

# 무향 환경에서 구형 마이크로폰 어레이의 성능 평가

## Performance Test of Spherical Microphone Array in An Anechoic Environment

최시흥\*\*· 이재형\*\*· 김영기\*\*· 최종수†

Sihong Choi, Jaehyung Lee, Young-Key Kim and Jong-Soo Choi

### 1. 서론

자동차 실내와 같이 닫힌 공간의 음장 해석 및 소음원 위치 판별에 관련한 3 차원적 음장 분석을 위한 구형 마이크로폰 어레이는 구면에 센서가 배치되어 있어 전 방향에 대해 측정이 가능한 장점을 가지고 있다. 이러한 구 형태의 빔형성 기법은 어레이의 전자적인 지향 전환을 통해 공간상에 분포한 소음원의 위치를 추정 할 수 있도록 한다.

본 논문에서는 구형조화함수 분해기법을 이용하여 조화 수(harmonics order)가 유한한 경우에 대해 구형 마이크로폰 어레이가 가지는 공간상 분해능을 평가 하였다. 먼저 시뮬레이션을 통해 어레이의 성능을 예측하였고, 무향 환경에 있는 음원을 이용하여 구형 어레이의 성능 평가를 하였다.

### 2. 이론적 배경

구형조화함수 분해기법을 이용하여 음장을 분석하기 위해 다음 두 가지 가정이 필요하다. 첫째, 전체 구면에서의 음압 정보를 알아야 한다. 이런 가정은 실제 측정에서 유한한 수의 센서와 그에 따른 배치 문제로 인해 완전히 만족되지 않으므로 본 연구에서는 센서에서 측정된 음압 정보를 적용하도록 한다. 둘째, 분석하고자 하는 음장이 평면파들의 복잡한 중첩으로 구성되어 있다고 가정한다. 이 가정을 기반으로 측정하고자 하는 음장을 구형 푸리에 변환(spherical Fourier transform)을 이용하여 평면파들의 조합으로 표현할 수 있다.

#### 2.1 강체 구면에서의 음압

반지름이  $a$  인 강체 구에서의 입사 평면파의 경우,

$$\psi_i(s_i, ka) = 4\pi \sum_{n=0}^{\infty} i^n j_n(ka) \sum_{m=-n}^n Y_n^m(s_j) Y_n^{m*}(s_i) \quad (1)$$

와 같이 표현할 수 있으며, 소음원이 위치한 방향은  $s_j(\theta_j, \varphi_j)$ ,  $s_i(\theta_i, \varphi_i)$  는  $i$  번째 센서이다.  $j_n(ka)$  는 제 1 종 구형 베셀 함수이다. 이때의 산란파는

$$\psi_s(s_i, k, a) = -4\pi \sum_{n=0}^{\infty} i^n \frac{j'_n(ka)}{h'_n(ka)} h_n(ka) \sum_{m=-n}^n Y_n^m(s_j) Y_n^{m*}(s_i) \quad (2)$$

으로, 따라서 강체 구면에서의 평면파에 의한 음압은

$$\begin{aligned} \psi(s_j, s_i, ka) &= \psi_i(s_i, ka) + \psi_s(s_i, ka) \\ &= 4\pi \sum_{n=0}^{\infty} i^n b_n(ka) \sum_{m=-n}^n Y_n^m(s_j) Y_n^{m*}(s_i) \end{aligned} \quad (3)$$

이고, 여기서 강체 구형의 경우, 모드 진폭 계수(mode amplitude coefficients)는

$$b_n(ka) = j_n(ka) - \frac{j'_n(ka)}{h'_n(ka)} h_n(ka) \quad (4)$$

으로 나타낼 수 있다.  $h_n(ka)$  은 제 1 종 구형 헨켈 함수이다.

#### 2.2 빔형성 방법

구형 빔형성 기법은 구형 조화 함수의 직교성(orthonormality)을 이용하여 어레이 주변에 도달하는 음장을 분리하는 것이다. 구면에서 정의된 적분 가능한 함수는 구형 조화 급수로 전개되어 원하는 빔패턴을 형성할 수 있다. 빔형성 응답  $y_j(k)$  은

$$y_j(k) = \sum_i w(k, s_j, s'_i) \psi(k, s'_i) \quad (5)$$

로 표현되며  $w(k, s_j, s'_i)$  는 어레이 응답,  $\psi(k, s'_i)$  를 구할 수 있다.

### 3. 결과

#### 3.1 빔형성 방법에 의한 시뮬레이션 분석

구형 어레이의 성능을 예측하기 위해 앞서 언급한 이론적인 빔파워 계산식에 따라 수치적 시뮬레이션

† 교신저자; 충남대학교 항공우주공학과  
E-mail : jchoi@cnu.ac.kr  
Tel : (042) 821-6688, Fax : (042) 825-9225  
\* 충남대학교 항공우주공학과 대학원  
\*\* (주) 에스엠인스트루먼트

을 수행하였다. 빔형성 기법에서의 분해능은 센서의 위치와 개수에 따라 달라지게 되는데, 본 연구에서는 32 개의 센서를 구면상에 배치시키기 위하여 정 20 면체의 모서리를 깎아 낸 준 정다면체의 각 면의 중심점의 좌표를 이용하였다. 소음원 위치 (90, 180)의 조건에 대하여 소음원의 주파수 0.5~8 kHz 범위에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. 이때 구의 직경은 0.132 m 이다.

### 3.2 무향 환경에서 구형 어레이 성능 실험

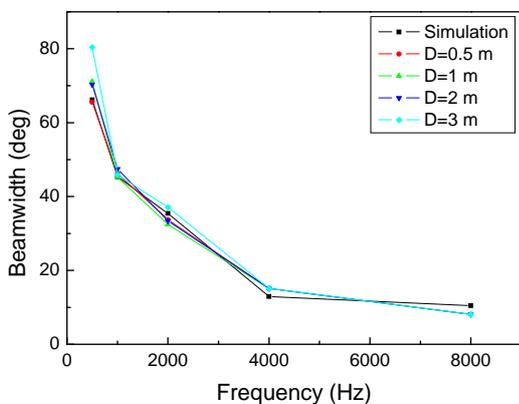
앞서 수행한 시뮬레이션과 동일한 조건에서 거리 0.5 m, 1 m, 2 m, 3 m 일 때 무향 환경에서 실험을 수행하였다.



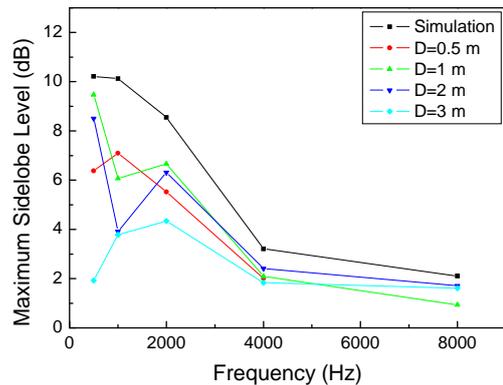
**Fig 1 Experiment Apparatus of Spherical Microphone Array**

### 3.3 시뮬레이션과 실험 결과 비교

어레이의 성능은 빔폭과 주엽과 부엽의 레벨 차로 결정 되는데 Fig 2 은 시뮬레이션과 실험의 -3 dB 일 때의 빔폭을 보여 주고 있고, Fig 3 은 주엽과 부엽의 레벨 차를 보여 주고 있다. 빔폭의 경우 거리의 상관없이 실험 결과가 시뮬레이션 결과에 잘 맞는 것을 확인할 수 있다. 반면에 주엽과 부엽의 레벨 차는 낮은 주파수 대역에서는 거리가 증가 함에 성능이 좋지 않는 경향을 보여 주고 있다.



**Fig 2 Comparison of Beamwidths of Simulation and Experiments**



**Fig 3 Comparison of Maximum Sidelobe Levels of Simulation and Experiments**

## 4. 결론

구형 조화 함수를 이용한 음장의 평면파 조합과 설계된 구형 마이크로폰 어레이의 가중함수를 구한 후 빔형성 방법을 적용하여 음원의 전파 방향을 구하였다. 가상의 소음원을 공간에 위치시켜 음장을 구형 조화 시뮬레이션을 통하여 마이크로폰 어레이의 성능을 예측하였고 무향 환경에 있는 음원을 이용하여 구형 어레이의 성능 평가를 하였다.

## 후 기

이 논문은 2010 년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2010-0014978).

## 참 고 문 헌

- (1) Sihong Choi, Jaehyung Lee, Jong-Soo Choi and Young-Key Kim, "Sensor Position Optimization of Microphone Array for a Rigid Surface Spherical Beamformer," Proceedings of the KSNVE Twentieth Anniversary Spring Conference, pp.128~129, 2010.
- (2) Boaz Rafaely, "Plane Wave Decomposition of the Sound Field on a Sphere by Spherical Convolution," ISRV Technical Memorandum, 2003.
- (3) Li, Z. and R. Duraiswami., 2007, "Flexible and Optimal Design of Spherical Microphone Arrays for Beamforming," IEEE Transactions On Audio, Speech, and Language Processing, Vol.15, No.2, pp.702~714.