

음상 확장 기능을 갖는 텔레비전 수상기에서 센터 스피커에 관한 연구

이 상 훈, 김 동 수, 최 덕 규, 이 건 일, 송 규 익
경북대학교 전자공학과
702-701 대구광역시 북구 산격동 1370 번지
E-mail : shlee@palgong.kyungpook.ac.kr

A Study on Center Speaker in Television Receiver with Sound Image Expansion

Sang-Hoon Lee, Dong-Su Kim, Duk-Kyu Choi, Kuhn-Il Lee, Kyu-Ik Sohng
Dept. of Electronics, Kyungpook National University
1370 Sankyuk-dong, Buk-gu, Taegu, 702-701, Korea

Abstract

Many signal processing methods of widening the sound image for spatial impression have been studied. Most typical methods of widening the sound image are related to the phase shifting and precedence effect. However, these methods are not effective in center sound image. As listener's position moves from center to outside, the center sound image is shifted to the speaker. That is to say, the directional localization of center sound image is unstable.

In this paper, we propose a television audio system including center speaker, and analyze the role of center speaker using theory of Makida and precedence effect. In experiments, we confirm the usefulness of the center speaker for the stability of center sound image.

1. 서 론

텔레비전 오디오 시스템의 연구 목표 중의 하나는 영화관이나 콘서트 홀에서 느낄 수 있는 입장감을 가정에서도 느낄 수 있게 하는 것이다. 이를 위해 인간의 귀의 특성이 음원의 도래 방향에 따라 양이간의 음압차와 위상차가 다르다는 것을 이용한 위상처리 방식^[1,2]과 선착 효과를 이용하여 측면 반사음이 정면음보다 먼저 시청자에게 도달하도록 하는 방식^[3] 등을 연구하여 왔다. 그러나 이러한 방식에서는 좌우 채널에 비슷한 신호 레벨이 가해지는 센터 음이 재생되는 경우, 시청자의 위치가 중앙으로부터 벗어나게 되면 선착효과^[4,5]에 의해 먼저 도달하는 스피커쪽으로 음상이 이동하는 단점이 있다.^[6] 따라서 여러 사람이 텔레비전을 시청할 때 센터 음이 중앙에서 벗어난 위치의 시청자에게도 중앙에서 들려오도록 하는 음상의 안정을 꾀할 필요가 있다.

본 논문에서는 우선 두 스피커 간의 음압 레벨에 따른 중앙의 시청자의 음상 변화를 알아내었고 시청자의 위치와 음원의 위치에 따른 음상의 위치를 이론적으로 해석하였다. 음상 확장 기능을 갖는 텔레비전 수상기에서 센터 스피커를 채용한 시스템을 제안하고 이에 대하여 센터 음의 음상 정위와 음상 안정에 대하여 해석하였다. 그리고 센터 스피커를 사용한 음상 확장 텔레비전 오디오 시스템을 관심이 많은 비전문가 20 명을 대상으로 순음과 음성 신호에 대해 청취 실험한 결과 기존의 시스템보다 센터 음의 음상 정위와 음상 안정에 훨씬 효과적임을 확인하였다.

II. 음상 정위 해석

1. 음상 정위 이론

스테레오 음을 스피커로 청취하는 경우, 좌측 스피커의 음은 좌측 귀 뿐만 아니라 약간의 시간차와 레벨차를 가지고 우측 귀에도 들린다. 우측 스피커의 음도 마찬가지로 양쪽 귀에서 들린다.^[7] 스테레오 음은 좌우의 두 귀에 각각 두 번 입사되는 합성음으로 들리고, 인간은 합성된 좌우 신호 사이의 실효적인 시간차, 레벨차 등을 이용하여 음원의 방향을 판정한다. 따라서 음상 정위는 두 귀간의 시간차, 레벨차를 이용하여 간단한 형태로 모델링하는 것이 중요하다. 본 논문에서는 방향 정위 제안 모델 중에서 가장 널리 쓰이는 敎田의 이론을 이용하였다. 음상의 정위는 그림 1에서와 같이 θ_s 는 좌우 각 스테레오 스피커의 정면으로 떨어진 각도, θ_r 는 음원의 방향을 나타내며, k 는 우측 채널과 좌측 채널의 레벨 비를 나타내며, 음상 정위 방향을 계산한 결과는

$$\sin \theta_s = \frac{1-k}{1+k} \sin \theta, \quad (1)$$

와 같이 된다.^[2]

牧田 이론에 의한 음상 정위는 두 스피커 사이의 음상의 위치에 대해서는 알 수 있다. 그러나, 두 스피커 밖의 음상 정위에 대해 알기 위하여 두 스피커의 위상차에 대해서도 살펴 보았다. 단일 순음을 좌우 스피커를 통해 재생하기 전에 음압 레벨과 위상을 적절하게 변화시키면 음상을 스피커의 위치보다 넓은 방향에 정위시킬 수 있다.^[10] 즉, 두 스피커의 음압 레벨과 위상차를 조절하여 임장감을 느낄 수 있는 음상 확장을 할 수 있었다.

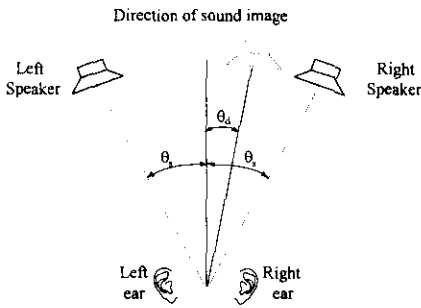


그림 1. 牧田 이론에 의한 음상 정위
Fig. 1. Directional localization of sound image in theory of Makida

2. 선착 효과

동일한 음이 짧은 시간 간격을 두고 서로 다른 방향에서 귀에 들어올 경우, 늦게 들어온 신호는 귀에 먼저 도착한 음에 의해 마스킹 된다. 따라서 음원의 방향은 귀에 먼저 도착한 음원 방향에서 틀리게 된다. 이 현상을 선착 효과(Haas effect, precedence effect)라고 한다.^{[14][7]}

Haas 는 좌우 스피커의 레벨을 조정하여 음상 정위를 중앙에 위치시키도록 하여 그때의 레벨차와 지연시간 간의 관계를 알아내었다. 우측 스피커에 시간 지연이 있을 때 좌우 스피커의 중앙에 음원을 위치시키기 위한 우측 스피커의 상대적인 음압 크기의 측정된 결과를 그림 2 에 나타내었다.^[6] 그림 2 에서와 같이 지연 시간 τ_s 와 음압 볼륨 레벨 P_H 의 관계를 선형 영역인 지연 시간 8 ms 이하에서 수식적으로 모델링하면,

$$P_H = 15.1(1 - e^{-0.182\tau_s}) \quad (2)$$

로 주어진다.

3. 음압에 따른 음상 정위 해석

텔레비전 오디오 시스템에서 시청자가 화면 중앙에 위치할 경우, 좌우 스피커의 음압 레벨이 같다면 센터 음상은 두 스피커의 중앙에 정위된다. 그러나, 좌우 두

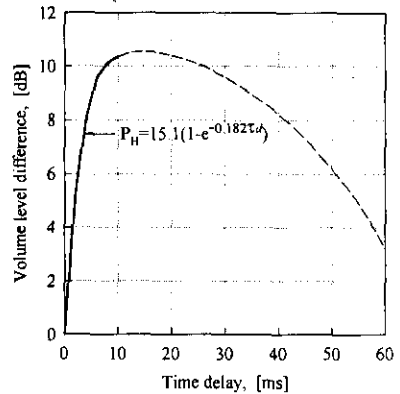


그림 2. 음원의 방향을 두 스피커의 중앙에 위치시키기 위한 지연 시간에 따른 볼륨 레벨차
Fig. 2. The relationship between volume level difference and delay time to place the sound image at the center of two speakers

스피커의 음압 레벨이 다른 경우에는 음상이 중앙에 정위되지 않는다. 따라서, 좌우 음압 레벨이 다른 경우의 음상의 위치를 해석할 필요가 있다.

두 스피커간의 거리 D가 70 cm 이고 화면 높이 H가 42 cm 인 29" 텔레비전을 기준으로 하여 화면 높이의 4~6 배인 표준 시청 거리에 시청자를 위치시키고 좌우 스피커의 음압 레벨만을 변화시켜 음상의 위치를 계산하였다. 이 때의 스피커 및 시청자의 위치 관계를 그림 3 에 보였다. 좌우 스피커의 중앙에 위치한 시청자가 느끼는 음상의 위치 θ_s 는 음상 정위 이론에 의해 주어진 식 (1)에 의해서 결정된다. 그림 3 에서와 같이 θ_s 는 청취 위치에서 두 개의 스피커 간의 각도를 반으로 나눈 각이고, d는 두 스피커의 중앙에서 음상까지의 거리이고, k는 좌우 스피커의 음압 레벨 비를 나타낸다. 이때, 시청 거리에서의 θ_s 는

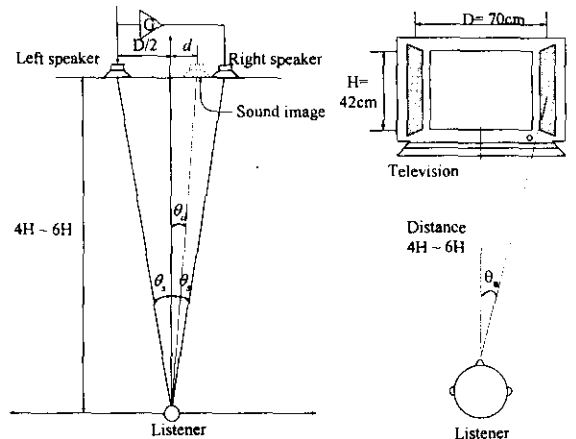


그림 3. 스피커의 좌우 음압에 따른 음상 정위 해석
Fig. 3. An analysis of sound image for sound press level difference.

$$\theta_s = \sin^{-1}\left(\frac{1-k}{1+k} \times \sin\theta\right) \quad (3)$$

로 나타난다. 식 (3)을 이용하여 좌우 음압 레벨차에 따른 시청자와 스피커의 각도 및 센터 음상의 위치를 그림 4에 나타내었다. 그림 4의 그래프는 음상의 위치를 우측 스피커 가까이로 이동시키기 위해서는 우측 음압 레벨이 좌측 레벨보다 커야 한다는 것을 나타낸다. 하지만 음상은 음압 레벨차의 증가에 비례하여 센터로부터 멀어지는 않는다.

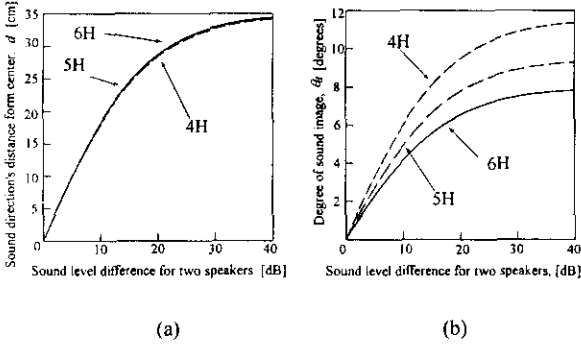


그림 4. 좌우 음압 레벨 변화에 따른 (a) 센터 음상 위치 및 (b) 각도
Fig. 4. (a) localization, (b) degrees of center sound image for sound level difference.

4. 음원 및 시청자의 위치에 따른 음상 해석

일반적으로 텔레비전을 시청할 때 청취 위치가 중앙에 고정되면, 좌우 두 스피커로 인한 음상도 고정되어 일정한 위치에서 음이 들린다. 그러나, 청취 위치가 변하면 센터 음상의 위치도 변하므로, 청취 위치와 음상의 관계를 해석할 필요가 있다. 이 경우의 해석을 위한 배치는 그림 5에서와 같다. 이 해석에서는 반사파는 없고, 스피커의 방사 패턴과 양이 효과에 의한 지역 순음 위상차를 고려하지 않는 敎田 이론과 선착 효과만을 고려한 단순한 형태로 해석하였다.

시청자가 텔레비전의 전면 중앙에서 우측으로 이동한 경우, 시청자와 좌우 스피커까지의 거리 d_L 및 d_R 은 각각

$$d_L = \sqrt{(D_H)^2 + (D/2 + d_{listener})^2} \quad (4)$$

$$d_R = \sqrt{(D_H)^2 + (D/2 - d_{listener})^2} \quad (5)$$

이 된다. 여기서, $d_{listener}$ 는 시청자의 이동 거리이고, D_H 는 브라운관의 높이에 따른 시청 거리, D 는 스피커간의 거리이다.

두 스피커에서 시청자까지의 시간차 t_s 는 시청자 위치에서 두 스피커 간의 거리 차이 d_{diff} 와 음파의 전파 속도 v 로 나타내면,

$$t_s = \frac{d_{diff}}{v} = \frac{d_L - d_R}{v} \quad (6)$$

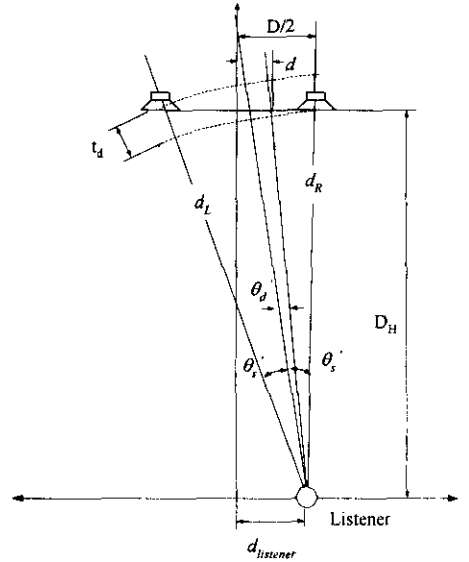


그림 5. 시청자의 위치에 따른 음상 정위 해석
Fig. 5. The analysis of sound image at listener's position.

로 주어지고, 시청자와 좌우 스피커 간의 전체 음압 레벨차 P_s 는 좌우 스피커 간의 거리 비에 따른 음압의 레벨차 P_p 와 식 (2)의 선착효과에 의한 음압 레벨차 P_n 의 합으로 표시하면

$$P_s = P_n + P_p = 15.1(1 - e^{-0.1212(d_L/d_R)}) + 20 \log\left(\frac{d_L}{d_R}\right) \quad (7)$$

이다. 한편, 이것을 선형 스케일 (linear scale)로 변환하여 좌우 스피커의 음압 레벨차 k 를 구하면,

$$k = 10^{\frac{P_s}{20}} \quad (8)$$

로 나타난다. 음상의 정위 각 θ_s 는 敎田 이론에 의한 식 (3)에 의하여 구하면,

$$\theta_s = \sin^{-1}\left(\frac{1-k}{1+k} \times \sin\theta\right) \quad (9)$$

가 된다.

따라서, 시청자의 위치가 변화할 때 센터 음상이 두 스피커의 중심으로부터 이동된 거리는 식 (9)를 이용하여 쉽게 구할 수 있다. 이를 나타내면 그림 6과 같다.

그림 6에서는 시청자의 위치가 중앙에서 멀어질수록 센터 음상이 스피커 쪽으로 이동함으로써 센터 음상의 정위가 불안정하게 됨을 나타낸다. 또한, 두 음원의 간격이 멀어질수록 두 스피커의 중앙에 있어야 할 센터 음상은 더욱 불안정하게 된다.

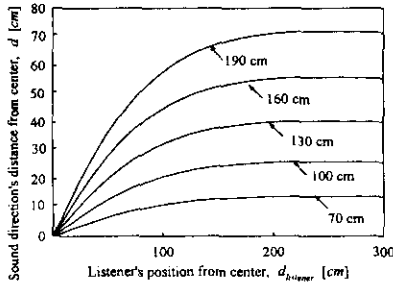


그림 6. 두 음원의 거리와 시청자의 위치에 따른 음상의 이동 거리

Fig. 6. Shifting distance of sound image for two sound source's distance and listener's position.

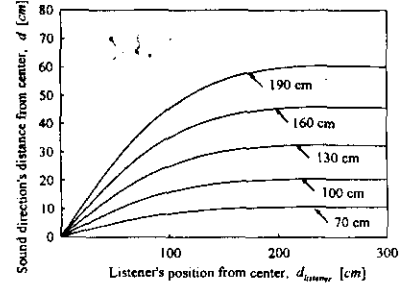


그림 8. 세 채널 시스템에서 두 음원의 거리와 시청자의 위치에 따른 음상의 이동 거리

Fig. 8. Shifting distance of sound image for two sound source's distance and listener's position in the three-channel system.

5. 센터 스피커를 포함한 텔레비전 오디오 시스템

센터 음상의 정위 불안정을 보정하기 위하여 본 논문에서 제안하는 센터 스피커를 포함한 세 채널 텔레비전 음성 확장 시스템을 그림 7에 나타내었다. 센터 음상 정위의 불안정은 나중에 들어온 스피커의 음이 먼저 도달한 스피커의 음에 의해 마스킹되는 선착 효과에 의해서 일어나게 된다. 이 음상 정위의 불안정을 제거하기 위해서는 두 스피커의 가운데에 좌우 두 음압 레벨 함의 반을 재생하는 센터 스피커를 포함한 시스템을 구성하였다. 센터 스피커를 포함한 시스템의 음상 이동 정도를 두 채널 시스템 해석 방법과 동일하게 해석하여 그림 8에 나타내었다. 그림 6과 비교하여 보면 센터 스피커를 포함하는 경우 음상의 안정 정도가 20% 정도 효과가 있음을 확인하였다.

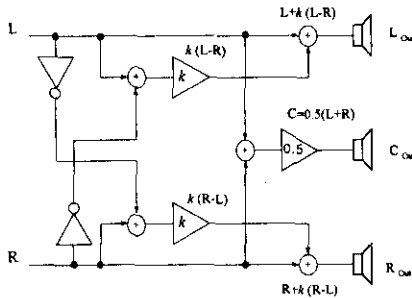


그림 7. 센터 스피커를 포함한 위상 처리 시스템
Fig. 7. Phase shift system with center speaker

III. 실험 결과 및 고찰

제안한 방식의 타당성을 조사하기 위하여 무반향실에서 세 채널 텔레비전 오디오 시스템의 음상의 안정과 정위에 대하여 실험하였다. 제안한 세 채널 음성 확장 시스템과 두 채널 시스템에서 시청자를 50cm 정도 벗어난 위치에 위치시키고 순음에 대하여 실험하였다. 센터 스피커를 포함한 시스템에서 센터 음상 안정

정도와 음상 정위는 효과적으로 나타난다.

본 논문에서는 음상 확장 기능을 갖는 텔레비전 수상기에서 센터 스피커를 채용한 시스템을 제안하고 이에 대하여 센터 음의 음상 정위와 음상 안정에 대하여 해석하였다. 그리고 센터 스피커를 사용한 음성 확장 텔레비전 오디오 시스템을 관심이 많은 비전문가 20명을 대상으로 청취 실험한 결과 기존의 시스템보다 센터 음의 음상 정위와 음상 안정에 훨씬 효과적임을 확인하였다.

참고문헌

- [1] 中林克己, "テレビ音聲多重放送用ステレオ音場擴大器," *テレビ誌*, 33, 3, 1979.
- [2] 市野良典 & 二階堂誠也, *オーディオ機器*, 프로ナ社, 1991.
- [3] 山本武夫, *スピーカシステム(上)*, 라디오技術社, 1952.
- [4] 이용수, "선착 효과 및 반사음을 이용한 스테레오 음성 확대," *경북대학교 전자공학과 석사학위논문*, 1997.
- [5] 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.
- [6] Mark B. Gardner, "Historical Background of the Hass and/or Precedence effect," *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 43, no. 6, 1968.
- [7] Hans Wallach, "The Precedence Effect in Sound Localization," *Journal of the Audio Engineering Society*, vol. 21, no. 10, Dec. 1973.
- [8] 강성훈, *강경옥, 입체 음향*, 기전 출판사, p6, 1997.
- [9] Glyn Alkin, *Sound Recording and Reproduction*, Focal Press, 1991.
- [10] 이영욱, "순음의 위상차에 의한 음상 정위 특성," *경북대학교 전자공학과 석사학위논문*, 1997.