

# 개인 음향 공간을 위한 라인 어레이 스피커의 객관적 음질을 고려한 빔포밍 설계

## The beamforming design of line array loudspeaker considered objective sound quality for a personal audio space

황미경\* · 유호민\* · 김기현\* · 왕세명†

Mikyung Hwang, Homin Ryu, Kihyun Kim and Semyung Wang

### 1. 서 론

개인 음향 공간을 형성하기 위하여 라인 어레이 스피커를 이용한 특정 영역으로의 빔형성기법이 연구되어 왔다. 이는 특정 공간 영역에서 소리의 지향성은 높였지만, 제어 결과 가청주파수 대역 내에서 고르지 못한 음압을 형성하여 음질이 저하되는 문제가 유발되었다.

본 연구에서는 지향성과 라우드스피커의 객관적 음질을 고려한 역필터링<sup>(1)</sup>방법을 제안하고, 에너지 기반 방법 중 가청 영역과 비가청 영역의 음향 에너지 비를 최대화 하는 대조제어<sup>(2)</sup>와 비교하였다. 수치해석을 통하여 두 기법의 성능이 평가되었으며, 음원은 스피커의 방사특성과 유사한 쌍극음원을 사용하였다.

### 2. 본 론

#### 2.1 라우드 스피커에서의 음질

라우드스피커의 음질을 평가하는 데는 주관적 평가방법과 객관적 평가방법으로 나뉜다. 전자는 평가자의 심리적 상태에 따라서 음질 평가의 신뢰성 확보가 어렵고, 시간과 비용이 많이 든다. 반면 객관적 평가방법은 주파수를 파라미터로 하는 진폭과 위상차로, 각각 입력되는 신호의 주파수 성분이 출력 응답에서도 정확하게 재생되고 지연 없이 재생되는

지를 나타낼 수 있다. 즉 객관적 평가방법으로 라우드스피커의 성능을 평가할 때, 좋은 라우드스피커는 주파수 특성에 피크와 딥이 없고 재생 주파수 대역이 넓은 특성을 보여야 한다.<sup>(3)</sup> 이는 주파수 응답에서 전체적으로 고른 크기와 균지연이 나타나야 함을 뜻한다.

#### 2.2 라인 어레이 스피커의 빔포머 설계변수

그림 1은 빔포머 설계 변수를 나타내고 있다. 총 13개의 스피커를 최소간격 6.7cm와 최대간격 13.4cm, 전체길이 107.2cm로 배치하였다. 제어주파수 구간은 543Hz ~ 4,863Hz이다. 가청영역과 비가청영역은 반지름 1m인 반원에서  $\theta_A = 85^\circ$ ,  $\theta_I = 70^\circ$ 로 설정하였다.

어레이 중심으로부터 R의 거리에서 각도 별 음압은 식 (1)과 같다.

$$p_s = \sum_{m=-M}^M G_m^s q_m \quad (1)$$

여기서, s는 R=1m 거리에서의 0 ~ 180° 구간의 지점, m은 스피커 음원의 인덱스,  $G_m^s$ 은 음원의 인덱스와 공간상의 s 거리와의 전달함수, 그리고  $q_m$ 은 m번째 음원의 복소 크기를 나타낸다.

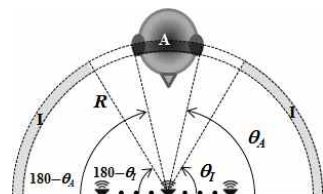


그림 1. 빔포머 설계변수 도식

† 교신저자; 정회원, 광주과학기술원 기전공학부

E-mail : smwang@gist.ac.kr

Tel : (062) 970-2390, Fax : (062) 970-2384

\* 광주과학기술원 기전공학부

### 2.3 빔포머 설계 방법 비교

종래의 빔형성 방법은 크게 에너지 기반의 방법과 최소 자승법 기반의 방법으로 나눌 수 있다. 대표적인 에너지 기반의 방법<sup>(2)</sup>은 밝기 제어와 대조제어 그리고 이득차이 제어가 있다. 대표적인 최소 자승법 기반의 방법으로 스칼라 최소화 문제의 해인 역 필터링<sup>(1)</sup>이 있다. 이는 에너지 기반의 방법과 다르게 가청 공간에서 목적하는 성능의 주파수 응답(크기, 위상)을 얻을 수 있다.

에너지 기반의 방법 중 공간의 지향성을 최대화하는 대조 제어와, 지향성을 보장하면서 가청영역에서 객관적 음질을 고려한 역필터링 방법과 비교해 볼 것이다.

#### (1) 대조 제어

한 공간에서 가청영역이 최대한 높은 소리의 크기를 내면서 비가청영역은 조용하게 할 수 있는 대조 제어의 목적함수를 다음과 같이 설정할 수 있다.

$$\max. D_o = \frac{\sum_{s \in A} \left| \sum_{m=-M}^M G_m^s q_m \right|^2}{\sum_{s \in I} \left| \sum_{m=-M}^M G_m^s q_m \right|^2} \quad (2)$$

#### (2) 객관적 음질을 고려한 역필터링

역필터링은 목적응답과 오차의 자승을 최소화시키는 방법이다. 이때 가청영역의 목적응답은 재생대역에서의 평탄한 음압과 선형적인 위상, 비가청영역의 목적응답은 0으로 설정하여 평탄한 주파수 응답과 지향성이 보장됨을 고려하였다. 목적함수를 다음과 같이 설정할 수 있다.

$$\min J = E_m^H E_m + \beta q_m^H q_m \quad (3)$$

여기서,  $E = p_d - G_m^H q_m$ 은 타겟응답과 각도별 음압의 성능의 차이, 그리고  $\beta$ 는 정규화 매개변수이다.

### 3. 결 론

그림2와 3은 대조제어와 객관적 음질을 고려하여 설계한 역필터링 방법의 결과를 보여준다. 각각 제어 주파수 대역에서의 주파수응답의 크기와, 위상 및 군지연을 나타낸다.

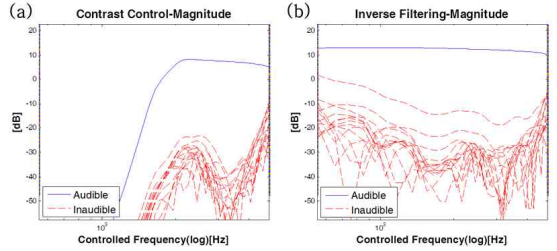


그림 2. 제어결과-크기. (a)대조제어. (b)역필터링.  
 실선 : 가청영역의 평균 음압.  
 점선 : 5° 간격의 비가청영역(0 ~ 70°)의 음압.

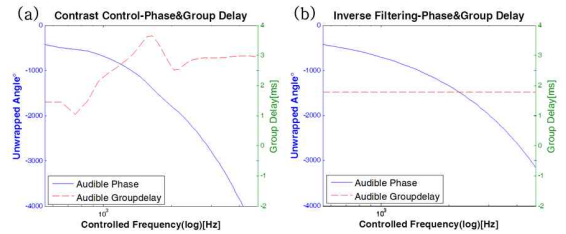


그림 3. 제어결과-위상,군지연. (a)대조제어.  
 (b)역필터링.  
 실선 : 가청영역의 위상.  
 점선 : 가청영역의 군지연.

고찰 결과, 지향성 측면에서는 대조제어가 우수하지만, 객관적 음질을 고려한 역필터링 방법은 제어 주파수 대역의 음압과 군지연이 평탄함과 동시에 지향성을 보장하였다.

### 참 고 문 헌

[1] O. Kirkeby and P. A. Nelson, "Reproduction of plane wave sound fields," J. Acoust. Soc. Amer., vol. 94, pp. 2992-3000, 1993.

[2] J.W. Choi, Y.H. Kim, Generation of an acoustically bright zone with an illuminated region using multiple sources. Journal of the Acoustical Society of America 111(4) (2002) 1695-1700.

[3] Floyd E. Toole, "Loudspeaker Measurements and Their Relationship to Listener Preferences: Part 2," J. AES, Vol. 34, Issue 5, pp. 323-248, May 1986.