

구형 마이크로폰 어레이를 이용한 일반 및 구형 빔형성기법의 비교

Comparison of Conventional and Spherical Beamforming Methods

Using Spherical Microphone Array

이재형* · 최시홍* · 강준구** · 최종수† · 김영기**

Jaehyung Lee, Si-Hong Choi, Jun-Goo Kang, Jong-Soo Choi and Young-Key Kim

1. 서 론

최근 소음원의 위치 판별이나 음장 녹음 및 재현 등 음향측정 분야에서 구형 마이크로폰 어레이를 이용한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 본 연구에서는 구형 마이크로폰 어레이로부터 측정된 음압 신호를 일반 빔형성 기법과, 구형 조화함수 분해기법을 이용한 구형 빔형성 기법에 적용하여 두 기법 간의 성능 차이를 실험적으로 비교하였다.

일반적으로 마이크로폰 어레이 기법은 하드웨어인 센서 어레이와 취득한 음압 신호를 처리하는 알고리즘인 빔포머(beamformer)로 구성된다. 마이크로폰 어레이는 두 개 이상의 센서로 구성될 수 있으며 필요에 따라 그 형태와 위치를 변형할 수 있다. 어레이의 한 형태인 구형 마이크로폰 어레이는 모든 방향에 대해 빔패턴의 변형 없이 공간적인 수집이 가능한 장점으로 실내 음향 측정에 유용하다. 구형 마이크로폰 어레이는 표면이 막혀있는 강체형 구와 표면이 없는 열린 구 형태로 구분할 수 있으며, 강체형 구의 경우 표면에 의한 음파의 산란 영향을 신호 처리 과정에서 고려해야 한다.

음원에서 발생한 음파가 센서까지 전달되는 경로 중간에 물체가 있으면 음파가 물체의 부딪힌 부분에서 전방향으로 산란이 생기게 된다. 본 연구에서 사용된 구형 어레이는 단단한 표면으로 인해 음파의 산란이 발생하고 입사하는 평면파와 합쳐진 음파가 전체 구에 위치한 센서에 영향을 주게 된다. 구형 어레이로 음장을 측정할 경우 이를 고려한 빔형성 기법의 결과와 고려하지 않은 결과를 비교하여 산란에 의한 영향이 위치 판별 정확도에 미치는 영향을 고찰할 필요가 있다.

본 논문에서는 강체형 구 마이크로폰 어레이를 이

용하여 측정된 음압 신호를 두 가지 빔포머로 적용하였다. 먼저 일반 빔형성 기법은 소음원 위치를 판별하는데 응용되어 온 대표적인 기법으로서 어레이의 센서 위치 차이에 의한 위상차와 그 차이를 보정한 신호들의 합의 크기로 소음원의 발생 위치를 판별하는 기법이다. 여기에는 산란에 의한 음장 조건을 가정하지 않았다. 구형 빔형성 기법은 구형 조화함수 분해를 통해 공간 내 음장의 모드의 조합을 구현하여 산란효과를 고려하여 빔파워를 계산하도록 하였다.

2. 이 론

2.1 일반 빔형성 기법

일반 빔형성 기법에서는 음원을 점음원을 가정하고 있다. 점음원에서 발생한 음파의 파형이 구면파로 센서 어레이에 도달하는 것을 가정한다. M 개의 센서로 구성되어 있는 어레이에 있는 m 번째 센서에서 시각 t 에 측정되는 신호를 y_m 라 할 때 빔포머의 출력 신호는

$$z(t) = \sum_{m=0}^M w_m y_m(t - \Delta_m) \quad (1)$$

로 표현된다. 여기서 w_m 는 어레이의 가중함수이며 Δ_m 는 센서와 소음원의 상대적 위치에 따라 발생하는 시간지연이다. 빔포머는 소음원이 존재한다고 가정하는 가상 평면이나 공간에 대하여 빔을 전자적으로 조향하여 출력신호를 계산하고 최대값이 나오는 곳에 소음원이 있다고 판별한다.

2.2 구형 조화함수 분해기법

구형 조화함수 분해기법은 구에 입사되는 음파를 평면파로 가정한다. 또한 음장이 평면파들의 조합으로 구성되어 있다고 가정하여 음장을 구형 푸리에 변환(spherical Fourier transform)으로 표현한다.

2.3 강체 구 표면의 음압

반지름이 a 인 강체 구가 구형 좌표계의 원점에

† 교신저자; 충남대학교 항공우주공학과

E-mail : jchoi@cnu.ac.kr

Tel : (042) 821-6683, Fax : (042) 825-9225

* 충남대학교 항공우주공학과

** (주) 에스엠인스트루먼트

위치할 때, 구에 입사된 평면파는 다음과 같이 구형 조화함수의 조합으로 표현할 수 있다.

$$\psi_i(s_i, ka) = 4\pi \sum_{n=0}^{\infty} i^n j_n(ka) \sum_{m=-n}^n Y_n^m(s_j) Y_n^{m*}(s_i) \quad (2)$$

여기서 s_j 는 소음원의 방향이고 s_i 는 i 번째 센서의 방향이다. $j_n(ka)$ 는 제 1종 구형 베셀 함수이다. 강체 구면에서의 음압 입사된 평면파와 산란된 음파의 합으로서

$$\psi(s_j, s_i, ka) = \psi_i(s_i, ka) + \psi_s(s_i, ka) \quad (3)$$

이고, 아래와 같이 구형 조화함수의 조합으로 표현할 수 있다.

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

b_n 은 모드 진폭 계수 (mode amplitude coefficients)로 강체 구형의 경우 다음과 같다.

$$b_n(ka) = j_n(ka) - \frac{j_n'(ka)}{h_n'(ka)} h_n(ka) \quad (5)$$

2.4 구형 빔형성 기법

앞 절에서 표현된 음압과 어레이 응답을 통해 빔포머 응답은 다음과 같이 표현된다.

$$y_j(k) = \sum_i w(k, s_j, s'_i) \psi(k, s'_i) \quad (6)$$

$w(k, s_j, s'_i)$ 는 어레이 응답이며 $\psi(k, s'_i)$ 는 측정 음압에 대하여 관심 주파수에서의 구형 조화함수로 구할 수 있다.

3. 결과 및 분석

Fig 1은 무향 환경에서 32개 마이크로폰을 가진 구형 어레이를 이용하여 500 Hz 부터 4000 Hz 까지 정현파 신호를 발생하는 소음원을 1 m 떨어진 거리에서 측정된 결과이다. Fig 2와 Fig 3은 각각 MSL과 빔폭을 일반 빔포머와 구형 빔포머에 대하여 비교한 결과이다. Fig 2에서 MSL의 경우 일반 빔포머가 구형 빔포머에 비해 큰 값을 보임으로써 실제 음원과 거짓 음원의 구별 성능을 보이고 있다. 빔폭의 경우 Fig 3에서 구형 빔포머가 저주파 영역에서 적은 값을 가짐으로써 나은 공간 해상도를 가지고 있으며 2 kHz 이상의 고주파 영역에서 차이가 없는 성능을 보이고 있다. 구형 빔포머에서 산란된 음파에 의한 영향을 고려함으로써 개선된 공간분해능을 가짐을 알 수 있다.

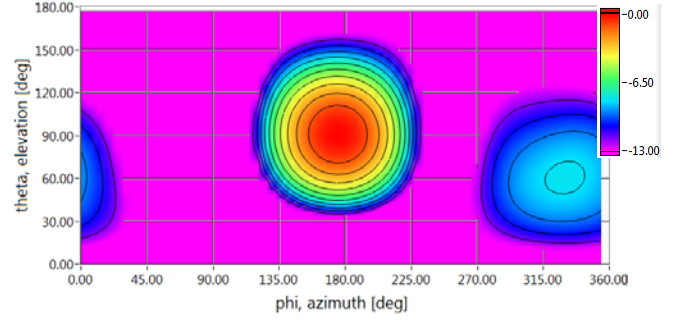


Fig 1. Beam power map of conventional beamforming when sinusoidal noise source of 1 kHz is present

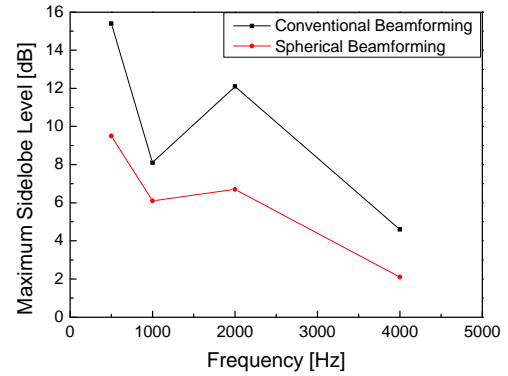


Fig 2. Comparison of MSL of conventional beamforming and spherical beamforming

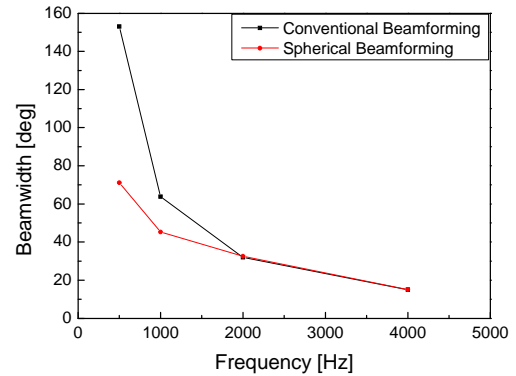


Fig 3. Comparison of beamwidth of conventional beamforming and spherical beamforming

후 기

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

참 고 문 헌

(1) Earl G. Williams, "Fourier Acoustics, Sound Radiation and Nearfield Acoustical Holography," Academic Press, 1999.