

## 소음원 영상화 기술의 성능에 보간 함수가 미치는 영향 비교

박규철\* · 윤종락

### Comparison of the Effect of the Interpolation Function on the Performance of the Noise Source Imaging Technology

Kyu-Chil Park\* · Jong Rak Yoon

Department of Information and Communications Engineering, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

#### 요 약

3차원 공간에 존재하는 임의의 소음원의 위치를 찾기 위해서는 적어도 4개 이상의 마이크로폰이 필요하다. 1개의 기준 마이크로폰과 나머지 3개의 마이크로폰과의 시간차 3개를 공간적으로 합성하는 것이다. 본 논문에서는 3차원 공간에 분포하는 4개의 마이크로폰을 이용하여 2차원 평면에 소음원의 영상화를 시도하였으며 그 성능을 평가하였다. 소음원의 위치를 정확하게 나타내기 위한 분해능은 기준 마이크로폰과 나머지 마이크로폰과의 거리 또는 샘플링 주파수에 의해 반비례하여 결정된다. 4개의 마이크로폰의 위치가 고정되어 있고, 샘플링 주파수가 낮을 경우 발생하는 분해능을 높이기 위해 업 샘플링 기법과 보간 함수를 적용하였다. 신호의 보간에 사용한 기법으로는 디지털 신호의 고분해능 성분을 얻기 위해 주로 사용되는 제로 패딩, 0차 홀드, 1차 홀드, 스플라인 함수, 랜덤 신호 패딩의 다섯 가지이며, 각각의 보간 함수에 업 샘플링 속도를 2배, 4배, 8배, 16배로 높여가며 소음원의 위치를 추정하였다. 그 결과, 업 샘플링 속도가 높아짐에 따라 전체적으로 소음원의 위치를 보다 정확하게 추정하는 것이 가능하였으나 1차 홀드와 스플라인 함수의 경우 추정 성능이 다른 방법에 비해 다소 떨어짐을 알 수 있었다.

#### ABSTRACT

To find the location of a random noise source present in the three-dimensional space is required at least four microphones. Using four microphones distributed in a three-dimensional space, noise source imaging technique was applied and evaluated on their performance. To compensate resolution problem which comes from both the position of the sensor array is fixed and the sampling frequency is low, up-sampling technique and interpolation function were applied. Five different interpolation methods were applied such as zero-padding, zero-order hold, first-order hold, spline function, and random signal padding. The up-sampling rate were chosen by two, four, eight times, and counting up 16 times. As a result, it was possible to more accurately estimate the position of the noise source according to the higher of the up-sampling rate. It also found that the first-order hold and the spline function's performance were slightly falling relative to other methods.

**키워드** : 상호상관함수, 보간 함수, 업 샘플링, 분해능, 소음원 영상화

**Key word** : Cross-correlation function, Interpolation function, Up sampling, Resolution, Noise source imaging

Received 15 January 2016, Revised 22 January 2016, Accepted 03 February 2016

\* Corresponding Author : Kyu-Chil Park (E-mail: kcpark@pknu.ac.kr, Tel: +82-51-629-6237)

Department of Information and Communications Engineering, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2016.20.2.268>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

© This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.  
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

## I. 서론

소음원의 위치추정을 위해서는 수신 센서를 공간상에 배열하여 신호를 처리하는 배열신호처리 기술을 적용하는 것이 신뢰성 있고 보편화되어 있는 기법이다. 군용의 소나, 탄환 감지기, 차량 소음원 탐지 장치, 초음파 의료 진단기 등이 다양하게 개발되어 있다. 이러한 장치 등에 채택되고 있는 배열신호처리 기술로는 빔형성 기법[1], MUSIC 기법[2], 상관함수기법[3], 음향 인텐시티법[4], 음향 홀로그래피 기법[5] 등이 있고 각각은 음장 환경과 목적에 따라 그 적용 여부가 결정된다.

본 연구에서 대상으로 하는 것은 소형 로봇 또는 감시 카메라에 탑재 가능한 크기를 가지는 3차원 공간상에 배치되어 있는 마이크로폰을 이용하여 비정상적인 소음을 수신하여 소음원을 인식하고 그 방향을 추정하는 것이다. 빔형성 기법, MUSIC 기법은 협대역 신호를 대상으로 원거리 탐지를 목적으로 하므로 본 연구에서는 채택할 수 없는 기술이고, 음향 인텐시티 기법과 음향 홀로그래피 기법은 공간적인 측정범위가 넓어 배열의 기하학적 크기가 커져 로봇에 장착할 수 없고 아울러 측정 자료의 과다로 계산시간이 긴 단점이 있다. 그러므로 탐지거리, 배열의 기하학적 크기 및 측정 자료의 과다 등의 문제로 상관함수 기법을 채택하여 소음원의 위치를 추정하였으며, 측정된 신호로부터 각종 보간 함수[6] - 제로 패딩(zero padding), 0차 홀드(zero order hold, ZOH), 1차 홀드(first order hold, FOH), 스플라인 함수(spline function) 및 랜덤 신호 패딩(random padding) - 를 이용하여 소음원의 위치 추정에 미치는 영향을 비교 평가하였다.

## II. 배열 센서에 의한 소음원 영상화

이 장에서는 본 논문에서 사용된 배열 센서 수신신호의 상호상관함수(cross-correlation function), 소음원 영상화 기법 및 영상면의 분해능에 대해 간단하게 설명한다.

그림 1은 소음원의 위치와 수신 센서 쌍의 위치를 나타낸 것으로, 기준 센서  $s_r$ 과  $i$ 번째 센서  $s_i$ 에 수신된 신호는 각각 다음과 같이 주어진다[7].

$$\begin{aligned} x_r(t) &= a_r s(t-l_r/c_0) + n_r(t) \\ x_i(t) &= a_i s(t-l_i/c_0) + n_i(t) \end{aligned} \quad (1)$$

여기서  $s(t)$ ,  $n(t)$ ,  $l$ ,  $a$ ,  $c_0$ 는 각각 소스 신호, 노이즈 성분, 소스와 센서와의 거리, 센서에 입력되는 신호의 감쇠 성분 및 공기 중에서의 음파 속도를 나타낸다. 각각의 센서에 입력되는 노이즈  $n_r(t)$ 와  $n_i(t)$ 가 서로 무상관인 것으로 가정하면, 기준 센서와  $i$ 번째 센서간의 상호상관함수는 다음과 같이 주어진다.

$$R_i(\tau) = E[x_r(t)x_i(t+\tau)] = a_r a_i R_s(\tau + \tau_i) \quad (2)$$

여기서  $R_s(\tau)$ ,  $\tau_i$ 는 각각 소스 신호  $x(t)$ 의 자기상관 함수(auto-correlation function) 및 각 센서 사이의 시간 차에 해당한다. 각 센서에 도달하는 소스 신호의 시간 차에 의해 식 (2)는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} R_i(\tau) &= a_r a_i R_s\left(\tau + \frac{l_r - l_i}{c_0}\right) \\ &\approx a R_s\left(\tau + \frac{d_i \cos(\theta_i)}{c_0}\right) \end{aligned} \quad (3)$$

여기서  $d_i$ ,  $\theta_i$ 는 각각 센서 사이의 직선 거리 및 소스와 기준 센서가 이루는 직선과 소스와 각도 (단,  $d_i \ll l_r$ )를 나타낸다. 식 (2)와 식 (3)으로부터  $\tau_i$ 는 다음과 같이 주어진다[7-10].

$$\tau_i = \frac{d_i \cos(\theta_i)}{c_0} \quad (4)$$

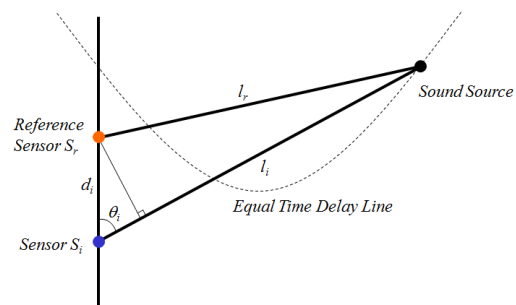


Fig. 1 A pair of sensors, sound source and path length difference.

소음원 영상화의 기본 접근법은 배열 센서 쌍에서 수신된 신호들 사이의 시간 지연을 추정하고, 이를 그림 2와 같은 2차원 평면위에 대응하는 소스 위치로 매핑(mapping)하는 것이다. 식 (4)로부터 2차원 평면상에 2개의 센서로부터 주어지는 동일 시간차(equal time delay)를 나타내면 그림 1의 곡선과 같고, 3차원의 경우 구의 표면에 해당된다고 볼 수 있다. 3차원 공간상에 1점을 나타내기 위해서는 적어도 3쌍의 배열 센서로부터 이루어지는 구의 표면이 필요함을 알 수 있다. 그림 2에 3차원 공간상의 소음원을 추적하기 위한 최소 개수의 센서 구조(기준 센서-센서 1, 기준 센서-센서2, 기준 센서-센서3)를 나타내었다. 소스 위치의 정확도를 향상시키기 위해, 어레이 센서의 위치는 반 구 위에 직교 가능하도록 설계되었다.

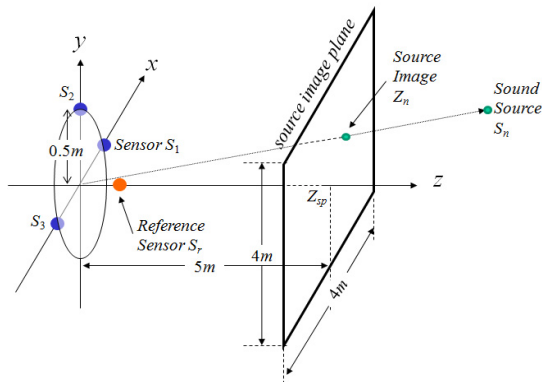


Fig. 2 An array geometry, coordinate and source image plane.

3차원 공간상에 소음원을 얼마나 정확하게 나타내는가를 알아보기 위해서는 분해능을 고려해야 한다. 두 개의 다른 특성을 가진 음원  $k$  와  $l$  을 가정하고, 각각의 영상면 위의 위치를  $Z_k, Z_l$  이라고 하면, 식 (4)로부터  $i$  번째 센서 쌍에 대한 시간 지연은 다음과 같이 주어진다.

$$\tau_{i,k} = \frac{|Z_k - d_i| - |Z_k|}{c_0}, \tau_{i,l} = \frac{|Z_l - d_i| - |Z_l|}{c_0} \quad (5)$$

또한 최소 분해 가능한 시간 지연차  $\Delta\tau_i$  는 다음과 같이 주어진다.

$$\Delta\tau_i = \tau_{i,k} - \tau_{i,l} = \frac{d_i}{c_0} \{ \cos(\theta_{i,k}) - \cos(\theta_{i,l}) \} \quad (6)$$

여기서, 분해능을  $\Delta\theta_i = \theta_{i,k} - \theta_{i,l}$  로 정의하면, 식 (6)는 다음과 같이 주어지고,

$$\Delta\tau_i = \frac{d_i}{c_0} \Delta\theta_i \sin(\theta_{i,l}) \quad (7)$$

분해능  $\Delta\theta_i$  는 다음과 같이 주어진다[7-10].

$$\Delta\theta_i = \frac{c_0 \Delta\tau_i}{d_i \sin(\theta_{i,l})} \quad (8)$$

식 (8)로부터 분해능은 각 배열 센서쌍 사이의 간격, 소음원의 위치, 최소 시간차에 의해 결정된다는 것을 알 수 있다.

### III. 보간 함수를 이용한 분해능 향상 고찰

식 (8)에서 살펴본 것과 같이 분해능은 배열 센서쌍 사이의 거리에 반비례하여 높아지는 것을 알 수 있다. 센서의 위치가 고정되어 있는 경우, 분해능을 높이기 위해서는 배열 센서쌍에 수집되는 신호의 시간 지연차를 높이는 방법이 가능함을 알 수 있다.

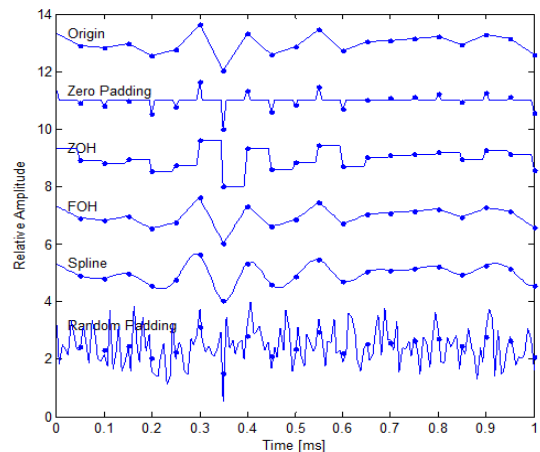


Fig. 3 An original random signal and interpolated signals - zero padding, zero order hold, first order hold, spline function, and random signal padding.

이를 위해 신호의 샘플링 주파수를 높이는 것이 적용될 수 있는 한 방법이다.

본 연구에서는 배열 센서의 위치가 고정되어 있고, 신호의 샘플링 주파수 또한 시스템의 성능에 의해 고정되어 있는 경우, 그 분해능을 높이기 위해 업 샘플링(up sampling)과 보간 함수를 적용하였다. 보간 함수로 사용된 기술은 제로 패이딩, 0차 홀드, 1차 홀드, 스프라인 함수 및 랜덤 신호 패이딩이다. 그림 3에 비교를 위해 원 신호와 8배 업 샘플링한 보간 함수의 시간 신호를 위에서부터 순서대로 나타내었다. 점(point)으로 표시된 부분이 샘플링 주파수 20kHz로 샘플링된 원 신호이며 나머지는 보간된 신호이다.

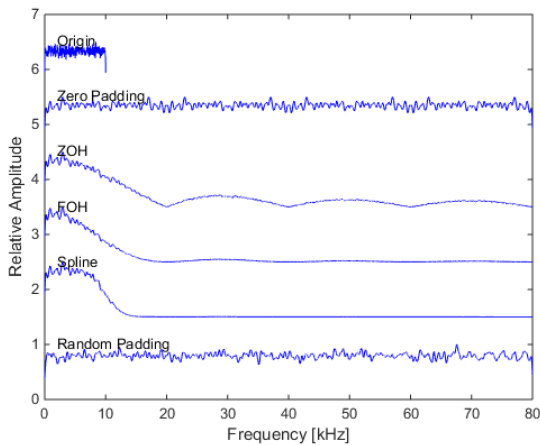


Fig. 4 The frequency responses according to Fig.3's time signals.

그림 4에 그림 3의 시간 신호에 대한 주파수 성분을 나타내었다. 8배 업 샘플링을 한 것이므로 80kHz까지의 성분을 포함하고 있다. 원 신호의 경우, 샘플링 주파수 20kHz의 신호이므로 0~10kHz 사이에 골고루 퍼져 있음을 알 수 있다. 제로 패이딩의 경우, 에일리어징(aliasing)에 의하여 10kHz폭의 주파수 스펙트럼이 폴딩(folding)되어 80kHz까지 반복적으로 나타나 전 대역에 걸쳐 분포되어 있음을 알 수 있다. 0차 홀드의 경우, 시간축에서 원 신호와 구형파와의 컨벌루션[6]에 의해 생성된 신호이므로 주파수 축에서는 원 신호 스펙트럼과 싱크 함수와의 곱이 일어나 고주파수로 갈수록 점점 진폭이 줄어드는 현상을 볼 수 있다. 1차 홀드의 경우, 시간축에서는 원 신호와 삼각파의 컨벌루션으로 주

파수 축에서는 0차 홀드보다 급하게 감소하는 결과를 보인다. 스프라인의 경우, 15kHz 이후의 성분은 찾아볼 수가 없으며, 랜덤 신호 패이딩의 경우, 전 주파수 대역에 걸쳐 골고루 분포되어 있음을 알 수 있다. 보간 함수를 이용함으로써 인해, 스프라인 함수를 제외하고는 전체적으로 넓은 주파수 성분을 포함하고 있음을 알 수 있다.

#### IV. 수치 계산 결과 및 고찰

이상의 고찰을 바탕으로 수치 계산을 수행하였으며, 그 방법 및 결과는 다음과 같다.

먼저 그림 2와 같은 3차원 구조를 가지는 마이크로폰 배열을 사용하며, z축 방향으로 5m 앞에 소음원 영상화를 위한 4m×4m 크기의 평면이 있다고 가정된 상태이다. 신호는 대역폭이 넓은 랜덤 신호로, 샘플링 주파수는 20.kHz로 하였으며, 한 개의 음원의 좌표를 [-0.5, 1.2, 5](x, y, z 기준)로 하여 수치 계산 하였다. 식 (1)에 나타나 있는 각 마이크로폰 입력에 노이즈 성분  $n(t)$ 은 없는 것으로 하였다.

그림 5에 20kHz로 샘플링한 신호(a) 및 비교를 위해 160kHz로 샘플링한 신호(b)에 대한 소음원 영상화 결과를 각각 나타내었다. 그림에서 가로, 세로 두 직선이 교차하는 지점이 소음원의 위치이며, (a)의 경우 소음원의 위치를 추정하기는 하나 분해능의 문제로 인하여 다소 넓은 범위 나타내고 있음을 알 수 있으며, (b)의 경우 정확하게 소음원의 위치를 추정하고 있음을 알 수 있다.

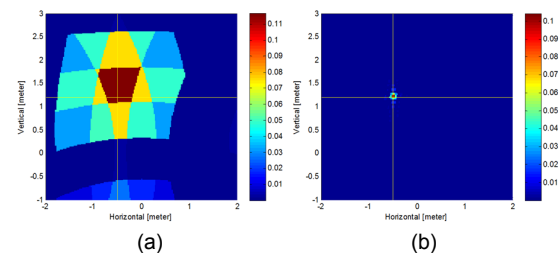
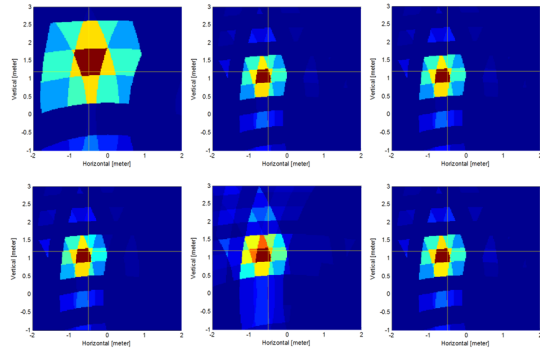
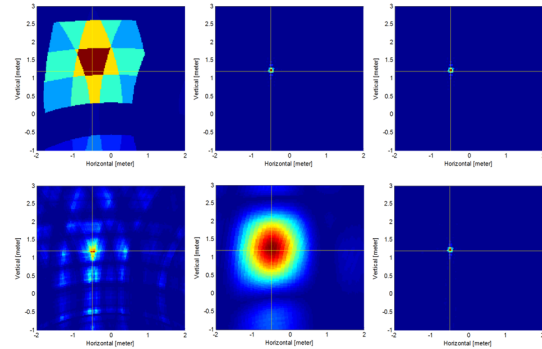


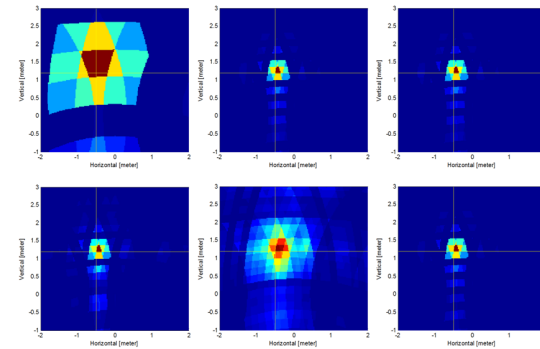
Fig. 5 The results of source imaging without any interpolation techniques, (a) sampling frequency : 20kHz, (b) sampling frequency : 160kHz.



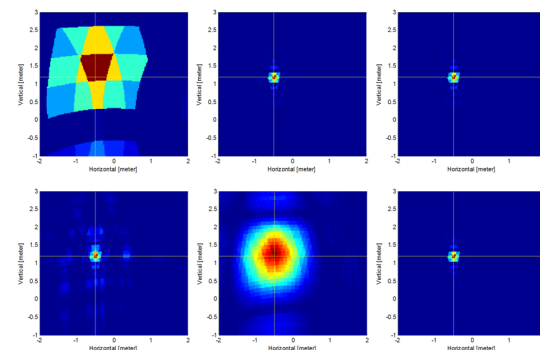
**Fig. 6** The results of source imaging by 2-up-sampling frequency with interpolation techniques - origin, zero padding, ZOH, FOH, spline function, random padding from left top to the right down.



**Fig. 9** The results of source imaging by 16-up-sampling frequency with interpolation techniques - origin, zero padding, ZOH, FOH, spline function, random padding from left top to the right down.



**Fig. 7** The results of source imaging by 4-up-sampling frequency with interpolation techniques - origin, zero padding, ZOH, FOH, spline function, random padding from left top to the right down.

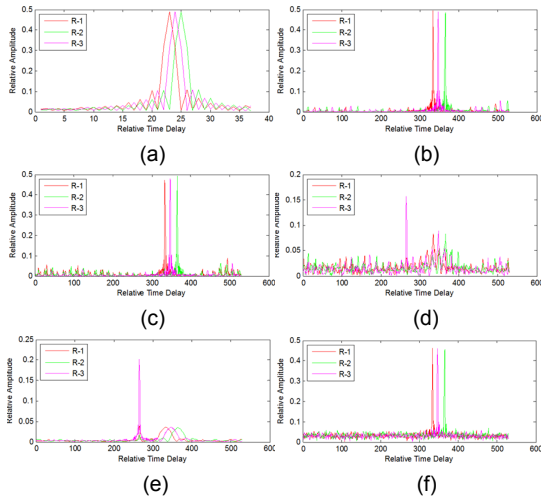


**Fig. 8** The results of source imaging by 8-up-sampling frequency with interpolation techniques - origin, zero padding, ZOH, FOH, spline function, random padding from left top to the right down.

그림 6에서 그림 9까지 2배, 4배, 8배, 16배 업 샘플링의 결과를 나타내었다. 왼쪽 위에서부터 오른쪽 아래 순으로 원 신호, 제로 패딩, 0차 홀드, 1차 홀드, 랜덤 신호 페이딩의 결과를 나타낸 것이다. 업 샘플링 속도를 높이는 것에 의해 정도의 차이는 있으나 소음원의 추정 위치의 범위가 점점 좁아지는 것을 알 수 있고, 최종적으로 16배 업 샘플링의 경우, 그림 5(b)와 거의 같은 결과를 얻을 수 있음을 알 수 있다. 데이터 수집시 샘플링 주파수가 낮더라도 업 샘플링과 보간 함수를 적절히 이용하면 보다 나은 결과를 얻을 수 있음을 알 수 있다. 단, 스프라인 함수를 이용한 경우, 4배, 8배, 16배 업 샘플링을 해도 다른 보간 함수와는 달리 성능의 향상을 기대하기가 어렵다는 것도 알 수 있다. 이는 그림 4의 주파수 스펙트럼에서도 나타났듯이 대역폭이 좁아 상호상관함수를 구하는 데 비교적 불리한 것에 기인한다고 볼 수 있고, 이러한 현상은 1차 홀드의 경우에도 나타나고 있다. 소음원 추정 위치가 좁아지고는 있지만 소음원 주변에 다른 위치에서도 다른 소음원이 존재하는 듯한 현상을 보인다.

그림 9와 같은 소음원 영상을 얻기 위한 상호상관함수의 값을 그림 10에 나타내었다. 원 신호, 제로 패딩, 0차 홀드, 1차 홀드, 랜덤 신호 페이딩 순으로 나타내었다. 그림에서 R-1(R-2, R-3)은 기준 센서와 센서 1(센서 2, 센서 3)과의 상호상관함수를 나타낸다, 그림 10(a) 원 신호의 경우, R-1, R-2와 R-3가 가지는 최소 지연은 1, 최대 지연은 2로 주어졌으며 이로 인해 그림 5(a)와 같은 해상도가 낮은 영상면을 얻게 된 것이다.

그림 10(f) 랜덤 신호 페이딩의 경우, 최소 지연은 31, 최대 지연 31로 인해 그림 5(b)와 같은 해상도가 높은 영상면을 얻게 된 것이다. 그림 10(b)의 제로 페이딩, (c)의 0차 홀드 및 (f)의 랜덤 페이딩의 경우 3개의 피크외의 높은 값을 발견할 수가 없지만, (d)의 1차 홀드, (e)의 스플라인 함수의 경우, 주변에 상당히 높은 값을 가지는 값들이 존재하여 그림 9에서 소음원의 위치 외에도 다른 값들이 나타남을 알 수 있다.



**Fig. 10** The results of the cross-correlation function for source imaging by 16-up-sampling frequency with interpolation technique - (a) origin, (b) zero padding, (c) ZOH, (d) FOH, (e) spline function, (f) random padding.

마지막으로, 업 샘플링에 의해 어느 정도 정확하게 소음원의 위치를 추정하고 있는지 알아보기 위해 최댓값으로부터 -3dB 되는 점까지의 범위 및 실제 소음원과 추정된 소음원(최대값 기준)과의 거리 오차를 표 1에 나타내었다. 사용된  $4m \times 4m$  크기의 평면을 가로, 세로 각각 200등분하였으므로 총 40,000 포인트의 격자를 가지고 있다. 그림 6-9의 설명에서와 같이 스플라인 함수와 1차 홀드의 소음원 영역 추정 성능이 다른 보간 함수에 비해 다소 떨어지고 있지만, 소음원의 위치는 약 6cm 이하로 매우 정확하게 추정하고 있음을 알 수 있다. 추정된 소음원의 최대값을 기준으로 거리를 계산하는 것에 의해 -3dB 영역 범위의 값은 업 샘플링 속도가 올라감에 따라 좁아지고 있으나, 거리의 오차는 4배와 8배 업 샘플링에서 다소 다른 양상을 보인다.

**Table. 1** Performance comparison in estimation of the sound source

	Region within -3dB				Distance from origin			
	2	4	8	16	2	4	8	16
Org	1301				0.40			
Zero Padding	344	52	19	9	0.47	0.03	0.06	0.00
ZOH	344	52	19	9	0.47	0.03	0.06	0.00
FOH	344	52	41	19	0.47	0.03	0.06	0.04
Spline	665	427	1222	1838	0.47	0.03	0.07	0.06
Random Padding	344	52	19	9	0.47	0.03	0.06	0.00

## V. 결론

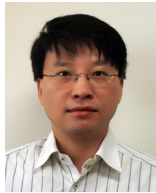
3차원 공간에 위치한 4개의 마이크로폰을 이용하여 소음원의 위치를 2차원 평면에 나타내는 소음원 영상화의 성능에 대해 평가하였다. 소음원의 위치를 보다 정확하게 추정하기 위하여 업 샘플링 기술을 사용하였으며, 신호 사이의 보간을 위해 제로 페이딩, 0차 홀드, 1차 홀드, 스플라인 함수, 랜덤 신호 페이딩을 결합하여 그 성능을 검토하였다. 그 결과, 업 샘플링 속도를 2배, 4배, 8배, 16배로 높이는 것에 의해 소음원의 위치를 보다 정확하게 추정하는 것이 가능하였다. 단, 1차 홀드와 스플라인 함수의 경우 상호상관함수에서 다른 보간 함수에 비해 상대적으로 높은 주변의 간섭신호가 생성되는 것을 볼 수 있었으며, 이로 인해 추정하고자 하는 소음원의 영역이 넓어지고 주변에 다른 소음원이 존재하는 결과를 보였다. 이상의 결과를 바탕으로 배열 센서의 위치가 고정되어 있고, 낮은 샘플링 주파수를 가지는 경우, 업 샘플링 기법과 보간 함수를 이용하여 보다 정확한 소음원의 위치를 추정하는 것이 가능함을 알 수 있었다.

## ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported by a Research Grant of Pukyong National University (2014 Year).

REFERENCES

- [ 1 ] R. A. Mucci, "A Comparison of Efficient Beamforming Algorithms," *IEEE Trans. Acoustics, Speech and Signal Processing*, vol. 32, no. 3, pp. 548-558, June 1984.
- [ 2 ] B. Friedlander, "A Sensitivity Analysis of the MUSIC Algorithm," *IEEE Trans. Acoustics, Speech and Signal Processing*, vol. 38, no. 10, pp. 1740-1751, Oct. 1990.
- [ 3 ] C. H. Knapp and G. C. Carter, "The Generalized Correlation Method for Estimation of Time Delay," *IEEE Trans. Acoustics, Speech and Signal Processing*, vol. 24, no. 4, pp. 320-327, Aug. 1976.
- [ 4 ] G. Moschioni, B. Saggini, and M. Tarabini, "3-D Sound Intensity Measurements: Accuracy Enhancements With Virtual-Instrument-Based Technology," *IEEE Trans. Instrumentation and Measurement*, vol. 57, no. 9, pp. 1820-1829, Sept. 2008.
- [ 5 ] J. D. Maynard, E. G. Williams, and Y. Lee, "Nearfield Acoustic Holography : I. Theory of Generalized Holography and the Development of NAH," *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 78, no. 4, pp. 1395-1413, Oct. 1985.
- [ 6 ] V. K. Ingle and J. G. Proakis, *Digital Signal Processing Using MATLAB*, 3rd ed., CL Engineering, 1999.
- [ 7 ] J. R. Yoon and K. C. Park, "Design of Three-Dimensional Array Sonar with Equi-Bearing Resolution," *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 42, no. 5B, pp. uu02084S, May 2003.
- [ 8 ] J. R. Yoon and S. A. L. Glegg, "Microphone Array Design for Noise Source Imaging," *Kor. Soc. for Noise and Vib. Eng.*, vol. 7, no. 2, pp. 255-260, April 1997.
- [ 9 ] T. J. Kim, "Noise Source Detection using the Third-Order Stastics : Ms. Thesis, Pukyong National University, Pusan 2001.
- [ 10 ] K. C. Park and J. R. Yoon, "A Study on the Acoustic Fault Detection System of Insulators from Their Radiation Noises," *Int. J. KIMICS*, vol. 9, no. 5, pp. 510-514, Oct. 2011.



**박규철(Kyu-Chil Park)**

1993년 2월: 부경대학교 전자공학과 학사  
 1995년 2월: 부경대학교 전자공학과 석사  
 2000년 3월: 일본 오카야마대학 자연과학연구과 박사  
 2002년 3월 ~ 현재: 부경대학교 정보통신공학과 교수  
 ※ 관심분야 : 음향정보처리, 역문제, 컴퓨터 수치시뮬레이션



**윤종락(Jong Rak Yoon)**

1977년 2월: 부경대학교 어업물리 학사  
 1980년 2월: 부경대학교 수산물리 석사  
 1987년 2월: Florida Atlantic University 해양공학과 음향공학 전공 석사  
 1990년 2월: Florida Atlantic University 해양공학과 음향공학 전공 박사  
 1990년 4월 ~ 현재: 부경대학교 정보통신공학과 교수  
 ※ 관심분야 : 수중음향, 수중음향통신, 음향신호처리