능동제어를 이용한 스피커 지향성의 방사특성

이채봉* · 이창영**

Radiational characteristics of speaker directivity using active control

Chai-Bong Lee* · Chang-Young Lee**

요 약

본 논문에서는 FXLMS(Filtered-X LMS) 알고리즘을 이용하여 지향성을 가진 배열의 스피커 시스템을 구축하고 그 방사특성을 확인하였다. 배면 위치한 스피커에서 제어대상 신호의 180° 특성에 대하여 최적화 된 필터계수에 의해 제어신호를 발생시켜 제어스피커 0° 방향 특성을 간섭시켜 제어스피커 정면 0° 특성의 억제를 하도록 하였다. 이 시스템을 이용하여 장착된 배면 스피커 배열의 방사특성을 측정하였으며 제어대상 스피커의 신호가 감쇄효과를 나타나는 것을 확인하였다. 감쇄시 적응필터계수를 이용하여 배면위치 스피커의 주파수특성과 방사특성을 구한 결과, 제어점에 있어서의 감쇄는 모든 주파수 영역에서 확인되었다. 100Hz, 200Hz, 1000Hz에서의 주파수대역에서는 정면에서 60°~100°의 범위에서 감쇄효과가 나타났다.

ABSTRACT

In this paper, we constructed an array of speaker system with directivity by using FXLMS(Filtered-X LMS) algorithm and confirmed its directivity. The front 0° characteristics of the controlled speaker was suppressed by interfering it with the control signal produced with filter coefficients optimized with respect to the 180° characteristics of the rear speakers. The directivity of the array of rear speakers was measured and the damping effect of the signal from the front speaker array was confirmed. The frequency characteristics and directivity was investigated by using the adaptive filter coefficients on damping, the damping on the control point was verified in all the frequency range. In 100Hz, 200Hz, 1000Hz regime, the damping effect was observed in the range of front 60°~100°.

키워드

Active control, Radiational characteristics, Speaker characteristics, Signal processing, FXLMS algorithm,
능동제어, 방사특성, 스피커 특성, 신호처리, FXLMS 알고리즘

Ⅰ. 서 론

음은 정보전달의 수단으로서 중요한 역할을 하고 있다. 그러나 음은 단순히 물리현상만 아니라 인간의 심리에 영향을 미치기 때문에 사회적 문제가 되기도 한다[1, 2]. 특히 공동공간에서 음을 발생시켰을 때는 주의를 요한다. 출력되는 음이 필요로 하지 않는 사람에게는 소음이 된다. 최근 고령자나 청각 장애자가 공공 교통기관을 이용하여 원활히 이동할 수 있도록 음을 이용한 유도나 안내를 실현하고자 하고 있다[3].

* 동서대학교 전자공학과(lcb@dongseo.ac.kr)
** 교신저자 : 동서대학교 시스템경영공학과(seewhy@dongseo.ac.kr)
접수일자 : 2011. 11. 10 심사(수정)일자 : 2011. 12. 05 게재확정일자 : 2011. 12. 22

이러한 시도는 점차 확산되고 있으며 특정 장소에만 음이 출력되도록 제어가 되면 주변의 사람에게 피해가 가지 않게 된다. 잔향이 있는 안내 방송이나 유도하는 음원방향이 정해지지 않는 상황에서는 고령자나 청각 장애자에게는 위험한 상황이 될 수 있다. 그리고 미술관이나 박물관 등에서 전시물 설명을 스피커를 이용하는 경우에는 전시물 앞에 있는 사람에게만 들리고 다른 장소에 있는 사람에게는 들리지 않게 할 필요성도 있다4, 5]. 이러한 상황에서는 원하는 장소나 사람에게만 음을 출력하는 지향성 스피커를 이용하는 것이 유효하다. 스피커 배열이나 초음파의 비선형 상호작용을 이용한 다수의 지향성 스피커의 연구가 되고 있다[6, 7]. 그러나 이러한 지향성 스피커 배열을 이용한 연구는 저역에서 지향성을 형성하기 위해서는 스피커의 간격을 넓히거나 스피커의 수를 증가해야 할 필요가 있으며 설치장소가 제한되는 문제점이 있다[8, 9].

본 연구에서는 2개의 스피커를 배면 설치하는 것으로 제어점에 대해 각각의 스피커의 특성을 바꾼 능동제어 시스템에 의해 제어점의 신호를 감쇄시켜 음을 방사하지 않는 방향을 만드는 것에 의해 지향성을 가진 스피커 시스템을 만드는 것을 목표로 하고 있다. 본 논문에서는 가청영역을 출력하는 일반적인 스피커를 이용하여 최적화 된 필터 계수를 DSP에 의한 FXLMS(Filtered-X LMS) 알고리즘을 이용하여 구하여 배면 배치 스피커에 의한 시스템을 만들어 음의 방사 특성을 확인하였다.[10]

II. 시스템의 원리와 구성

2.1 FXLMS 알고리즘

일반적으로 소음을 제어점의 오차 마이크로폰으로 관측하여 이것을 소음과 동위상 혹은 역위상의 신호를 적응 디지털 필터에 의해 생성한다. 이때 제어로 발생된 오차신호를 바탕으로 적응 디지털 필터의 계수를 변경한다. 일반적인 방법으로 계수변경은 연산량이 적은 LMS 알고리즘을 사용한다. 그러나 LMS 알고리즘은 2차 경로의 지연특성을 고려하지 않으므로 제어량에 한계가 있다. 그림 1에서 보는바와 같이 2차 경로 지연특성을 측정하여 이것을 입력신호에 연산하는 것으로 2차 경로를 고려한 FXLMS 알고리즘으로 하였다.

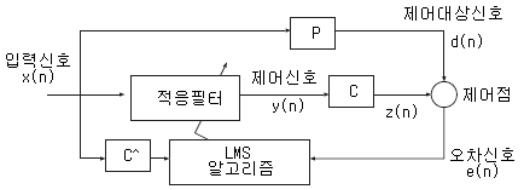

그림 1. FXLMS 알고리즘
Fig. 1 FXLMS algorithm

스피커와 마이크로폰까지의 전달경로를 거쳐 제어점에 도달한 신호 $z(n)$에 의해 제어대상 신호 $d(n)$을 제어한다. 이때 디지털 필터 출력 $y(n)$에서 $z(n)$까지의 전달특성은 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$z(n) = \sum_{j=0}^{N_c-1} c(j)y(n-j) \tag{1}$$

오차경로의 존재에 의해 디지털 필터로부터의 제어신호가 지연되어 제어점에 작용한다. 이때 관측된 오차신호 $e(n)$은 식(2)와 같다.

$$\begin{aligned} e(n) &= d(n) + z(n) \\ &= d(n) + \sum_{j=0}^{N_c-1} c(j)y(n-j) \\ &= d(n) + \sum_{j=0}^{N_c-1} \left(\sum_{j=0}^{N_h} h(k,n)x(n-k-j)\right) \end{aligned} \tag{2}$$

오차신호의 제곱근 $e^{\wedge}(n)$을 필터계수 $h(k,n)$으로 편미분하면 다음과 같이 입력신호 $x(n)$에 오차경로특성 $c(n)$이 연산된 형태가 된다.

$$\frac{\delta e^{\wedge}}{\delta h(k,n)} = -2E\left[e(n)\sum_{j=0}^{N_c-1} c^{\wedge}(j)x(n-k-j)\right] \tag{3}$$

이와 같이 능동시스템을 구성하는 경우는 오차경로 특성을 측정할 필요가 있다. 측정된 오차경로 특성을

$e^{\wedge}(n)$으로 나타내고 입력신호에 이 특성을 연산하면 참조신호는 식(4)와 같이 된다.

$$r(n) = \sum_{j=1}^{N_c - 1} c(j)x(n-k-j) \tag{4}$$

관측된 참조 입력신호 $x(n)$이 오차경로 특성을 모의한 필터를 통하여 얻어진 신호 $r(n)$에 의해 적응화 된 LMS 알고리즘을 FXLMS(Filtered-X LMS)라고 하며 이 알고리즘의 적응 디지털 필터의 계수는 식(5)와 같다.

$$h(n+1) = h(n) + \mu e(n) r(n) \tag{5}$$

이와 같이 적응 디지털 필터계수의 갱신을 하여 오차신호 $e(n)$를 최소화 한다.

2.2 시스템의 구성

고 주파수 대역에서의 스피커의 방사특성은 스피커의 정면에 지향성을 가지는 방사특성을 가지고 있으며 저 주파수 영역에서는 신호가 스피커의 뒷면까지 회절하여 스피커의 뒷면에도 신호가 방사되고 있다. 한쪽의 스피커 배면에 다른 스피커를 배치하여 동진폭, 역위상 신호를 간섭시키므로서 한쪽의 스피커 배면의 방사특성을 제어하여 전 주파수 대역에 있어서 정면방향으로 지향성을 얻을 수 있다.

배면 배치 스피커의 구성은 그림 2와 같다. 제어대상 배면 배치에 사용하는 2개의 스피커는 제어대상 스피커와 제어 스피커로 나누어 제어대상 신호 0°의 특성에 대하여 제어신호 정면에서 180° 방향의 특성을 간섭시켜 제어대상 신호 0° 특성을 억제한다. 제어신호는 정면에서 180° 방향의 특성이 능동제어 시스템에 의해 최적화 된 필터 계수에 의해 제어대상 신호 0°의 신호와 동진폭, 역위상이 되도록 필터처리를 한다. 신호가 억제되면 그 부분의 지향성을 없애는 것이 되어 방사특성의 제어가 가능하다.

능동제어 시스템에 의한 FXLMS 알고리즘의 계수 변경에 의해 제어신호 0°의 신호가 수속할 때의 계수를 최적화 된 계수로 사용하고 배면 배치 스피커의 역위상 필터로서 장착하였다. 계수 추정을 위한 시스템 구성은 그림 3과 같다. 제어 스피커와 제어 대상

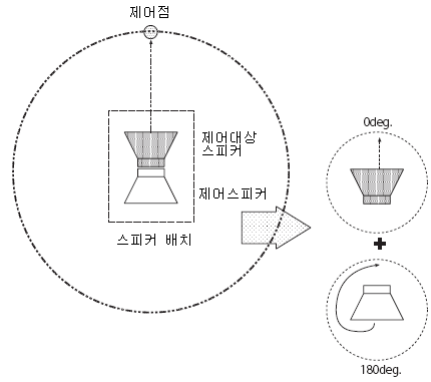

그림 2. 배면 배치 스피커의 구성
Fig. 2 Composition of the rear speaker

스피커에서 출력된 신호를 제어점인 마이크로폰으로 측정하고 이것을 바탕으로 소음과 동진폭, 동위상의 신호를 적응 디지털 필터에 의해 생성한다. 이때 제어로 생긴 오차를 바탕으로 적응 디지털 필터 계수를 변경한다. 이 계수를 변경하는 알고리즘은 그림 3에 나타낸 바와 같이 제어대상 신호에 제어신호를 간섭시켜 억제가 되지 않은 신호, 즉 오차신호의 제곱 평균오차를 고려하여 최소치가 되도록 억제하도록 하였다.

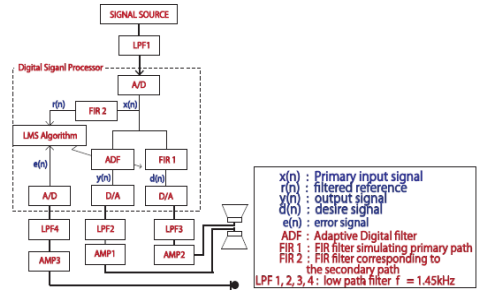

그림 3. 능동제어 시스템의 구성
Fig. 3 Composition of the active control system

III. 배면 배치 스피커의 방사특성 측정 및 결과

배면 배치된 2대의 스피커에 백색잡음을 입력하여 마이크로폰으로 무향실에서 측정을 하였다. 측정용 마이크로폰은 배면 배치 스피커로부터 1.5m 위치에 두었으며 스피커 배치의 0°에서 10° 간격으로 350°까지

36회 측정을 하였다. 시스템에 사용한 기기는 TMS 320C6713을 이용하였으며, 개발 환경은 C언어로 구성하였다. 샘플링 주파수는 10kHz로 하였으며 A/D변환은 16bits, D/A변환은 14bits로 하였다.

배면 배치 스피커의 주변 360°의 신호에 있어서 주파수특성을 구하여 방사특성을 확인하였다. 그림 4는 배면 배치 스피커의 0°의 신호와 180° 신호의 주파수 특성을 나타내었다. 그림에서 수속시키는 대상이 되는 저 주파수 영역에 있어서 신호가 억제되고 있음을 알 수 있다.

그림 5~9는 배면 위치 스피커를 100Hz, 200Hz, 500Hz, 1kHz, 2kHz에 있어서 주파수마다 비교하여 방사특성을 나타내었다. 각각의 주파수에 있어서 배면 배치 스피커 0°의 특성을 0dB로 표시하였다. 측정결과를 보면 제어점에서 각각의 주파수에서 감쇄효과를 확인 할 수 있다. 100Hz, 200Hz에서는 스피커 배면의 대부분이 감쇄효과를 나타내고 있으나 500Hz에서는 제어 스피커와 제어대상 스피커의 음이 중첩되어 스피커의 방사특성보다 증대하고 있는 부분이 보인다.

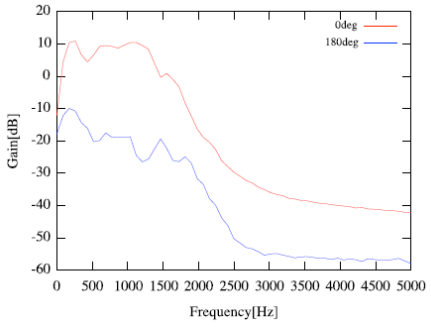

그림 4. 주파수특성
Fig. 4 Frequency characteristics

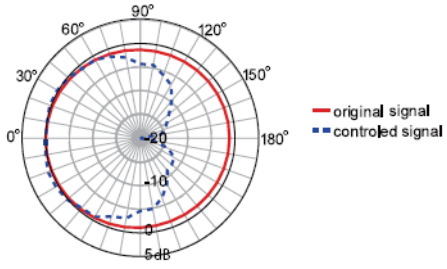

그림 5. 방사특성 100Hz
Fig. 5 Radiational characteristics of 100Hz

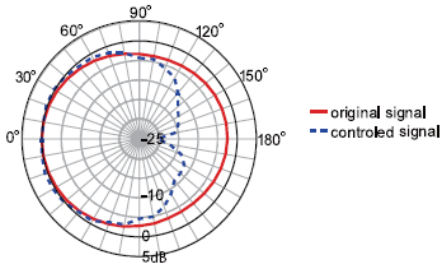

그림 6. 방사특성 200Hz
Fig. 6 Radiational characteristics of 200Hz.

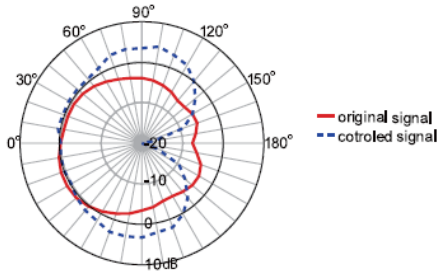

그림 7. 방사특성 500Hz
Fig. 7 Radiational characteristics of 500Hz

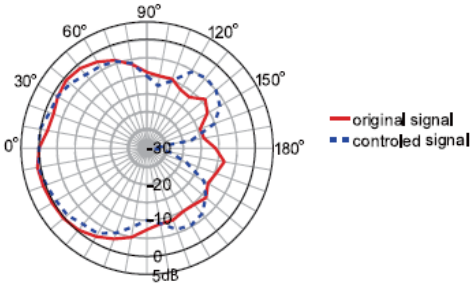

그림 8. 방사특성 1000Hz
Fig. 8 Radiational characteristics of 1000Hz

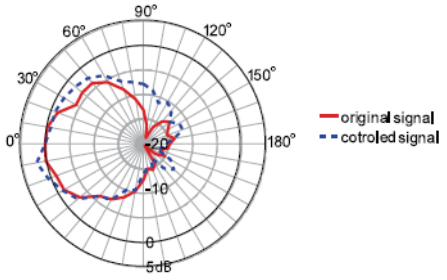

그림 9. 방사특성 2000Hz
Fig. 9 Radiational characteristics of 2000Hz

Ⅸ. 결 론

본 논문에서는 2개의 스피커를 배면 설치하는 것으로 제어점에 대해 각각의 스피커의 특성을 바꾼 능동제어 시스템에 의해 제어점의 신호를 감쇄시켜 음을 방사하지 않는 방향을 만드는 것에 의해 지향성을 가진 스피커 시스템을 구성하였다.

가청영역을 출력하는 스피커를 이용하여 FXLMS 알고리즘에 의해 얻어진 최적화 된 필터계수를 이용하여 배면 배치 스피커 시스템에 장착하였다. 시스템의 방사특성을 측정한 결과, 저 주파수 영역에 있어서 배면 배치 스피커의 정면 특성에 대하여 배면 특성이 감쇄하였으며 한 방향의 지향성을 얻을 수 있었다. 감쇄시 적응 필터계수를 이용한 배면 배치 스피커의 주파수특성과 방사특성을 측정한 결과, 제어점에 있어서의 감쇄는 전 주파수 대역에서 일어났다. 100Hz, 200Hz, 1000Hz에서의 주파수 대역에서는 60°~110° 범위에서의 감쇄효과가 나타났다.

감사의 글

이 논문은 2011년도 동서대학교 "Dongseo Frontier Project" 지원에 의하여 이루어진 것임.

참고 문헌

[1] Usagawa T, Nishihara, T, Chsaki Y, "On threshold of acoustic signal provided by a born conduction actuator", JASA conference spring, pp.613l-616, 2010.

[2] Minako T, Sharifah S, Yoshifumi C, " Quantitative evaluation of segregated signal with frequency domain binaural mode

[3] Sadayuki U, Takayuki A, Kiyohiro K, Shinchi S, Hisao N, Hiroshi S, "Existing technologies and issues surrounding barrier-free acoustic environments", The Journal of the Acoustical Society of Japan, Vol.63. No.12, pp.723-730, 2007.

[4] 정내경, 임형규, 박세원, "사변형 그래프에 관하여", 한국전자통신학회논문지, 5권, 3호, pp.223-244, 2010.

[5] 김동욱, "열영상 기반의 전력선 검출", 한국전자통신학회논문지, 5권, 3호, pp.245-250, 2010.

[6] Tanaka K, Kukuda T, "The development of a speaker for museum and art gallery", Nikei Electronics, Vol.587, pp.155-165, 1993.

[7] Nishiyo K, Oki Y, "The array speaker used for two dimensional digital filter", The Information and Systems Society、Vol. J78-A, No. 11, pp.1419-1428, 1995.

[8] Miyama S, Hoya W, "The examination of parameter speaker with commercialization", The Journal of the Acoustical Society of Japan, Vol.41. No.6, pp.378-385, 1985.

[9] Aoki K, Matumoto K, Kumamoto, "The parameter speaker : application", The Information and Systems Society、Vol. J76-A, No. 8, pp.1127-1135, 1993.

[10] 김동욱, "소실점과 움직임 객체간의 거리추정", 한국전자통신학회논문지, 6권, 5호, pp.637-642, 2011.

저자 소개

이채봉(Chai-Bong Lee)

1985년 2월 : 동아대학교 전자공학과 졸업 (공학사)
1988년 3월 : 동북대학교 대학원 전기통신공학과 졸업(공학석사)
1992년 3월 : 동북대학교 대학원 전기통신공학과 졸업(공학박사)
1993~현재 :동서대학교 전자공학과 부교수
※ 관심분야 : 신호처리, 음향공학

이창영(Chang-Young Lee)

1982년 2월 서울대학교 물리교육학과 졸업 (이학사)
1984년 2월 한국과학기술원 물리학과 졸업 (이학석사)
1992년 8월 뉴욕주립대학교 (버펄로) 물리학과 졸업 (이학박사)
1993년~현재 동서대학교 시스템경영공학과 조교수
※ 관심분야 : 음성인식, 화자인식, 신호처리