

조선기자재 소음저감을 위한 음장가시화법 개발

김창남⁺, 선진석⁺⁺, 왕지석⁺⁺⁺, 김의간⁺⁺⁺⁺

Sound Field Visualization System Development for Reducing Noise of Marine Equipment

Chang-Nam Kim⁺, Jin-Suk Sun⁺⁺, Ji-Suk Wang⁺⁺⁺ and, Ue-Kan Kim⁺⁺⁺⁺

Abstract : The main purpose of this study is to develop a program for sound field visualization system which gets noise signals in microphones array for incoming noise signals and it uses to operate noise signals and to store data in multi-channel FFT and is consisted to visualize noise signals with a image which is got by camera in center of array by using beamforming algorithm of the array signal processing.

Key words : Sound visualization, Beam-forming, Sound mapping, Array signal processing

1. 서론

근래에 들어 국내 조선업계는 중국 조선소의 추격으로 인한 어려움을 겪고 있으며 이를 극복하기 위한 방안으로 고부가가치선(여객선, 이지스함, 잠수함 등) 건조가 요구되고 있다. 특히 여객선의 경우는 친환경적인 요구조건으로 선내의 저소음이 요구되므로 탑재되는 조선기자재도 저소음 기기를 요구하고, 또한 군함(이지스함, 잠수함 등)의 경우에는 군사 목적상 엔진등 조선기자재에 대한 규정소음이 낮아 저소음기기를 요구하고 있다. 그러나 선박과 같이 좁은 공간에 다양한 종류의 기계들이 구동되는 경우에는 소음원이 복잡하므로 효율적인 소음저감 대책을 수립하는 것이 어렵다. 하지만 소음이 문제되는 공간을 가시화할 수 있으면 소음원, 소음의 전파경로, 청음자에 대한 대책을 효율적으로 수립할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 먼저 카메라로 얻은 화상이미지와 마이크로폰 어레이(microphone array)의 신호를 어레이 시그널 프로세싱(array signal processing) 알고리즘^{[1],[2]}으로 소음분포를 눈으로 볼 수 있게 만드는 음장가시화법을 개발하고자 한다.

2. 음장가시화법 이론

2.1 음장가시화법

음장가시화법으로는 직접 측정에 의해 측정면에서 측정점을 나눠 여러 위치의 음압분포를 측정하고 매핑(sound mapping) 하는 방법^[3], 또는 음향인텐시티프로브(sound intensity probe)를 이용하여 여러 위치의 인텐시티분포를 매핑하는 방법(sound intensity mapping)과 측정된 음압을 어레이 시그널 프로세싱을 이용하여 대상면에 대한 음압분포를 계산하는 빔포밍(beam-forming)법이나, 음향홀로그래피(acoustic holography) 법을 주로 사용된다.

직접측정법인 음압매핑과 음향인텐시티매핑은 한 개의 음향 센서로 여러 위치를 순차적으로 측정하여야 하기 때문에, 변동소음은 측정이 불가능하다. 이를 위해서는 격자형 마이크로폰 어레이를 사용하여 측정위치에서의 소음값을 동시에 측정하여야 하는데, 그대로 측정대상과 매핑을 하기 때문에, 주변의 소음 및 여러 소음원간의 간섭 등을 야기하여 정확도가 많이 떨어지며, 측정영역이 커지게 되면 그에 따라 필요한 마이크로폰과 분석기의 채널의 수가 동시에 증가하기 때문에 시스

템의 구축비용이 굉장히 고가로 되며, 측정 위치에서의 음압 매핑만 가능하므로 측정대상물 표면의 음압분포를 알 수 없어 정확한 소음원의 위치 파악과 소음전파의 예측에 한계가 있다.

이에 반해 어레이 시그널 프로세싱을 이용하면 변동소음원에 대한 측정도 가능하고, 원하는 대상면의 소음값도 연산이 가능하다. 또한 연산과정을 통해 측정대상물의 표면에서의 소음분포 예측(backward) 및 측정위치로부터 거리가 더 떨어진 면에서의 소음분포 예측(forward)도 가능하다.

어레이 시그널 프로세싱법으로는 근접음장에서는 음향홀로그래피법, 원음장에서는 빔포밍법이 주로 사용되어지고 있는데, 음향홀로그래피법은 센서의 개수가 측정 대상체 크기에 따라 결정되어, 대상체가 커지면 측정시스템의 구성이 매우 고가가 되어진다. 그러나 빔포밍법의 경우 채널수가 적어도 보다 큰 측정영역에 대해 분해능이 떨어지지 않게 측정할 수 있다. 본 연구에서는 어레이 시그널 프로세싱 중 빔포밍 알고리즘을 이용하여 음장을 가시화한다.

2.2 빔포밍(Beam-forming) 알고리즘^[4]

빔포밍 알고리즘은 어레이를 구성하는 각 마이크로폰에 가중치와 위상지연을 주어 어레이가 일정한 방향을 지향하게 하는 것을 말한다. 소음원 추정시는 지향 방향을 여러 방향으로 변화시켜가며 출력되는 파워가 가장 큰 방향을 찾아내는 방법을 사용한다. Fig. 1과 같이 M개의 마이크로폰으로 구성되어 있는 어레이 마이크로폰에 단일 주파수 f를 가진 K개의 평면파가 입사되고 있는 경우, 마이크로폰 어레이에 수신되는 음압벡터는

$$P = [P_1(f) \ P_2(f) \ \dots \ P_M(f)]^T \quad (1)$$

$$P_m(f) = \sum_{k=1}^K A_k \exp[2\pi j f x_m \sin \theta_k / c] \quad (2)$$

같이 주어진다. 여기서 A, θ_k 는 각각 k번째 평면파의 복소 크기, 입사각을 의미하며, x_m 은 m번째 마이크로폰의 위치 좌표를 나타낸다. 평면파를 가정할 경우, 가중벡터는

$$W = [w_1(f) \ w_2(f) \ \dots \ w_M(f)]^T \quad (3)$$

$$w_m(f) = \frac{1}{\sqrt{M}} \exp[2\pi j f x_m \sin \hat{\theta} / c] \quad (4)$$

와 같이 가정되는 지향각 $\hat{\theta}$ 의 함수이며, 이때 빔포밍 파워는

+ 책임저자((주) 티엔텍 기술지원부), E-mail : chnkim@empal.com, Tel: 051)403-2691

++ 한국해양대학교 기계공학과

+++ 한국해양대학교 기계정보공학부

++++ 한국해양대학교 기계정보공학부

$$\text{Power}(\hat{\theta}) = \mathbf{W}^H(\hat{\theta}) \mathbf{E} [\mathbf{P}\mathbf{P}^H] \mathbf{W}(\hat{\theta}) \quad (5)$$

로 정의 된다. 만약 실제 음원의 입사각 θ_k 와 지향각 $\hat{\theta}$ 가 일치하는 경우 빔포밍 파워는 상대적으로 큰 값을 가지므로 $\hat{\theta}$ 를 변화시켜가며 빔포밍 파워를 계산하여 음원의 위치를 추정할 수 있다

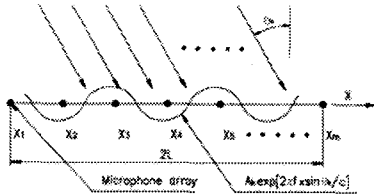


Fig. 1 음장평면파 모델을 이용한 빔포밍 개념도

구면파 모델(Fig. 2)의 경우, 음원의 추적 방법은 평면파 모델의 경우와 같으며 단지

$$p_m(f) = \sum_{k=1}^K A_k \frac{\exp[2\pi j f r_{km} / c]}{r_{km}} \quad (6)$$

$$w_m(f) = \frac{1}{\sqrt{M}} \frac{\exp[2\pi j f \hat{r}_m / c]}{\hat{r}_m} \quad (7)$$

와 같이 음압 벡터 및 가중벡터의 차이만이 존재한다. 여기서 r_{km} 은 k 번째 소음원과 m 번째 마이크로폰 사이의 거리를 의미하고, \hat{r}_m 은 가정되는 음원과 m 번째 마이크로폰 사이의 거리를 의미한다. 가중벡터는 $\hat{r}_m = (\hat{x}_m, \hat{y}_m)$ 의 함수로서 스캔영역이 평면파의 경우와는 달리 2차원이 된다.

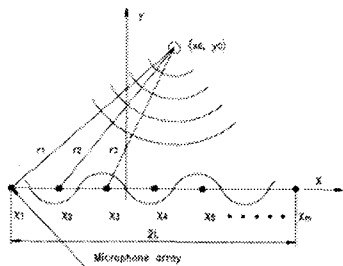


Fig. 2 음장구면파 모델을 이용한 빔포밍 개념도

3. 음장가시화 시스템 구성 및 응용

음장가시화 시스템은 Fig. 3과 같이 화상이미지 생성을 위한 카메라, 소음원 취득을 위한 32개의 마이크로폰, 측정된 소음을 분석하기 위한 32채널의 신호분석기와, PC로 구성하였다. 소프트웨어는 중앙에 위치한 카메라로부터 영상을 받고 분석기로부터 소음신호를 받아 어레이 시그널 프로세싱알고리즘을 이용하여 연산을 수행한다.

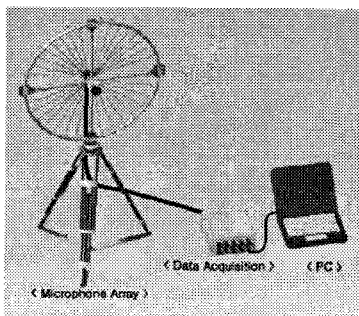


Fig. 3 음장가시화의 시스템구성도

빔포밍연산을 이용한 개발된 음장가시화 소프트웨어의 검증 방법은 다음과 같다. 먼저 소형 진공청소기의 소음장을 측정한다. Fig. 4와 같이 측정된 음압을 이용하여 촬영된 영상에 음압매핑 처리하여 계측된 음장의 음압분포를 확인하였고, Fig. 5와 같이 빔포밍을 이용한 연산 결과로 소음을 분석하였다. 그 후, 각각의 점에서 측정하여 그린 음압매핑과 빔포밍 연산에 의한 결과를 비교하여 확인하여 보았다. Fig. 4는 각각의 점에서 측정된 음압분포는 측정점간의 상호 소음영향에 의한 중첩으로 음압분포가 넓게 퍼져 나오는 것을 알 수 있고, 본 연구에서는 Fig. 5과 같이 빔포밍에 의한 연산이 음압분포는 상호영향에 의한 중첩이 현저히 줄어 소음원이 더 명확하게 표현됨을 알 수 있다.

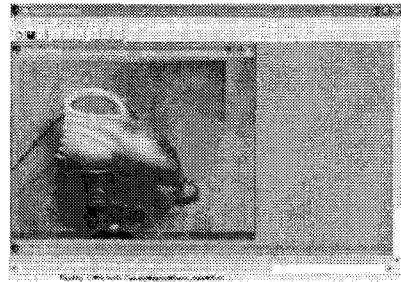


Fig. 4 측정된 음압의 매핑

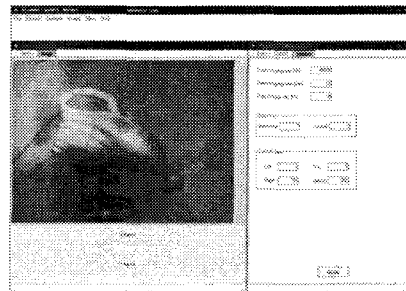


Fig. 5 빔포밍연산 결과

4. 결 론

본 연구를 통하여 조선기자재의 소음지감을 위한 음장가시화 시스템을 개발하였다. 개발된 음장가시화 소프트웨어는 여러 가지 어레이 패턴(array pattern)을 이용한 빔포밍연산이 가능한 소프트웨어로 상선, 군함 등의 모든 조선기자재의 소음원 탐색으로 소음지감에 널리 활용이 가능하다. 향후 연구에서는 개발된 2차원 시스템을 이용하여 3차원 음장가시화 방법을 개발할 예정이다.

후 기

본 연구는 2005년도 산학연공동기술개발 컨소시엄사업의 연구비 지원으로 수행하였음.

참고문헌

- [1] Don H. Johnson, "Array Signal Processing", Prentice-Hall, 1993.
- [2] Harry L. Van Trees, "Optimum Array Processing", Wiley, 2002.
- [3] F. J. Fahy "Sound Intensity", E & FN SPON, 1995