향 특성 및 반사율

음파가 매질을 통과할 때 장애물을 만나면 모서리에서 회절 현상이 일어나며 회절량은 장애물의 크기와 파장에 의해서 결정된다. 즉, 파장이 긴 음이나 그 물체가 적을수록 잘 회절된다. 음원과 청취자에서 반사판의 윗모서리까지의 거리를 각각 A, B라 하고 두 지점의 평면거리를 d라 할 때, 회절에 의한 감쇠 α_{diff} 는

$$\alpha_{diff} = 10 \log \left[\frac{A + B - d}{\lambda} \right] + 13 \quad [\text{dB}] \quad (6)$$

로 주어진다.¹⁶⁾ 스피커와 45°를 이루는 반사판의 길이에 따른 회절 손실을 주파수에 따라 나타내면 그림 3과 같다. 주파수와 반사판의 길이에 따른 회절 손실을 보면 주파수가 높을수록 회절에 따른 손실이 커진다는 것을 알 수 있다.

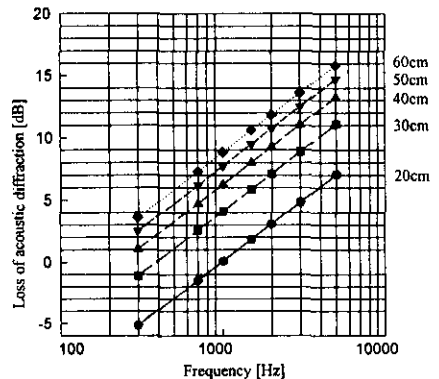


그림 3. 반사판의 길이에 따른 회절 손실

일반적으로 스피커의 지향 특성은 스피커의 종류 및 주파수에 따라서 큰 차이가 있다. 즉, 주파수가 높을수록 지향 특성이 좁고 방향성이 향상되며, 낮은 주파수에 대해서는 무지향성에 가깝게 된다.¹⁷⁾ 또한,

주파수가 높을 수록 지향 각도가 좁고 낮은 주파수에는 비교적 넓은 형태의 지향 각도를 가진다. 한편, 유리, 금속, 석고 등과 같이 단단한 표면에서는 대체적으로 반향하며 그 흡음률은 0.05 이하이다. 반면에 음향 타일, 융단, 피륙과 같은 다형질 재료는 대체적으로 흡음하며 그 흡음 계수가 1 에 가깝다.¹⁷⁾

IV. 제안 방식

제안한 스테레오 음성 확장 시스템은 그림 4 에서와 같이 좌우측 각각 한 개씩의 스피커로 구성된 대칭 구조를 가지며 고역 통과 여파기 (high pass filter), 저역 통과 여파기 (low pass filter), 반전기, 지연 소자, 반사판 등으로 구성된다. 1 kHz 이하의 저주파 대역에서의 ϕ 는 그림 1 에서와 같이 $170^{\circ}\sim 180^{\circ}$ 의 값을 가지므로 반전기를 이용하여 180° 로 고정시키고 음압 레벨비 k 값을 조정해 음상을 원하는 위치에 둘 수 있도록 하였다.

1 kHz 이하의 저주파의 경우 그림 1 의 결과에서 k 값이 약 0.7 일 경우 음상을 45° 까지 확장시킬 수 있고, 1 kHz 이상의 고주파의 경우에는 스피커 앞에 위치시킨 반사판의 각도를 변화시켜 저주파의 음성 확장 각도까지 확장시킬 수 있다. 한편, 반사판의 재질은 흡음 계수가 0.05 이하인 물질을 이용하였다.

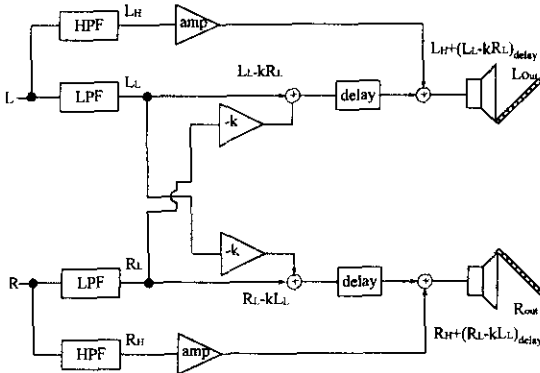


그림 4. 제안 방식의 블럭도

그림 4 의 블럭도에서 두 채널 스테레오 입력 신호 L, R 에 대한 출력 L_{out}, R_{out} 은,

$$L_{out} = \beta L_H + \{(L_L - kR_L)\}_{delay} \quad (7)$$

$$R_{out} = \beta R_H + \{(R_L - kL_L)\}_{delay} \quad (8)$$

좌우 스피커가 서로 대칭을 이루므로 L 신호만 고려한 ($R=0$) 시스템 출력은,

$$L_{out} = \beta L_H + (L_L)_{delay} \quad (9)$$

$$R_{out} = (-kL_L)_{delay} \quad (10)$$

로 주어진다. 즉, 좌측 스피커에서는 원래의 좌측 입력

신호의 고주파 성분 (βL_H) 이 반사판과 벽면을 통해 청취자에게 도달되어 음성 확장이 되고, 좌측 입력신호의 저주파 성분은 시간 지연이 되어 (L_L)_{delay} 청취자에게 도달된다. 또한, 우측 스피커에서는 좌측 입력신호의 180° 위상반전과 이득이 조절된 신호가 시간지연이 ($-kL_L$)_{delay} 되어 출력된다. 다시 말해서, 고주파 성분은 벽면 반사를 이용하여 음성 확장을 이루고, 저주파 성분은 반대쪽 스피커에서 위상 반전된 신호가 발생함으로써 음상이 확장됨을 알 수 있다.

한편, 확장 시스템에서의 여파기, 반전기 및 지연 소자외에 스피커의 지향특성도 중요한 요소이다. 즉 스피커의 지향 특성이 다르면 직진성 및 반사율에서 큰 차이가 발생하므로 실험에 사용한 스피커의 특성을 조사하기 위해 백색 잡음 (white gaussian noise)을 이용하여 음압의 변화를 측정 한 결과를 그림 5 에 나타내었다.

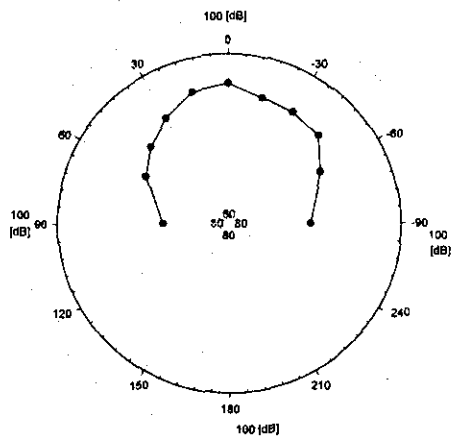


그림 5. 실험에 사용한 JBL(CM52) 스피커의 지향 특성

V. 실험 결과 및 고찰

제안한 방식의 타당성을 조사하기 위하여 $4\text{ m} \times 6\text{ m}$ 의 실내 공간에서 제안한 방식의 구조로 스피커를 설치하였다. 청취자는 스피커와 청취자사이의 거리 $H = 2.5\text{ m}$ 와 벽면과 스피커사이의 거리 $W = 2\text{ m}$ 떨어진 곳에 위치하여 음성 확장 효과를 실험하였다. 이 경우 고음의 음압 레벨은 식 (6)에 의해 약 2.5 dB 높게 하여 실험하였다. 이때 도달 시간차 $\Delta\tau$ 는 식 (1)에 의해 5 ms 가 되므로 저음은 고음에 비해 5 ms 지연된다. 그리고, 제안방식에서 반사판의 각도는 45° 이다.

실험의 평가방법은 원 신호와 제안한 방식으로 처리한 신호를 반복해서 들려주어 그 음상의 위치를 비교하게 하고 testing panel 로는 오디오에 관심이 많은 비전문가 20 명을 대상으로 설정하였고, sound source 로써 백색 잡음을 몇 개의 주파수 대역으로 나누어 음상의 확장 정도를 실험한 결과를 그림 6 에 나타내었다. 이때, 확장 정도는 5 단계 일대일 비교 척도를 이용하여 그림 6 에 나타내었다.

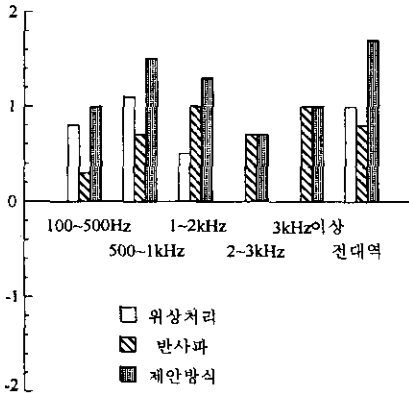


그림 6. 백색 잡음을 이용한 각 주파수 대역에서의 음상 확장 정도

그림 6에서 1kHz 이하에 대한 실험 결과는 위상 처리를 한 신호가 반사파만을 이용한 신호보다 훨씬 더 확장이 되었음을 알 수 있다. 반면, 1kHz 이상의 신호에서는 벽면 반사를 이용한 신호가 위상 처리된 신호에 비해 음상 확장이 더욱 이루어짐을 알았다. 또한, 벽면 반사와 위상 처리를 접목시킨 제안 방식에서는 모든 주파수 대역에서 음상 확장 정도가 뛰어나음을 알 수 있다.

음악 신호 California Dreaming 을 소스로 하여 확장감과 거리감에 관한 테스트 결과를 그림 7 과 그림 8 에 각각 나타내었다. 그림 7에서 원곡①의 경우 좌우 두 개의 스피커가 청취자에 대해 약 10° 정도에 위치하므로 음원이 10°~15° 사이에 위치하게 된다. 그러나, 위상처리만 한 신호②는 원곡에 비해 약 5°~10° 정도 확장됨을 알 수 있다. 또한, 반사판만을 이용한 신호③는 위상 처리만 한 신호에 비해서는 확장 정도가 크지만 제안 방식에 비해서는 그 효과가 비교적 작다는 것을 알 수 있다. 제안방식에서 스피커와 반사판의 각도가 45°인 신호④는 음상이 원곡에 비해 30°~40°정도 확장됨을 알 수 있고, 반사판의 각도가 70°인 신호⑤와 20°인 신호⑥는 확장 정도가 45°인 신호에 비해 작지만 원신호와 위상 처리 및 반사판만을 이용한 신호에 비해 크다는 것을 알 수 있다.

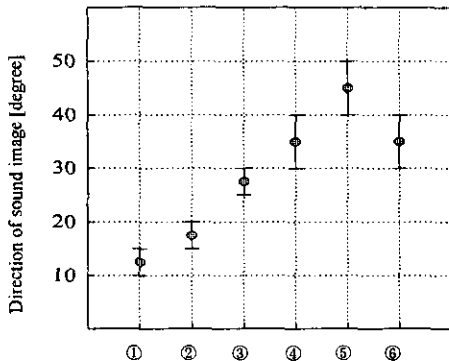


그림 7. 확장감에 대한 청취 테스트 결과

한편, 그림 8에서 원곡①과 위상 처리만 한 신호②에 비해 반사판만을 이용한 신호③과 제안 방식④⑤⑥은 스피커의 위치에 비해 훨씬 멀리서 들려 공간감을 향상시킨다. 따라서, 그림 7과 그림 8에서 반사판과 스피커의 각도가 45°가 될 때 확장감과 거리감의 효과가 가장 우수하다는 것을 알 수 있다.

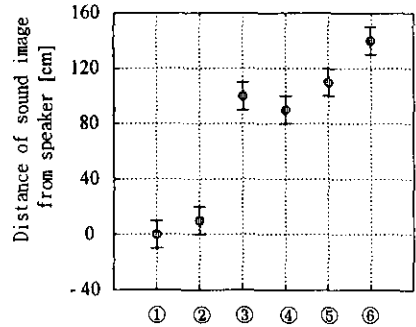


그림 8. 거리감에 대한 청취 테스트 결과

VI. 결론

본 논문에서는 위상 처리 방식과 벽면 반사음을 이용하여 저음과 고음에 각각 분리 적용시켜 음상의 확장을 이루었다. 즉, 입력 신호를 1kHz 기준으로 하여 분리한 뒤 저주파 성분은 위상 처리와 시간 지연을 시키고 고주파 성분은 반사판을 이용하여 벽면 반사시켜 청취자에게 도달되도록 한다. 이와 같은 방식은 직진성이 강한 고음은 벽면 반사로 인해 음상의 확장이 이루어지고 회절에 의해 청취자에게 도달하는 저음은 위상 처리에 의해 음상의 확장을 이룰 수 있어 전체적인 입력 신호에 대한 음상 확장을 꾀할 수 있다.

참고문헌

- [1] 山本武夫, 스피커 시스템(上), 라디오技術社, 1952.
- [2] 青木茂明, 宮田裕之, "音像定位," 電子情報通信學會誌, vol. 72, no. 8, pp. 860-864, Dec. 1989.
- [3] 이영욱, "순음의 위상차에 의한 음상 정위 특성," 경북대학교 전자공학과 석사학위논문, 1997년 12월.
- [4] 이용수, "선각 효과 및 반사음을 이용한 스테레오음상 확대," 경북대학교 전자공학과 석사학위논문, 1997년 12월.
- [5] Hans Wallach, "The Precedence Effect in Sound Localization," Journal of the Audio Engineering Society, vol. 21, no. 10, Dec. 1973.
- [6] 김호철, 물리음향학, 민음사, pp. 87-88, 1994.
- [7] 山本武夫, 스피커 시스템(下), 라디오技術社, 1952.