

# 소음원 대역폭과 측정잡음의 상관관계를 고려한 소음원 탐지기법

## Sound Source Detection Technique Considering the Effects of Source Bandwidth and Measurement Noise Correlation

윤 종 략\*  
(Jong-Rak Yoon\*)

\*부경대학교 공과대학 전자컴퓨터정보통신공학부  
(접수일자: 2001년 1월 10일; 채택일자: 2001년 1월 29일)

소음원 위치와 방위를 규명하기 위해 다양한 배열처리기술이 발전되어 왔다. 배열처리기술의 기본은 두 개의 수신센서에 수신된 신호의 시간차를 이용하여 소음원의 위치와 방위를 구하는 것으로 응용분야나 신호처리방법에 따라 고유의 특성을 갖는 빔형성기법, 상관함수기법 및 NAH (Near-Field Acoustic Holography) 등이 있다. 본 연구에서는 이러한 기법들 중 광대역 소음원 탐지에 적용되는 상관함수기법을 채택하여 소음원의 대역폭과 측정 잡음원 간의 상관 관계가 위치나 방위 탐지 정확도에 미치는 영향을 분석하여 효과적인 소음원 탐지기법을 제안한다. 본 연구에서 채택한 배열의 기하학적 형상은 위치나 방위의 3차원적 모호성을 없애기 위한 3차원 비선형이며 제안된 기법의 타당성은 수치모의 실험 및 실제 실험으로 검증되었다.

**핵심용어:** 소음원 탐지, 배열신호처리, 상관함수기법, 비선형배열  
**투고분야:** 음향 신호처리 분야 (1.1), 소음 및 공력음향 분야 (10.1)

Various array processing techniques to identify the noise source position or bearing have been developed. Typical array processing techniques which are based on time delay between received signals at two sensors, are classified as conventional beamforming, correlation function and NAH (Near-Field Acoustic Holography) techniques which have their own characteristics with respect to application field and signal processing method. In this study, correlation function technique which could be applied for broadband noise source detection, is adopted and the effective detection technique is proposed considering the effects of source bandwidth and measurement noise correlation of noise sources. The validity of the proposed technique is evaluated using the 3-dimensional nonlinear array which does not give 3-dimensional position or bearing ambiguity

**Key words:** Noise source detection, Array signal processing, Correlation function technique, Nonlinear array

**Subject classification:** Acoustic signal processing (1.1), Noise and aeroacoustics (10.1)

### I. 서 론

소음원의 위치나 방위를 규명하는 것은 소음원의 탐지, 식별을 대상으로 하는 군용의 소나기술, 의용초음파기술, 저소음기계장치개발, 소음기계의 소음제어기술 분야에서 핵심적으로 다루는 내용이다. 이러한 소음원 위치규명을 위해 사용되는 배열신호처리기술로는 현대역처리기법과 광대역처리기법으로 대별되고 전자의 대표적인 방법인

빔형성기법은 원거리 음장영역에서 측정된 배열센서 신호간의 시간차 정보로부터 방위를 추정하는 것으로 무상관 잡음은 배열센서의 개수에 비례하여 억제되고 방위분해능은 배열의 기하학적 크기 및 가중함수에 좌우된다[1].

후자의 대표적인 방법중의 하나인 음향홀로그래피기법 [2,3]은 근거리음장영역에서 측정된 두 개 센서간의 복소 음압자료를 Helmholtz 적분방정식의 경계조건으로 하여 소음생성원의 발생기작을 규명하거나 원거리음장을 예측하는 것으로 소음원의 발생기작 (단극음원, 쌍극음원, 소음원분포 특성)이나 원거리음장 정확도는 배경잡음, 근거리음장 측정정확도 및 공간적인 측정범위에 좌우된다.

본 연구에서는 광대역배열신호처리기법의 기본이 되는

책임저자: 윤종락 ( jryoon@dolphin.pknu.ac.kr)  
608-737 부산시 남구 대연 3동 599-1 부경대학교 공과대학  
전자컴퓨터정보통신공학부  
(전화: 051-620-6473; 팩스: 051-620-6470)

두 개 수신센서에서 측정된 상관함수를 해석하여 효과적인 소음원 탐지방법을 제안한다. 두 개의 센서에서 수신된 신호간의 상관함수는 소음원으로부터 각 센서간의 시간지연 정보를 제공하고 이러한 정보를 소음원의 좌표계 혹은 관측자의 좌표계로 변환함으로써 소음원 위치를 추정하게 된다[4-9]. 그러나 실제의 응용문제에서 유한길이의 측정자료에 의해 상관함수는 오차를 갖게 되고 또한 각 센서의 측정잡음의 상관성, 소음원의 대역폭, 소음원과 측정잡음의 상관성에 의해 각 센서간의 시간지연 정보 즉, 소음원 위치정확도는 열화될 수 밖에 없다. 우선 소음원의 대역폭을 고려하면 각 센서간의 지연시간차 분해능은 소음원 대역폭에 비례하므로 측정잡음이 무상관 Gaussian인 경우에도 대역폭 보상기법 (Prewhitening)이 이루어지고 있다[10,11]. 또한 각 센서 측정잡음이 소음원 또는 잡음원 상호간에 상관되어 있는 경우 두 센서간의 지연시간차는 잡음원에 대해서도 추정하게 되므로 이러한 문제의 해결방안으로 종래의 상호상관 함수처리 방법에 부가하여 3차 통계량 (3rd order cross cumulant or bispectrum) 처리방법이 제안되고 있다[12-17]. 이러한 3차 통계량처리방법에 관한 연구는 주로 수치모의실험으로 두 개 센서간의 지연시간차 추정에 국한되고 있다. 따라서 본 연구에서는 측정잡음이 무상관인 경우 소음원의 대역폭이 소음원 위치 추정에 미치는 영향을 해석한 후 효과적인 대역폭 보상기법을 기술하고 측정잡음이 각 센서간 상관되는 경우에는 3차 통계량 처리기법을 적용하여 실제 소음원의 위치 탐지 정확도를 개선하는 방안을 제시한다. 채택한 배열의 기하학적 형상은 소음원 위치의 3차원적 모호성을 없애기 위해 3차원 비선형으로 구성되었고 제안된 기법의 유효성은 수치모의실험 및 실제실험으로 검증되었다.

**II. 두 개 수신 센서 신호의 상관함수특성 및 대역폭보상기법**

그림 1에서 소음원으로부터 원거리음장위치에 있는 두 수신센서간의 거리를  $d_1$ , 파의 진행방향과 수신센서기준선과 이루는 각을  $\theta_1$ 이라 하면  $r_0$ 와  $r_1$ 의 거리차  $\Delta r_1$ 은 식 (1)과 같이 주어진다.

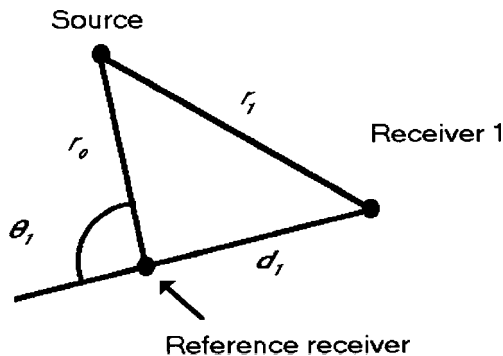


그림 1. 소음원과 두 개 센서의 구성도  
Fig. 1. sound source and two receiving sensors configuration.

$$\Delta r_1 = r_0 - r_1 \approx d_1 \cos \theta_1 \tag{1}$$

따라서, 두 수신기에서 측정되는 지연시간차  $\tau_1$ 은 식 (2)와 같다.

$$\tau_1 = \frac{\Delta r_1}{c_0} = \frac{d_1 \cos \theta_1}{c_0} \tag{2}$$

기준 수신기와 임의의 i번째 수신기에 대해서는 식 (3)과 같이 주어진다.

$$\tau_i = \frac{d_i \cos \theta_i}{c_0} \tag{3}$$

그리고, 식 (3)으로부터 추정하려고 하는 방위각  $\theta_i$ 를 구하면 식 (4)와 같다.

$$\theta_i = \cos^{-1} \left( \frac{c_0 \tau_i}{d_i} \right) \tag{4}$$

따라서 위와 같은 계산과정을 거치면 지연시간차  $\tau_i$ 로부터 음원의 방위를 추정하는 것이 가능하다. 3차원 공간상에서 소음원의 위치를 유일하게 결정하기 위한 배열 구조 및 소음원 위치의 영상기법은 부록에 기술되어 있다. 그러나 소음원 위치의 정확도는 식 (3)에서 주어지는 시간 지연차  $\tau_i$ 의 정확도에 좌우되므로 이하에서  $\tau_i$ 의 정확도를 상관함수 해석을 기준으로 제시한다.

두 개 센서 수신 신호  $x_0(t)$  및  $x_1(t)$ 는 식 (5) 및 (6)과 같다.

$$x_0(t) = a_0 s \left( t - \frac{r_0}{c_0} \right) + w_0(t) \tag{5}$$

$$x_1(t) = a_1 s \left( t - \frac{r_1}{c_0} \right) + w_1(t) \tag{6}$$

따라서 두 수신기간의 상호상관함수  $R_{x_0x_1}(\tau)$ 는 소음원과 측정잡음이 비상관인 경우 식 (7)과 같다.

$$\begin{aligned} R_{x_0x_1}(\tau) &= \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T - \tau} \int_0^{T-\tau} x_0(t) x_1(t + \tau) dt \\ &= a_0 a_1 R_{ss} \left( \tau - \left( \frac{r_0}{c_0} - \frac{r_1}{c_0} \right) \right) + R_{w_0w_1}(\tau) \\ &= a R_{ss}(\tau - \tau_1) + R_{w_0w_1}(\tau) \end{aligned} \tag{7}$$

- 여기서,  $s(t)$  : 소음원 신호
- $R_{ss}(\tau)$  : 소음원 자기 상관함수
- $R_{w_0w_1}(\tau)$  : 각 센서에 측정되는 잡음의 상호상관함수
- $w_0(t), w_1(t)$  : 각 센서에 수신되는 측정 잡음

$\alpha_0, \alpha_1$  : 소음원이 기준 및 제2수신기에 수신될 때 감쇄상수

$\frac{r_0}{c_0}, \frac{r_1}{c_0}$  : 소음원의 기준 및 제2수신기에 수신

될 때의 시간지연

$\tau_1$  : 두 센서간의 지연시간차

또한 수신신호의 상호상관 전력 스펙트럼  $G_{x_0x_1}(\omega)$ 는 식 (8)로 주어진다.

$$G_{x_0x_1}(\omega) = \alpha G_{ss} e^{-j\omega\tau_1} + G_{w_0w_1}(\omega) \quad (8)$$

따라서  $\tau_1$ 은 식 (7) 및 (8)의 우변 첫째항의 값의 주정확도에 좌우된다. 각 센서에서 측정되는 잡음이 비상관이거나 신호대 잡음비가 클 경우 식 (7) 및 (8)은 다음의 식 (7') 및 (8')로 근사될 수 있다.

$$R_{x_0x_1}(\tau) \approx \alpha R_{ss}(\tau - \tau_1) \quad (7')$$

$$G_{x_0x_1}(\omega) \approx \alpha G_{ss} e^{-j\omega\tau_1} \quad (8')$$

식 (7')의 상관함수에서 보이는  $\tau_1$ 의 시간 분해능은 소음원의 대역폭이  $B$ 이고 전력이  $G$ 인 경우  $R_{ss}(\tau) = GB \left( \frac{\sin(2\pi B\tau)}{2\pi B\tau} \right)$  이므로  $\tau_1$ 의 시간 분해능  $\Delta\tau_1$ 은 식 (9)로 근사된다.

$$\Delta\tau_1 \approx \frac{1}{2B} \quad (9)$$

따라서 시간 분해능은 소음원의 대역폭에 비례하게 된다. 시간 분해능 개선을 위해서 주파수 영역에서 측정되는 식 (8')에 소음원의 대역폭을 보상하는 기법이 제안되고 있다[10].

즉 식 (8')에 다음 식과 같이 가중치 함수가 적용되면 (Prewhitening) 백색잡음원에 대한 시간지연차  $\tau_1$ 에 대응되는 다음과 같은 전달함수가 얻어진다.

$$H_1(\omega) = \frac{G_{x_0x_1}(\omega)}{G_{ss}(\omega)} = \alpha e^{-j\omega\tau_1} \quad (10-1)$$

$$H_2(\omega) = \frac{G_{x_0x_1}(\omega)}{|G_{x_0x_1}(\omega)|} = e^{-j\omega\tau_1} \quad (10-2)$$

$$H_3(\omega) = \frac{G_{x_0x_1}(\omega)}{G_{x_0x_0}(\omega)} = \alpha_1 e^{-j\omega\tau_1} \quad (10-3)$$

$$H_4(\omega) = \frac{G_{x_0x_1}(\omega)}{(G_{x_0x_0}(\omega) G_{x_1x_1}(\omega))^{1/2}} = e^{-j\omega\tau_1} \quad (10-4)$$

따라서 식 (10)을 IFT (Inverse Fourier Transform) 하게 되면 임펄스 함수를 얻게되어 식 (7')에 비해 보다 정확히  $\tau_1$  값을 추정하게 될 것이다. 실제문제에 적용하는

경우 미지 소음원 신호  $G_{ss}(\omega)$ 를 측정 불가능한 경우 식 (10-1)은 적용할 수 없게 된다. 또한 식 (7'), (8') 및 식 (10)의 적용은 신호대잡음비가 큰 경우 또는 잡음신호  $w_0(t)$  및  $w_1(t)$ 가 비상관인 경우에만 가능하다. 그러나, 두 센서의 측정잡음  $w_0(t)$  및  $w_1(t)$ 가 상관되어 있는 경우라도 이들이 Gaussian인 경우에는 잡음의 3차 통계량은 0이 되므로 잡음의 영향을 무시할 수 있다. 측정잡음이 이와같은 특성을 갖는 경우 각 센서 신호의 3차 통계량은 다음식으로 주어진다.

$$\begin{aligned} C_{x_0x_0x_0}(\tau, \rho) &= \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T-\tau} \int_0^{T-\tau} x_0(t) x_0(t+\tau) x_0(t+\rho) dt \\ &= \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T-\tau} \int_0^{T-\tau} \alpha_0^3 s(t) s(t+\tau) s(t+\rho) dt \\ &\quad + \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T-\tau} \int_0^{T-\tau} w_0(t) w_0(t+\tau) w_0(t+\rho) dt \\ &= \alpha_0^3 R_{ss}(\tau, \rho) + R_{w_0w_0w_0}(\tau, \rho) \\ &= \alpha_0^3 R_{ss}(\tau, \rho) \end{aligned} \quad (11-1)$$

$$\begin{aligned} C_{x_0x_0x_1}(\tau, \rho) &= \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T-\tau} \int_0^{T-\tau} x_0(t) x_1(t+\tau) x_0(t+\rho) dt \\ &= \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T-\tau} \int_0^{T-\tau} \alpha_0^2 \alpha_1 s(t) s(t-\tau_1+\tau) s(t+\rho) dt \\ &\quad + \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T-\tau} \int_0^{T-\tau} w_0(t) w_1(t+\tau) w_0(t+\rho) dt \\ &= \alpha_0^2 \alpha_1 R_{ss}(\tau - \tau_1, \rho) \end{aligned} \quad (11-2)$$

따라서 3차 통계량의 관계식은

$$C_{x_0x_0x_0}(\tau, \rho) = \frac{\alpha_0}{\alpha_1} C_{x_0x_0x_0}(\tau - \tau_1, \rho) \quad (12-1)$$

$$C_{x_0x_0x_1}(\tau, \rho) = \frac{\alpha_0}{\alpha_1} C_{x_0x_0x_0}(\tau, \rho - \tau_1) \quad (12-2)$$

또한 3차 통계량의 FT는 bispectrum으로 다음과 같이 정의된다.

$$B_{x_0x_0x_0}(\omega_1, \omega_2) = FT(C_{x_0x_0x_0}(\tau, \rho)) = \alpha_0^3 B_{ss}(\omega_1, \omega_2) \quad (13-1)$$

$$B_{x_0x_0x_1}(\omega_1, \omega_2) = FT(C_{x_0x_0x_1}(\tau, \rho)) = \alpha_0^2 \alpha_1 B_{ss}(\omega_1, \omega_2) e^{-j\omega_1\tau_1} \quad (13-2)$$

따라서 식 (10-1)~(10-4)에 대응되는 관계식은 식 (14)로 주어진다.

$$H_1(\omega_1) = \frac{B_{x_0x_1x_0}(\omega_1, \omega_2)}{B_{ss}(\omega_1, \omega_2)} = \frac{\alpha_1}{\alpha_0^2} e^{-j\omega_1\tau_1} \quad (14-1)$$

$$H_2(\omega_1) = \frac{B_{x_0x_1x_0}(\omega_1, \omega_2)}{|B_{x_0x_1x_0}(\omega_1, \omega_2)|} = e^{-j\omega_1\tau_1} \quad (14-2)$$

$$H_3(\omega_1) = \frac{B_{x_0x_1x_0}(\omega_1, \omega_2)}{B_{x_0x_0x_0}(\omega_1, \omega_2)} = \frac{\alpha_1}{\alpha_0} e^{-j\omega_1\tau_1} \quad (14-3)$$

$$H_4(\omega_1) = \frac{B_{x_0x_1x_2}(\omega_1, \omega_2)}{(B_{x_0x_0}(\omega_1, \omega_2)B_{x_1x_1}(\omega_1, \omega_2))^{1/2}} \quad (14-4)$$

$$= \sqrt{\frac{a_0}{a_1}} e^{-j\omega_1 t_1}$$

수신센서간의 간격이 소음원과 수신센서간의 거리보다 상대적으로 작은 경우, 즉 수신센서가 원거리음장에 위치하는 경우 감쇄상수  $a_0 \approx a_1$  이므로 식 (10-1)을 제외한 식 (10-2)~(10-3) 및 식 (14-1)~(14-4)는 동일한 결과를 주게 될 것이다. 식 (10)의 결과는 소음원의 대역이 제한되고 각 센서의 신호대잡음비가 높거나 각 센서에 측정되는 잡음이 비상관인 경우에 적용할 수 있는 반면, 식 (14)의 결과는 신호대잡음비가 낮은 경우에도 각 센서에 측정되는 잡음이 Gaussian이면 상관인 경우에도 적용할 수 있는 이점이 있다.

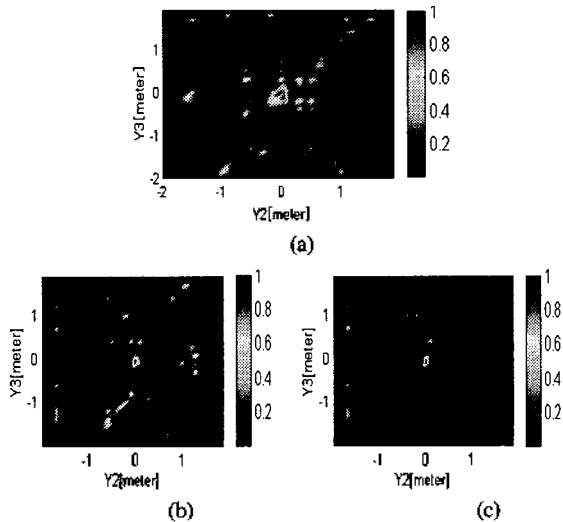


그림 2. 비상관 가우시안 잡음과 non-Gaussian 소음원에 대한 모의실험결과 (SNR : -3dB)  
 음원위치 :  $f=2[m]$ ,  $y_1=2.53[m]$ ,  $y_2=0[m]$ ,  $y_3=0[m]$   
 (a) 소음원 대역 보상을 적용하지 않은 상관함수 기법 : 식 (7')  
 (b) 소음원 대역 보상을 적용한 상관함수기법 : 식 (10-2)  
 (c) 소음원 대역 보상을 적용한 3차 통계량 기법 : 식 (14-2)

Fig. 2. Simulation results using a non-Gaussian source with uncorrelated zero-mean Gaussian noise (SNR : -3dB), Source :  $f=2[m]$ ,  $y_1=2.53[m]$ ,  $y_2=0[m]$ ,  $y_3=0[m]$ ,  
 (a) Cross-correlation method without prewhitening : eq (7'),  
 (b) Cross-correlation method with prewhitening : eq. (10-2),  
 (c) 3rd order cumulant method with prewhitening : eq. (14-2).

### III. 실험결과

수치모의실험 및 실제실험의 신호처리는 PC586상에서 수행하였고 수신센서배열 및 소음원 영상기법은 부록에 기술되어 있는 기법을 적용하였다. 샘플링주파수는 20kHz이고 분석프레임의 길이는 1024개로 하였고 수치모의실험에 사용된 소음원은 non-Gaussian으로 대역폭은 4kHz이다. 또한 신호대잡음비는 -3dB로 하였다. 실험에 적용된 센서간의 시간차연차 추정은 식 (7'), (10-2) 및 식 (14-2)를 이용하였다.

그림 2는 비상관 Gaussian 잡음이 부가된 경우의 수치모의 실험결과로 그림 2-(a), (b), (c)는 각각 식 (7'), (10-2) 및 식 (14-2)를 적용한 경우로 소음원의 제한된 대역폭으로 인해 식 (7')를 적용한 그림 2-(a)의 경우 소음원의 위치추정 정확도가 다른 두 경우보다 떨어진다. 또한 식 (10-2)를 적용한 그림 2-(b)의 경우 소음원 영상면에 거짓음원을 나타내는 낮은 레벨의 소음원이 관측되는데 이것은 Monte Carlo 시뮬레이션에 의한 잡음발생시각 센서의 잡음이 완전한 비상관을 이루지 못한 결과로 식 (14-2)를 적용한 경우는 잡음의 상관성에 무관하게 되므로 동일한 신호대 잡음비에서도 정확도가 개선된 결과를 보인다. 그림 3-(a), (b)는 잡음이 상관된 경우로 식 (10-2) 및 식 (14-2)를 적용한 경우이다. II절에서 해석한 바와 같이 잡음의 상관에 의해 거짓 소음원이 그림 3-(a)에서 관측된다.

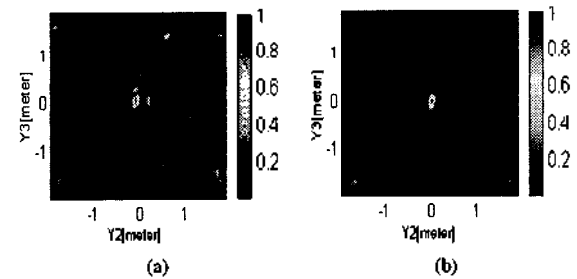


그림 3. 상관 가우시안 잡음과 non-Gaussian 소음원에 대한 모의실험결과 (SNR : -3dB)  
 음원위치 :  $f=2[m]$ ,  $y_1=2.53[m]$ ,  $y_2=0[m]$ ,  $y_3=0[m]$   
 (a) 소음원 대역 보상을 적용한 상관함수기법: 식 (10-2)  
 (b) 소음원 대역 보상을 적용한 3차 통계량 기법: 식 (14-2)

Fig. 3. Simulation results using a non-Gaussian source with correlated zero-mean Gaussian noise (SNR : -3dB)  
 Source :  $f=2[m]$ ,  $y_1=2.53[m]$ ,  $y_2=0[m]$ ,  $y_3=0[m]$ ,  
 (a) Cross-correlation method with prewhitening: eq. (10-2),  
 (b) 3rd order cumulant method with prewhitening: eq. (14-2).

그림 4-(a), (b)는 무향실에서 수행한 스피커 실험결과로 잡음이 없는 경우이므로 두 결과는 동일한 특성을 보인다. 그러나 그림 5-(a), (b)는 일반연구실공간에서 동일한 스피커를 음원으로 실험한 결과이다.

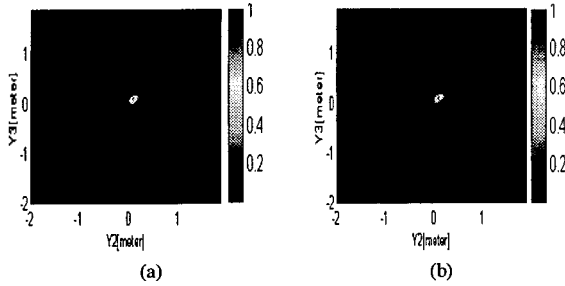


그림 4. 무향실에서의 실험결과  
 음원위치 :  $f=2[m]$ ,  $y1=2.53[m]$ ,  $y2=0[m]$ ,  $y3=0[m]$   
 (a) 소음원 대역 보상을 적용한 상관함수기법: 식(10-2)  
 (b) 소음원 대역 보상을 적용한 3차 통계량 기법: 식(14-2)

Fig. 4. Experimental results in the anechoic chamber,  
 Source :  $f=2[m]$ ,  $y1=2.53[m]$ ,  $y2=0[m]$ ,  $y3=0[m]$ ,  
 (a) Cross-correlation method with prewhitening: eq. (10-2),  
 (b) 3rd order cumulant method with prewhitening: eq. (14-2).

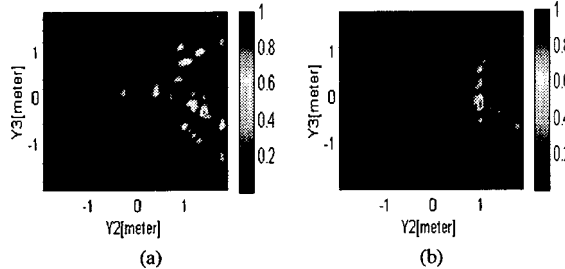


그림 5. 실험실에서의 실험결과  
 음원위치 :  $f=2[m]$ ,  $y1=2.53[m]$ ,  $y2=1[m]$ ,  $y3=0[m]$   
 (a) 소음원 대역 보상을 적용한 상관함수기법: 식 (10-2)  
 (b) 소음원 대역 보상을 적용한 3차 통계량 기법: 식 (14-2)

Fig. 5. Experimental results in the laboratory,  
 Source :  $f=2[m]$ ,  $y1=2.53[m]$ ,  $y2=1[m]$ ,  $y3=0[m]$ ,  
 (a) Cross-correlation method with prewhitening: eq. (10-2),  
 (b) 3rd order cumulant method with prewhitening: eq. (14-2).

에어컨 및 실험장치에 의한 배경잡음원이 실내공간의 특정위치에 집중되어 있어 각 센서에서 측정되는 잡음은 상호상관되어 있다. 따라서 식 (10-2)를 적용한 그림 5-(a)는 소음원의 위치를 정확히 추정하지 못하지만 식 (14-2)를 적용한 그림 5-(b)는 소음원 위치를 정확히 추정하고 있다.

IV. 결론

두 개 센서를 이용한 소음원 위치추정 정확도는 두 센서간의 시간지연차의 추정정확도에 좌우된다. 소음원이 대역제한되어 있는 경우 시간지연차의 추정정확도를 개선하기 위해서는 측정된 상호상관전력스펙트럼에 소음원의 대역폭을 보상하는 기법이 효과적이다. 이 방법은 소음원과 각 센서에서 측정되는 잡음과의 신호대잡음비가 큰 경우나 각 센서측정잡음이 비상관인 경우에만 적용할 수 있다. 그러나 측정되는 잡음이 Gaussian인 경우에는 잡음 상호간의 3차 통계량이 0이므로 측정잡음이 상관되는 경우에도 그 영향을 제거할 수 있다. 즉 상호상관전력스펙트럼에 소음원 대역폭을 보상하는 기법을 3차 통계량에 적용하면 소음원의 좁은 대역폭 및 측정잡음의 상관에 의한 지연시간차 분해능의 열화가 개선되어 센서간의 시간지연차 추정 정확도가 개선된다. 소음원 위치 혹은 방위의 3차원적 모호성을 없앨 수 있는 3차원 비선형 배열에 제안된 기법을 적용하고 수차모의실험 및 스피커를 이용한 실제 실험을 수행한 결과 제안된 기법의 유효성이 확인되었다.

감사의 글

본 연구는 1997년 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비 (지방대 육성과제)에 의하여 수행한 것입니다.

부록. 소음원의 영상화

기준수신기와 임의의  $i$ 번째 수신기와의 상관함수로부터 추정된 시간지연지수  $\tau_i$ 는 다음 식으로 주어진다.

$$\tau_i = \frac{d_i \cos(\theta_i)}{c_0} \tag{A1}$$

소음원에 의한  $\theta_i$ 는 그림 A1에 보이는 바와 같이 원 호상에 위치하므로 한 쌍의 배열로는 소음원의 위치를 유일하게 결정할 수 없고 따라서 그림 A2와 같이 서로 다른 평면내에 존재하는 최소 세 쌍의 배열이 있어야 소음원의 위치를 유일하게 결정할 수 있다.

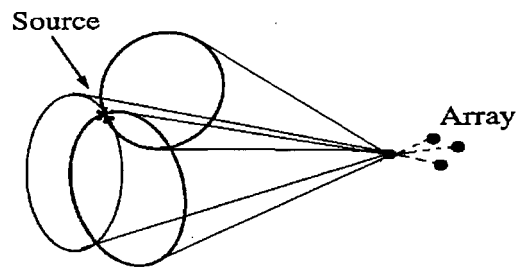


그림 A1. 소음원 위치의 유일한 영상을 보여주는 원추면의 교차점  
 Fig. A1. Intersection of the conical surfaces which show the unique image of the noise source.

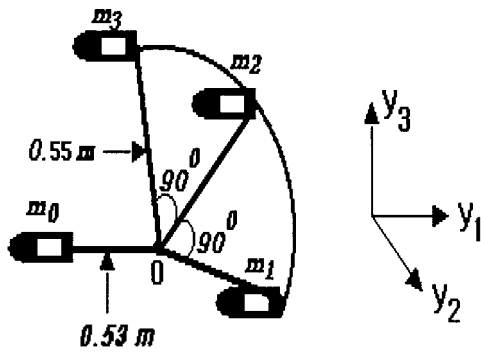


그림 A2. 배열구조 및 좌표계  
Fig. A2. Array configuration and the coordinate system.

배열요소수를  $K$  ( $i=1, 2, 3, \dots, K$ )라 하고 그림 A3에서 보이는 영상면의 격자점을  $M * N$  개라 하면 각 격자점은  $Z_{sp}$  ( $s=1, 2, 3, \dots, M, P=1, 2, 3, \dots, N$ )로 주어진다. 또한 그림 A3의 영상면과 배열기준점과의 거리는 초점거리  $f$ 로 정의된다. 따라서 영상면의 각 영상점  $Z_{sp}$ 와  $i$ 번째 수신기쌍간의 시간지연지수  $\tau_{i,sp}$ 는 다음 식으로 주어진다.

$$\tau_{i,sp}^{(i)} = \frac{|z_{sp} - d_i| - |z_{sp}|}{c_0} \quad (A2)$$

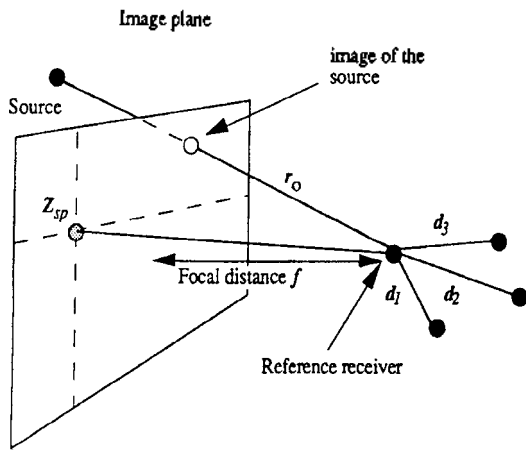


그림 A3. 소음원 위치 영상을 얻기 위한 영상면 및 배열  
Fig. A3. Image plane and array for the noise source imaging.

또한 소음원은 원거리상의  $r_0$ 에 위치하고 영상면에 투사된 음원의 영상은 그림 A3에서와 같이 정의할 수 있으므로 음원의 영상점은 다음 식의 해로써 정의된다.

$$|z_{sp} - d_i| - |z_{sp}| = |r_0 - d_i| - |r_0| = \tau_{i,sp} c_0 \quad (A3)$$

상기의 식 (A3)가 만족 될 때 상호상관함수  $R_i(\tau_{i,sp})$

는 최대값을 갖게 될 것이다. 따라서  $R_i(\tau_{i,sp})$ 의 크기를 대응되는  $Z_{sp}$ 에 부가하면 소음원의 영상을 얻을 수 있다. 이러한 처리는 각 수신기쌍에 적용되고 각 쌍에 대응되는 소음원의 영상점이 교차되는 위치에서 극대의 세기를 갖게 되어 음원의 위치를 얻을 수 있게 된다.

참고문헌

1. S. Pillai, Array Signal Processing, Springer-Verlag, New York, 1989.
2. D. Maynard, E. G. Williams and Y. Lee, "Nearfield acoustic holography: I. Theory of generalized holography and development of NAH", *JASA*, vol. 78, pp. 1395~1413, 1985.
3. A. Veronesi and J. D. maynard, "Nearfield acoustic holography: II. Holographic reconstruction algorithms and computer implementation", *JASA*, vol. 81, pp. 1307~1322, 1987.
4. M. Omologo and P. Svaizer, "Acoustic event localization using a crosspower-spectrum phase based technique", *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing*, Adelaide, Australia, 1994.
5. M. Omologo and P. Svaizer, "Acoustic source location in noisy and reverberant environment Using CSP Analysis", *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing*, pp. 921~924, 1996.
6. D. V. Rabinkin, R. J. Ranomeron, A. Dahl, J. C. French, J. L. Flanagan and M. H. Bianchi, "A DSP implementation of source location using microphone arrays", *In proceedings of the SPIE*, 1996.
7. Hong Wang and Peter Chu, "Voice source localization for automatic camera pointing system in videoconferencing", *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing*, pp. 187~190, 1997.
8. 윤종락 and S. A. L. Glegg, "소음원 영상화를 위한 마이크 로폰 배열 설계", *한국소음진동공학회*, 제 7권, 제 2호, pp. 255~260, 1997.
9. J. R. Yoon, T. J. Kim and K. L. Ha, "Three dimensional nonlinear array for noise source detection", in *Proceedings of the WESTPRAC VII*, vol. I, pp. 437-440, 2000.
10. C. H. Knapp and G. C. Carter, "The generalized correlation method for estimation of time delay", *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing*, vol. 24, pp. 320~327, 1976.
11. Brian G. Ferguson, "Time-delay estimation techniques applied to the acoustic detection of jet aircraft transits", *JASA*, vol. 106 (1), pp. 255-264, 1999.
12. Chrysostomos L. Nikias and Jerry M. Mendel, "Signal Processing with Higher-order spectra", *IEEE Signal Processing Magazine*, pp. 10-37, 1993.
13. C. L. Nikias and M. R. Raghuvver, "Bispectrum estimation: A digital signal processing framework", *Proc. IEEE*, vol. 75, pp. 869-891, 1987.
14. C. L. Nikias and R. Pan, "Time delay estimation in unknown gaussian spatially correlated noise", *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing*, vol. 36, pp.

- 1706-1714, 1988.
15. C. L. Nikias and M. R. Raghuvver, "Bispectrum estimation: A digital signal processing framework", *Proc. IEEE*, vol. 75, pp. 869-891, 1987.
  16. R. N. Challa and S. Shamsunder, "Passive near-field localization of multiple non-gaussian sources in 3-D using cumulants", *Signal Processing*, vol. 65, pp. 39-53, 1998.
  17. Yong Wu and A. R. Leyman, "Time delay estimation in unknown spatially uncorrelated Gaussian noises using higher order statistics", *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing*, vol. V, pp. 2813-2816, 1999.

▲ 윤 종 락 (Jong-Rak Yoon)

한국 음향학회지 제18권 제6호 참조