

〈논 문〉

음향 홀로그래피에서 빔 형성을 이용한 부분 음장 분리
Beamforming-based Partial Field Decomposition in Acoustical
Holography

황 의 석* · 조 영 만** · 강 연 준***

Eui Seok Hwang, Young Man Cho and Yeon June Kang

(2001년 5월 25일 접수 : 2001년 8월 20일 심사완료)

Key Words : Acoustical Holography(음향 홀로그래피), MUSIC(다중 신호 분리), Beamforming(빔 형성), Partial Field(부분 음장), Singular Value Decomposition(특이치 분해)

ABSTRACT

In this paper, a new method for partial field decomposition is developed that is based on the beamforming algorithm for the application of acoustical holography to a composite sound field generated by multiple incoherent sound sources. In the proposed method, source positions are first predicted by MUSIC(multiple signal classification) algorithm. The composite sound fields can then be decomposed into each partial field by the beamforming. Results of both numerical simulations and experiments show that the method can find each partial field very accurately and effectively, and that it also has potential to be used for application to distributed sources.

1. 서 론

최근 들어 삶의 질이 향상되면서 편안함을 주는 제품에 대한 소비자들의 욕구가 증대되었고 편안함에 큰 영향을 주는 소음이 민감한 문제로 대두되었다. 소음을 저감하거나 제어 하기 위해서는 먼저 소음원의 위치나 음향 방사 특성을 정확히 알아내어야 한다. 이러한 정보들을 알아내기 위하여 근래에 근접 음향 홀로그래피(NAH: Nearfield Acoustical Holography)⁽¹⁾가 많이 이용되고 있다. NAH는 음원 면을 둘러싸는 가까운 한 평면상에서 음압을 측정하여 3차원 공간의 임의의 위치에서 음압, 음향 질점

속도, 인텐시티 등의 음향학적 변수들을 재구성할 수 있는 방법이다. 이 방법을 이용하면 홀로그램 면 앞에 있는 음원 면에서의 음향학적 변수들을 구해냄으로써 소음원의 특성을 규명할 수 있고 마찬가지로 홀로그램 면 뒤쪽에서의 음향 방사 특성도 알아낼 수 있다.

NAH 방법은 상호 연관성을 가지는 음장의 음압을 동시에 측정할 수 있는 경우에만 적용할 수 있는 방법이다. 그러나 실제의 경우 홀로그램 면 상의 모든 점에서 동시에 신호를 받으려면 많은 마이크로폰과 데이터 측정 장비가 필요하기 때문에 기존 마이크로폰을 이용하여 홀로그램 면을 분할하여 측정한다. 기존 마이크로폰은 시간차를 두고 받은 신호들간의 위상을 보정하여 모든 신호를 동시에 측정한 것과 같은 효과를 주게 된다. 그러나 음장이 다수의 비상관 음원들에 의해 만들어지는 경우에는 특정면에서 서로 간섭하지 않는 다수의 위상 분포가 동시에 나타나기 때문에 각 음원의 위상차를 알아내는 것은 불가능하다. 따라서 이와 같은 경우에는 전체 음장을 서로 상

* 대우전자 디지털미디어 연구소

** 서울대학교 기계항공공학부

*** 정희원, 서울대학교 기계항공공학부

E-mail : yeonjune@snu.ac.kr

Tel : (02) 880-1691, Fax : (02) 883-1513

관적인 여러 개의 부분 음장들로 분리해 내는 과정이 필요하다. 음장들을 분리해내면 음원들을 찾아 낼 수 있을 뿐 아니라 관심 있는 임의의 평면에서 분리된 부분 음원에 대한 음향학적 정보도 알아낼 수가 있다. 따라서 다수의 비상관 음원이 존재하는 계의 소음 방사 특성을 알아내기 위해서 부분 음장 분리는 반드시 필요한 과정이라 할 수 있다. 이러한 부분 음장 분리 방법 중에 대표적인 것으로 부분 기여도 함수 방법 (partial coherence method)⁽²⁻⁴⁾과 특이치 분해 방법 (SVD: singular value decomposition method)⁽⁵⁾이 있다. 이 방법들은 모두 기준 신호들의 상호 상관 함수(cross correlation function)들로부터 비상관 음원의 수와 각각의 부분 음장의 영향을 구해낸다. 이 방법들을 적용하기 위해서는 먼저 음원의 위치를 찾아서 기준 마이크로폰을 음원 가까이 놓아야만 한다. 그러나 정확한 음원의 위치를 찾는 것이 쉽지 않을 뿐만 아니라 기준 마이크로폰을 음원 가까이 놓는 다 하더라도 다른 음원의 신호가 어느 정도 들어가기 때문에 음장 분리 과정에서 그 영향은 남아있게 된다. 한편, 이러한 한계점을 극복하기 위해 신호 처리에 의해 각 입력신호와 매우 상관 있는 신호를 얻는 방법⁽¹¹⁾도 제시되기도 했다. 본 논문에서는 이것과는 또 다른 접근으로 기존 방법들의 한계성을 극복하여 음원의 위치를 정확하게 찾아내고 기준 마이크로폰이 음원에 가까이 위치하지 않은 경우에도 다른 음원의 영향을 받지 않고 원하는 음원의 음장만을 분리해낼 수 있는 새로운 방법을 제안한다.

2. 빔 형성에 기초한 부분 음장 분리 방법

빔 형성 방법으로 부분 음장을 분리해 내기 위해서는 먼저 다중 신호 분리(MUSIC: Multiple Signal Classification) 방법^(6,7)을 이용하여 음원의 가상 위치를 추정해 내고, 다음으로 추정된 가상 위치 방향으로 빔 형성(beamforming) 방법⁽⁸⁻¹⁰⁾을 사용하여 각각의 비상관 음원 신호들을 재구성한다. 마지막으로 재구성된 음원 신호의 기여량을 홀로그램 면에서 측정된 정보로부터 최소 자승법에 기반하여 분리해 낸다.

2.1 다중 신호 분리 방법을 이용한 음원의 위치 추정

기준 마이크로폰들로부터 받아들인 신호의 상호 상

관 함수 행렬을 특이치 분해하여 얻어진 특이값들 중에서 상대적으로 큰 값의 수로부터 비상관 음원의 수를 구할 수 있다. M 개의 기준 마이크로폰을 사용하여 기준 마이크로폰의 개수보다 작은 N 개의 비상관 음원으로 구성된 음장을 측정하는 경우에 대하여 고려하면 기준 마이크로폰의 신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$r_i = \sum_{j=1}^N g_{ij} s_j + n_i$$

$$\begin{bmatrix} R_1(f) \\ \vdots \\ R_M(f) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G_{11} & \cdots & G_{1N} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ G_{M1} & \cdots & G_{MN} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_1(f) \\ \vdots \\ S_N(f) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ \vdots \\ n_M \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서 $R_i(f)$, $S_j(f)$ 는 기준 마이크로폰들로 측정된 신호와 음원들의 신호를 각각 나타낸다. $G_{ij}(f)$ 는 전달 함수로서 음원과 기준 마이크로폰 사이의 그린 함수이고 n_i 는 백색 노이즈이다. 식 (1)을 간단한 형태로 표현하면 다음과 같다.

$$R(f) = G(f)S(f) + n = Q(f) + n \quad (2)$$

여기서 $Q(f)$ 는 노이즈가 없을 때 기준 마이크로폰으로 측정된 신호를 나타낸다. 식 (2)에서 기준 마이크로폰들로부터 받아들인 신호의 상호 상관 함수들을 표현하면 아래와 같이 음원의 상관 함수 행렬과 노이즈에 해당하는 행렬의 합으로 주어진다.

$$S_{RR}(f) = G(f)S_{SS}(f)G(f)^H + \sigma_n^2 I$$

$$= S_{QQ}(f) + \sigma_n^2 I \quad (3)$$

여기서 $S_{RR}(f)$ 는 기준 마이크로폰들 사이의 상호 상관 함수, $S_{SS}(f)$ 는 음원들 사이의 상호 상관 함수, $S_{QQ}(f)$ 는 노이즈가 없을 때 기준 마이크로폰으로 측정된 신호들의 상호 상관 함수를 나타낸다. 그리고 특이치 분해 방법을 적용하면 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$S_{RR}(f) = V(\Lambda + \sigma_n^2 I)V^H \quad (4)$$

Λ 는 실제 소음원의 수인 N 개의 특이값으로 구성된 대각 행렬이고 V 는 여기에 대응하는 고유 벡터들로 이루어진 행렬을 나타낸다. σ_n^2 으로 표현되는 $M-N$ 개의 특이값은 노이즈에 해당된다. 이러한 노이즈에 해당하는 고유 벡터를 이용하여 노이즈 부분 공간을 만들어 내면 다음과 같다.

$$R_{noise} = \sum_{n=N+1}^M V_n V_n^H \quad (5)$$

여기서 V_n 은 n 번째 고유 벡터이다. 다중 신호 분리 파워 P_i 는 임의의 벡터 a 와 노이즈 부분 공간 R_{noise} 과의 내적의 역으로 주어진다.

$$P_i = \frac{1}{a^H R_{noise} a} \quad (6)$$

만일 a 가 노이즈 부분 공간과 직교하는 경우 다중 신호 분리 파워는 매우 큰 값을 갖게 된다. 임의의 벡터에 대해 다중 신호 분리 파워가 큰 값을 갖는다면 이 벡터는 음원의 고유 벡터를 나타내는 것으로 볼 수 있고 이 곳을 음원의 가상위치로 추정할 수 있다.

2.2 빔 형성을 이용한 음원 신호의 재구성

빔 형성 방법은 신호 처리 분야에서 무선 데이터 통신을 목적으로 널리 쓰이는 방법으로서 대표적인 방법에는 최소 변수법(minimum variance)^(7,8)과 적응 영화 방법(adaptive nulling method)⁽⁹⁾이 있다. 본 논문에서는 음향 홀로그래피에서 부분 음장을 분리해 낼 수 있도록 적응 영화 방법의 개념을 도입하여 새롭게 변형시켜 적용하였다. 제안하는 방법은 예측한 음원의 위치를 근거로 빔 형성 벡터를 이용하여 원하는 방향으로부터 오는 성분만을 얻어내어 부분 음장을 효과적으로 분리해 낼 수 있다.

우선 아래 조건을 만족시키는 빔 형성 벡터 a_i 를 고려하자.

$$\text{subject to } \|a_i\| = 1 \quad (7)$$

$$\text{maximize } a_i \cdot \hat{g}_i \quad (8)$$

$$a_i \cdot \hat{g}_j = 0 \text{ for } j \neq i \quad (9)$$

여기서 벡터 \hat{g}_i 는 $G(f)$ 의 i 번째 열 벡터이다. 벡터 a_i 는 원하지 않는 방향으로부터 방사되는 성분을 제거하고 원하는 방향 성분을 최대로 하는 역할을 한다.

$$\bar{G}_i = [\hat{g}_1 \cdots \hat{g}_{i-1} \quad \hat{g}_{i+1} \cdots \hat{g}_N] \quad (10)$$

이 행렬에 특이치 분해 방법을 적용하면 M 개의 특이 값과 고유 벡터를 구할 수 있다. 그리고 \bar{G}_i 는 랭크(rank)가 $N-1$ 이기 때문에 $N-1$ 개의 고유 벡터들

로 표현할 수 있다. 따라서 \hat{g}_i 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\hat{g}_i = \sum_{k=1}^{N-1} \alpha_k e_k \quad (11)$$

여기서 e_i 는 \bar{G}_i 의 i 번째 고유 벡터이고 α_k 는 복소 상수이다. 이때 빔 형성 벡터 a_i 는 \hat{g}_i 와의 직교성을 이용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$a_i = \sum_{k=N}^M \alpha_k e_k \quad (12)$$

식 (11)과 (12)를 식 (9)에 대입하면,

$$a_i \cdot \hat{g}_j = \left(\sum_{k=N}^M \alpha_k e_k \right) \cdot \left(\sum_{k=1}^{N-1} \alpha_k e_k \right) = 0 \text{ for } i \neq j \quad (13)$$

와 같이 나타낼 수 있다. 그리고 식 (12)를 이용하면 식 (7), (8)은 각각,

$$\sum_{k=N}^M |\alpha_k|^2 = 1 \quad (14)$$

$$a_i \cdot \hat{g}_i = \sum_{k=N}^M \alpha_k e_k \cdot \hat{g}_i = \sum_{k=N}^M \alpha_k g_k^e = a \cdot g^e \quad (15)$$

로 나타낼 수 있다. 여기서 g_k^e 는 내적 $e_k \cdot \hat{g}_i$ 의 계산값인 복소 상수이고 a 와 g^e 는 각각 α_k 들과 g_k^e 들로 이루어진 $(M+N-1)$ 차원 벡터이다. 식 (15)가 식 (8)을 만족시키기 위해서는 벡터 a 와 g^e 가 평행이 되어야 한다. 그리고 식 (7)과 같이 $\|a\|=1$ 을 만족해야 하기 때문에 a 는

$$a = \frac{[g_N^e \cdots g_M^e]^T}{\|[g_N^e \cdots g_M^e]\|} \quad (16)$$

로 나타낼 수 있다. 위의 식들을 이용하면 결론적으로 i 번째 음원에 있어서의 빔 형성 벡터는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$a_i = \frac{1}{\|[g_N^e \cdots g_M^e]\|} \sum_{k=N}^M g_k^e e_k \quad (17)$$

그리고 얻어진 빔 형성 벡터를 이용하여 음원의 신호는 다음과 같은 과정으로 구할 수 있다.

$$Q(f)_{(i)} = a_i \begin{bmatrix} Q_1(f) \\ \vdots \\ Q_M(f) \end{bmatrix} = a_i \cdot [\hat{g}_1 \cdots \hat{g}_N] S(f)$$

$$\begin{aligned} &= [0 \cdots 0 \mathbf{a}_i \cdot \hat{\mathbf{g}}_i 0 \cdots 0] \mathbf{S}(f) \\ &= c_i \mathbf{S}_i(f) \end{aligned} \quad (18)$$

여기서 c_i 는 $\mathbf{a}_i \cdot \hat{\mathbf{g}}_i$ 이다.

지금까지 본 논문에서 유도한 식들은 단극 음원이거나 아주 작은 음원일 경우에만 적용될 수 있는 식들이다. 그러나 실제 경우에는 스피커와 같이 어느 정도 크기를 가지고 있는 분포 음원들이 대부분이다. 따라서 위 식들을 적용하기 위해서는 음원의 크기를 고려하여 보정해 주어야 한다. 그러면 음원의 크기를 고려해주는, 개선된 빔 형성 방법을 생각해 보자. δ 를 분포 음원 S_i 의 유효 반경이라고 하면 음원 S_i 의 순수한 음원을 분리해 내기 위해서는 분포 음원 S_i 의 영향을 제거해야 한다. 그러기 위해서는 빔 형성 벡터 \mathbf{a}_i 와 분포 음원 중심의 그린 함수 $\hat{\mathbf{g}}_i$ 와의 내적 값이 0일 뿐만 아니라 음원의 경계를 나타내는 그린 함수 $\hat{\mathbf{g}}_i^{-\delta}$ 와 $\hat{\mathbf{g}}_i^{+\delta}$ 와의 내적 값도 0이 되어야 한다. 즉,

$$\mathbf{a}_i \cdot [\hat{\mathbf{g}}_i^{-\delta} \hat{\mathbf{g}}_i \hat{\mathbf{g}}_i^{+\delta}] = [0 \ 0 \ 0] \text{ for } j \neq i \quad (19)$$

를 만족해야 한다. 이때 식 (10)은 다음과 같이 변형된다.

$$\bar{\mathbf{G}}_i = [\hat{\mathbf{g}}_1 \cdots \hat{\mathbf{g}}_{i-1} \hat{\mathbf{g}}_{i+1} \cdots \hat{\mathbf{g}}_i^{-\delta} \hat{\mathbf{g}}_i \hat{\mathbf{g}}_i^{+\delta} \cdots \hat{\mathbf{g}}_N] \quad (20)$$

새로운 빔 형성 벡터는 식 (9), (10) 대신 식 (19), (20)을 이용하여 같은 방법으로 구할 수 있다.

2.3 전달 함수 추정 및 부분 음장 분리

홀로그래피 면의 한 점에서 얻어진 음압 $Y^{(j)}(f)$ 는 식 (21)에 나타낸 바와 같이 식 (18)에서 구한 음원 $Q(f)_{(i)}$ 들의 선형 결합으로 나타낼 수 있다. 추정된 음원의 신호와 홀로그래피 면의 측정값으로부터 최소자승법을 이용하여 전달 함수 $H^{(j)}(f)$ 들을 추정할 수 있다. 여기서 첨자 i 는 i 번째 음원을 첨자 j 는 홀로그래피 면의 j 번째 점을 나타낸다.

$$Y^{(j)}(f) = [Q(f)_{(1)} \cdots Q(f)_{(M)}] \begin{bmatrix} H_1^{(j)}(f) \\ \vdots \\ H_N^{(j)}(f) \end{bmatrix} \quad (21)$$

전달 함수 $H^{(j)}(f)$ 들이 결정되면 다시 식 (21)에서

각각의 부분 음장 $[Y^{(j)}(f)]_{(i)}$ 를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$[Y^{(j)}(f)]_{(i)} = Q(f)_{(i)} H_i^{(j)}(f) \quad (22)$$

이러한 방법으로 홀로그래피 면의 모든 점에서 분리된 부분 음장들을 구할 수가 있다.

3. 수치 모의 실험

제안된 방법의 실용성을 검증하기 위하여 백색 노이즈를 발생시키는 세 개의 비상관 단극 음원으로 구성된 음장에 대하여 수치 모의 실험을 하였다. 단극 음원이기 때문에 식 (10)으로 주어지는 행렬을 이용하였으며 각 실험에서 마이크로폰에서의 응답은 마이크로폰의 위치와 음원 위치 사이의 그린 함수와 음원 신호의 곱으로 계산하였다.

기준 마이크로폰 어레이의 위치가 $z_r = 0.05$ m로 음원에 가깝게 있을 때도 수치 모의 실험에서 성공적인 음장 분리를 수행하였으나, 여기서는 제안된 방법의 장점을 나타낼 수 있는 다음과 같은 환경에서 모의 실험을 수행하였다.

Fig. 1은 모의 실험 구성 장치를 나타내는 것으로 각 면의 크기는 $L_x = 0.75$ m, $L_y = 0.75$ m이고 $Z_A = 0.10$ m에 위치한 홀로그래피 면에서의 측정점은 16×16 으로 하였다. 기준 마이크로폰 어레이는 0.08 m 간격으로 8 개씩 가로와 세로로 16 개를 십자 모양으로 하였고, $z_r = 0.50$ m에 위치시켰다. 세 개의 음원이 각각 $(0.20$ m, 0.20 m, $0)$, $(-0.20$ m, 0.20 m, $0)$, $(0, -0.20$ m, $0)$ 에 위치한 경우에 대하여

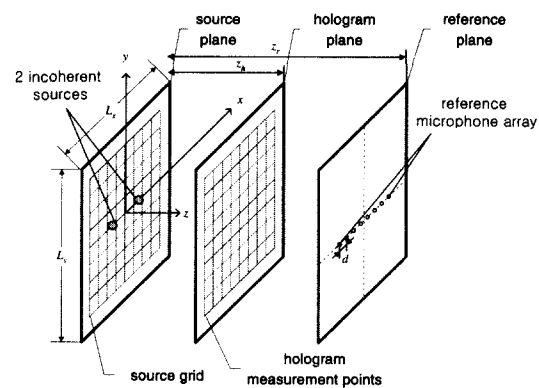


Fig. 1 Geometry of the simulation

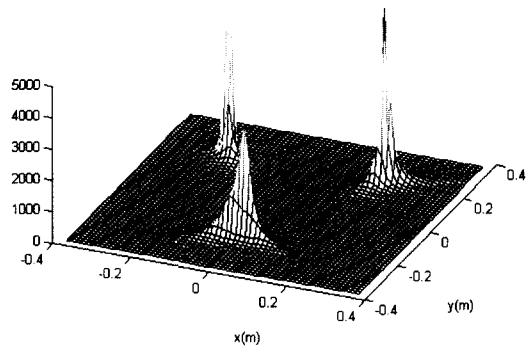
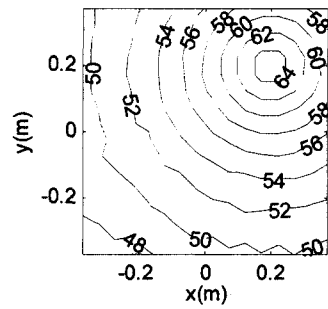
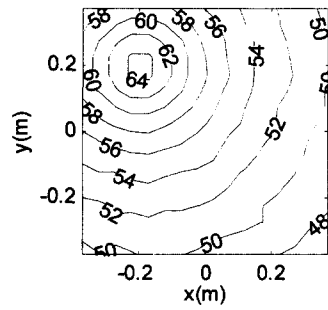


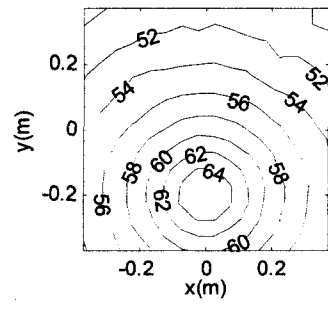
Fig. 2 MUSIC power distribution of three sources at 800 Hz



(a)



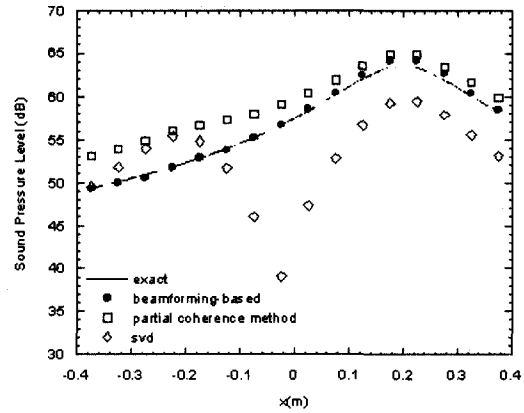
(b)



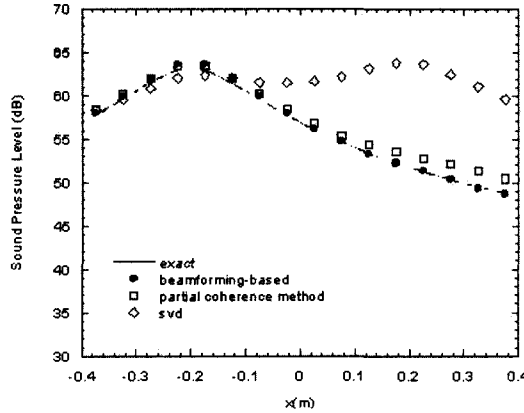
(c)

Fig. 3 Pressure distributions of (a) source 1, (b) source 2 and (c) source 3 reconstructed by beamforming-based partial field decomposition at hologram plane

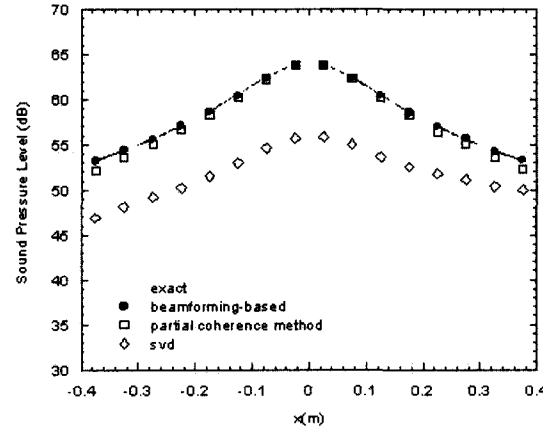
수치 모의 실험을 수행하였다. Fig. 2는 800 Hz 에서 다중 신호 분리 방법을 이용하여 음원의 위치를 찾아 낸 결과이다.



(a)



(b)



(c)

Fig. 4 Partial fields of (a) source 1, (b) source 2 and (c) source 3 at hologram plane

실제 음원의 위치에서 다중 신호 분리 파워가 매우 큰 값을 가지게 되므로 음원의 위치를 쉽게 찾을 수 있다. Fig. 3은 홀로그래피 면에서 빔 형성 방법으로 분리해낸 부분 음장을 이차원으로 확장한 음압 분포이고 Fig. 4는 찾아낸 위치를 근거로 홀로그래피 면의 $y=0$ 선상에서 빔 형성에 기초한 방법을 통해 재구성된 부분 음장과 기존의 방법을 이용하여 분리한 부분 음장을 비교한 것이다. 기존의 방법들은 각각의 부분 음장에 다른 음원의 영향이 포함되어 있는 반면 빔 형성에 기초한 방법은 기존의 방법보다 실제 음원에 가깝게 분리함을 알 수 있다.

4. 실험 결과 및 토론

이상적인 비상관 단극 음원들로 구현한 모의 실험과는 달리 실제 실험에서는 비상관의 백색 노이즈를 발생하는 직경이 0.10 m인 스피커들을 음원으로 사용하였다. 단극 음원들만을 사용했을 때와는 달리 분포 음원을 사용함으로써 생기는 오차를 보정해 주어야 하기 때문에 식 (9), (10) 대신 식 (19), (20)을 이용하여 계산하였고 그 외의 실험하는 모든 과정과 장치 구성은 수치 모의 실험과 같은 방식으로 수행하였다.

스피커가 세 개일 때 스피커의 위치를 (0.20 m, 0.10 m, 0), (-0.20 m, 0.10 m, 0), (0, -0.15 m, 0)으로 하였다. Fig. 5는 800 Hz에서 기준 마이크로폰 어레이를 십자 모양으로 놓고 다중 신호 분리 방법을 사용하여 찾아낸 음원의 위치이다. 기준 마이크로폰 어레이를 수평선상의 일자 모양으로 하면 어레이 형상에 나란한 위치는 찾을 수 있을지 모르나 수직 방향으로는 찾을 수 없게 된다. 그러므로 실험 장치들의 제한성으로 인하여 사용하는 기준 마이크로폰 수는 최소로 줄이는 것이 좋으나 정확한 위치를 찾아내

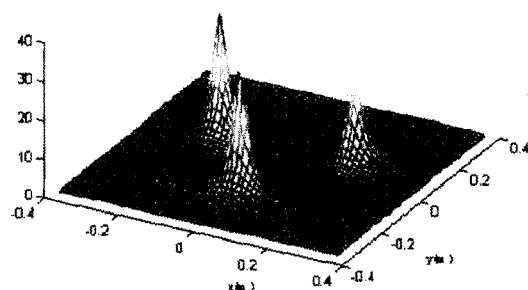


Fig. 5 MUSIC power distribution of three sources at 800 Hz

기 위해서는 십자 모양으로 해야한다. Fig. 6은 찾아낸 위치를 근거로 홀로그래피 면에서 빔 형성 방법을 이용하여 분리한 부분 음장을 이차원으로 확장한 음압 분포를 나타내고 Fig. 7(a), 7(b)는 홀로그래피 면의 $y=0.10$ m 선상에서, 7(c)는 $y=-0.15$ m 선상에서 빔 형성 방법과 기존의 방법을 이용하여 분리해낸 부분 음장을 비교한 것이다.

Fig. 7을 살펴보면, 인접 비상관 음원의 영향이 미약하게 포함되어 있긴 하지만, 기존의 방법에 비해

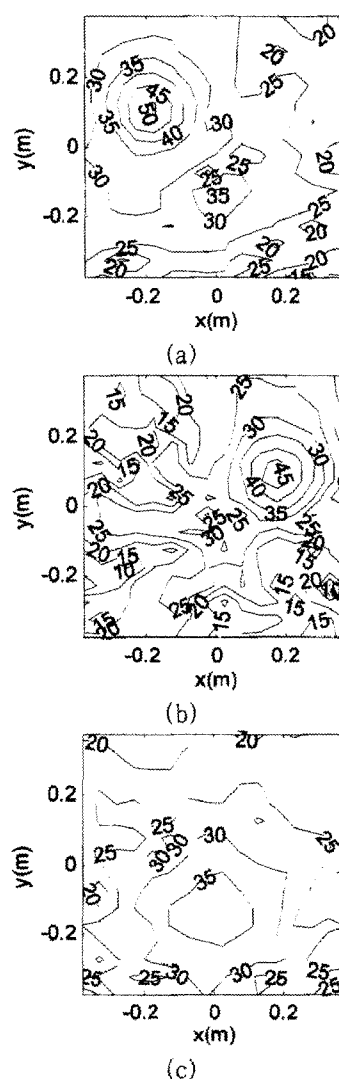


Fig. 6 Pressure distributions of (a) source 1, (b) source 2 and (c) source 3 reconstructed by beamforming-based partial field decomposition at hologram plane

실제 음장을 보다 잘 표현하고 있음을 알 수 있다. 기존의 방법은 기준 마이크로폰을 음원에 가깝게 위치시킨다 하더라도 다른 음원의 영향이 들어가기 때

문에 부분 음장을 분리해 내도 다른 음원의 영향이 들어가게 되며 기준 마이크로폰이 음원에서 멀어질수록 다른 음원의 영향은 더 많이 들어가게 된다. 그러나 제안된 방법은 기준 마이크로폰의 위치에 상관 없이 빔 형성 벡터를 이용하여 원하는 방향의 음원만을 얻어낼 수 있기 때문에 수치 모의 실험에서는 실제 음원과 거의 같게 음원이 분리 되었으며 실제 실험에서는 분포 음원을 사용하기 때문에 발생하는 오차가 조금 나타났으나 기존의 방법보다는 실제 음원에 가깝게 분리할 수 있었다.

5. 결 론

음향 홀로그래피에서 부분 음장을 분리해 내기 위하여 빔 형성에 기초한 방법을 제안 하였고 이를 수치 모의 실험과 실제 실험을 통하여 검증 하였다. 기존의 방법들은 여러 개의 기준 마이크로폰들 중에 음원에 가까이 놓인 마이크로폰들을 찾아내고 그 후에 음원을 분리하였으나 제안된 방법은 한번의 과정으로 음원의 위치 추정과 부분 음장의 분리가 가능하였다. 실험은 제안된 방법이 다수의 비상관 단극 음원들 뿐만 아니라 비상관 분포 음원에도 잘 적용됨을 보여주었다. 다중 신호 분리에 의해 추정된 음원의 위치는 실제 음원의 위치와 유사하였고 빔 형성 방법에 의해 재구성된 부분 음장도 기존의 방법들보다 실제 음원에 가깝게 분리되었다. 이 과정에서 음원의 위치를 정확하게 추정해내기 위해서는 기준 마이크로폰 어레이의 형태도 중요함을 알 수 있었다. 제안된 방법은, 기준 마이크로폰들을 음원 가까이에 위치시키는 것이 어렵기 때문에 기존의 방법으로 접근할 수 없었던 복잡한 소음원에도 적용할 수 있을 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- (1) Maynard, J.D., Williams E.G. and Lee, Y., 1985, "Nearfield Acoustical Holography: I. Theory of Generalized Holography and the Development of NAH", Journal of the Acoustical Society of America 78(4), pp. 1395~1413.
- (2) Hald, J., 1988, "STSF A Unique Technique for Scan-Based Nearfield Acoustical Holography Without Restriction on Coherence," B&K

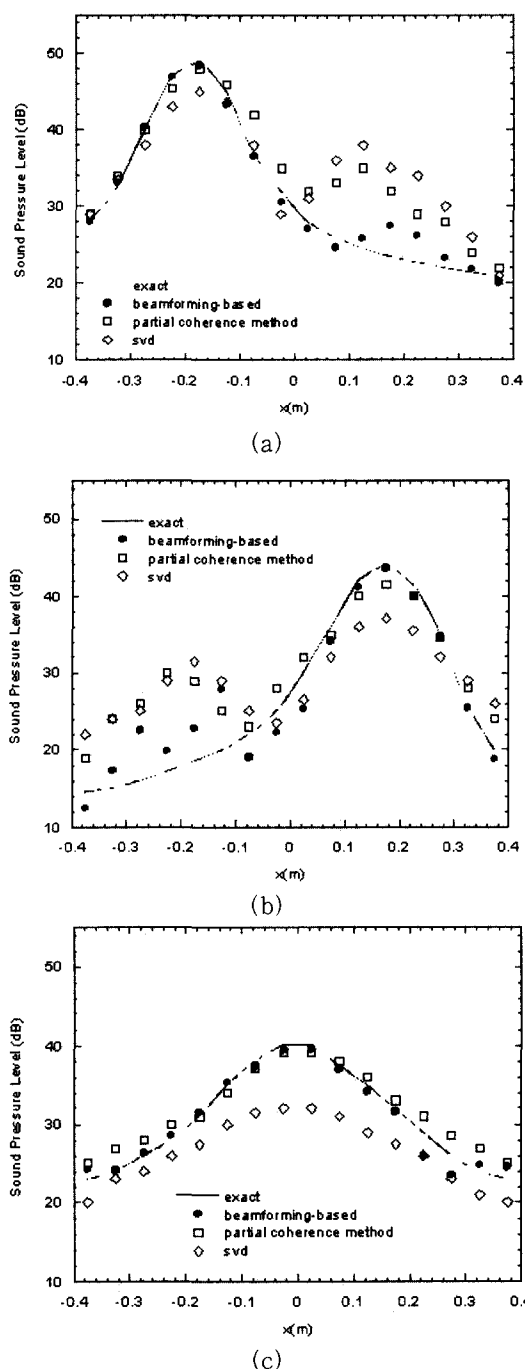


Fig. 7 Partial fields of (a) source 1, (b) source 2 and (c) source 3 at hologram plane

Technical Review No. 1.

(3) Takata, H., Nishi, T., Jiang, W. and Bolton, J.S., 1997, "The Use of Nearfield Acoustical Holography(NAH) and Partial Field Decomposition to Identify and Quantify the Sources of Exterior Noise Radiated from Vehicle," Proceedings of SAE 972053, pp. 1449~1455.

(4) Kwon, H.S., and Bolton, J.S., 1998, "Partial Field Decomposition in Nearfield Acoustical Holography by the Use of Singular Value Decomposition and Partial Coherence Procedures," Proceedings of NOISE-CON 98, pp. 649~654.

(5) Hallman, D.L., and Bolton J.S., 1994, "A Comparison of Multi-Reference Nearfield Acoustical Holography Procedures," Proceedings of NOISE-CON 94, pp. 929~934.

(6) Schmidt, R.O., 1986, "Multiple Emitter Location and Signal Parameter Estimation," IEEE Transactions on Antennas and Propagation AP 34 No. 3, pp. 276~280.

(7) Johnson, D.H., and Dudgeon, D.E., 1984, Array Signal Processing : concepts and techniques, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.

(8) Burdic, W.S., 1984, Underwater acoustic system analysis, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.

(9) Shan, T.J., and Kailath, T., 1985, "Adaptive Beamforming for Coherent Signals and Interference," IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing ASSP 33 No. 3, pp. 527~536.

(10) Bai, M.R., and Lee, J., 1998, "Industrial Noise Source Identification by Using an Acoustic Beamforming System," Transactions of ASME 120, pp. 426~433.

(11) Nam, K.U., and Kim, Y.H., 2001, "Visualization of Multiple Incoherent Sources by the Backward Prediction of Nearfield Acoustic Holography," Journal of the Acoustical Society of America 109(5), pp. 1808~1816.