

마이크로폰 31개로 이루어진 선형배열 음향렌즈의 구성과 실험

Development and Experiment of a Linear Array Acoustic Lens with 31 Microphones

현 석 봉*, 민 동 현*, 김 수 용*

(Seok Bong Hyun*, Dong Hyun Min*, Su Young Kim*)

본 연구는 ADD 장기기초연구의 지원을 받아 수행된 것입니다.

요 약

31개의 마이크로폰이 34mm 간격으로 선형배열된 음향영상장치용 전자 렌즈를 제작하였다. 마이크로폰을 이용한 음향센서의 공진주파수는 20kHz이고, 16개의 마이크로폰은 수평으로 나머지 15개의 마이크로폰은 수직으로 배치되어 있어서, 음원의 2차원적인 각도를 알아낼 수 있고 음원의 운동을 실시간으로 추적할 수 있다. 이산 푸리에변환할때 나타나는 aliasing 문제 때문에 제작된 렌즈의 최대 관찰가능각도는 15도로 제한된다. 또한 초점을 맞추기 위해 직각위상 검파방법을 이용하였다. 무향실에서 PC를 이용하여 음향렌즈를 실험하였으며 음향영상이론과 일치하는 결과를 얻었다.

ABSTRACT

We developed an electronic lens for acoustic imaging systems, which is a linear array with 31 microphones equally spaced with distance 34mm. Resonant frequency of receiver circuit coupled to microphone is 20 kHz. We arranged 16 microphones horizontally and 15 microphones vertically, so that the array allows us to obtain a 2 dimensional angle of source, and to track the motion of source in real time. Due to the problem of aliasing in discrete Fourier Transform, the maximum observable angle of the lens is limited to 15°. We also employed quadrature phase detection scheme to adjust the focus. We have tested the acoustic lens with a personal computer in an anechoic room and obtained the results agreed with the acoustic imaging theory.

1. 서 론

전자기파가 잘 통과하지 못하는 매질내의 구조를 관찰해야하는 비파괴 검사나 해양원격탐사에서는 음

향영상장치를 이용하게 된다. 지금까지 개발된 음향 영상 장치로는 수중 탐지용 소나[1], 초음파 영상 진단기기[2][3], 초음파 홀로그래피[4], 초음파 현미경 [4]등 매우 다양하며 이들 장치에서 사용되는 기본 주파수도 얻고자하는 영상의 해상도에 따라 GHz대에서 수 kHz에 이른다.

음향영상장치는 음향센서와 센서의 출력신호를 처리하는 신호처리부, 그리고 그 결과를 시각화하는 디

* 한국과학기술원 물리학과
접수일자: 1994년 1월 21일

디스플레이부로 구성된다. 이 가운데에서 센서와 신호 처리부는 광학계에서의 렌즈의 역할을 하는 음향렌즈라고 디스플레이는 컴퓨터의 모니터를 이용한다. 음파의 주파수가 높을 경우에는 음파를 물리적으로 보살피기는 모양의 음향렌즈를 이용하면 되지만, 수 kHz 정도의 음파를 사용한 경우에는 렌즈의 크기가 사용되는 음파의 파장에 비례하므로 물리적인 렌즈보다는 렌즈와 동일한 기능을 하는 배열을 이용하는 것이 효율적이다[1]. 배열이란 여러개의 음향센서를 공간적으로 일정한 간격을 두고 배치하여 동시에 여러 지점에서 파동을 측정하고 이로부터 파동의 근원을 찾아 주는 장치인데, 배열을 구성하는 음향센서의 갯수가 많을수록 물리적인 렌즈와 동일해진다.

배열을 이용한 음향영상장치는 수신된 음파 신호를 처리하는 방식에 따라 여러종류가 있다. 크게는 초음파 영상진단장치등에 널리 쓰이는 시간지연방식[2][3]과 본 장치에서 이용하는 푸리에변환방식[1]이 있다. 시간지연방식은 배열을 구성하는 N개의 음파 수신단에 시간 지연량을 각기 다르게 가한뒤 이들을 모두 더하여 결과적으로 광학렌즈에서 빛의 경로가 입사지점의 위치에 따라 각기 달라지는 것과 동일한 효과를 내는 것이며, 푸리에 변환방식은 배열에 수신된 음향신호를 공간 푸리에변환하면 평면파의 각도가 직접 구해지는 원리를 이용한 것이다.

배열을 이용하여 영상을 얻는 방법은 안테나 어레이 시스템[5]에서 기인하며 70년대에 그 이론이 확립된 뒤, 미 해군의 잠수함에서 이용할 수 있도록 실제 시스템이 구현되었다[1]. 이 논문의 음향렌즈도 음향영상 형성과정에 대한 컴퓨터 모의 실험을 거친 후 제작된 것이며, 무향실 환경에서 실험한 결과와 모의 실험결과가 측정오차 내에서 일치하였다.

이 논문에서는 3차원 음향영상장치의 기초로서, 31개의 마이크로폰이 T자형으로 배치된 2차원 음향영상장치를 제작하여 2차원적 구면상에서 움직이는 음원의 위치를 모니터를 통하여 볼 수 있도록 하고, 배열 영상장치를 구성하고자 할때 발생하는 focusing, aliasing 등의 문제를 고찰하였다. 2장에서는 음파에 의한 영상형성이론을 검토하고, 3장에서는 이 이론에 의해 제작된 선형배열 음파영상장치의 구조를, 4장에서는 이 장치를 사용하여 얻은 간단한 실험결과를 언급할 것이다.

II. 음향영상 이론

음향영상의 기본원리는 일반 광학계와 유사하며 두개의 렌즈를 이용하여 음원의 위치를 찾고 모니터 상에 그 위치를 표시하여 음원의 형태를 시각화한다. 여기서 첫번째 렌즈는 초점 조절용으로서 음원이 무한히 멀리 있는 것처럼 만든다. 음향영상장치에서는 초점조절용으로 렌즈와 동일한 기능을 하는 전자회로를 이용하며 이 전자회로에 의한 초점조절과정은 뒷부분에 설명이 되어있다. 두번째 렌즈는 푸리에변환 렌즈로서 파동 발생원의 위치를 영상면에 표시해준다.

영상장치의 성능을 결정하는 분해능은 Rayleigh기준에 의하면 다음 식과 같다.

$$\delta = 1.22 \lambda F/D \quad (1)$$

여기서 λ , F , D 는 각각 파동의 파장, 초점거리, 그리고 렌즈 또는 조리개의 지름이다.

선형배열 음향렌즈를 이용하는 음향영상장치에서는 D 가 배열 전체의 크기가 된다. 따라서 해상도를 높이기 위해서는 사용되는 음파의 파장을 작게 하거나 배열을 크게 해야하는데 주파수가 높아지면 매질 내에서의 음파 흡수가 잘 일어나므로 작동 주파수들이 어느 이상 높일 수는 없다.

광학용 렌즈와 선형배열 음향렌즈의 중요한 차이는 광학용 렌즈의 표면은 연속적이므로 입사되는 광파를 전부 받아서 연속 푸리에변환을 하나 배열은 띄엄띄엄 떨어져 있으므로 입사되는 음파중 일부분을 받아서 이산신호 푸리에변환을 한다는 것이다. 따라서 이산신호 푸리에 변환시 나타나는 aliasing 현상이 발생하여, 측정가능한 각도에 제한이 생긴다.

음원이 센서로부터 충분히 멀리 떨어져 있는 경우에는 점음원에 의한 구면파를 평면파로 근사할 수 있으므로 그림 2-1처럼 일정한 각도로 기울어진 평면파가 센서 배열로 입사된다. 음원에서 나오는 파가 정현파이며 i 번째 센서로 입력되는 파동은, 배열의 중앙 센서로 입사되는 파동을 $V \sin \omega t$ 라고 가정할 때

$$u(i, t) = V \sin[\omega t - \phi(i, t)] \quad (2)$$

이다.(여기서 u 는 음파의 음압, ω 는 음파의 각주파수, t 는 센서의 음파 수신시간, $\phi(i, t)$ 는 i 번째 센서의 중앙센서와의 위상차이다)

평면파를 구면파로 근사할 수 있는 경우 위상차 ϕ

(i, t)는 그림 2-1로부터

$$p(i, t) = \frac{2\pi id \sin\beta}{\lambda} \text{ 이다}$$

(여기서 β 는 배열의 중심축에 대한 평면파의 입사 각도, d는 각 배열간 간격) 따라서 일정 시각에 센서 배열의 i번째 센서에서 출력되어 나오는 전압은

$$v(i, t) = \alpha i' \sin(\omega t + \frac{2\pi id \sin\beta}{\lambda}) \quad (3)$$

(여기서 α 는 음압과 센서의 출력전압간의 비례상수)

이 수치에 비례하는 디지털값이 컴퓨터로 입력되면 컴퓨터는 다음 공식에 따라 모든 가능한 γ 에 대해 $v(i, t)$ 로부터 $v(\gamma, \beta, t)$ 를 계산한다. 음파의 실제 입사각도 β 를 측정하기 위해서는 다음식으로 정의되는 관찰각 γ 를 도입하여 $v(\gamma, \beta, t)$ 를 최대로 만드는 γ 를 구하면 된다.

$$v(\gamma, \beta, t) \equiv \sum_j v(i, t) \exp(\pi i j d \sin\gamma/\lambda) \quad (4)$$

(j : 단위 허수)

특히 입사파가 식(3)으로 표현되는 평면파이면 다음 식으로 근사된다.

$$\begin{aligned} v(\gamma, \beta, t) \approx & \frac{V'a}{2d} \left(\frac{\sin[\pi A/\lambda (\sin\beta - \sin\gamma)]}{\pi A/\lambda (\sin\beta - \sin\gamma)} \right) \\ & + \frac{\sin[\pi A/\lambda (\sin\beta + \sin\gamma)]}{\pi A/\lambda (\sin\beta + \sin\gamma)} \sin(2\pi vt/\lambda) \\ & + j \frac{V'a}{2d} \left(\frac{\sin[\pi A/\lambda (\sin\beta - \sin\gamma)]}{\pi A/\lambda (\sin\beta - \sin\gamma)} \right) \\ & - \frac{\sin[\pi A/\lambda (\sin\beta + \sin\gamma)]}{\pi A/\lambda (\sin\beta + \sin\gamma)} \cos(2\pi vt/\lambda) \end{aligned} \quad (5)$$

여기서 γ 를 0도에서 180도까지 변화시켜가며 $v(\gamma, \beta, t)$ 를 계산하면 γ 가 β 에 접근할 수록 이 값이 커짐을 알 수 있다. 즉 $v(\gamma, \beta, t)$ 를 최대로 만드는 γ 를 찾으면 이 각도가 곧 음파의 입사각도가 된다.

그런데 위 식(5)를 보면 추정각도 γ 가 실제값 β 인 경우와 $-\beta$ 인 경우 모두 측정치는 극대값(peak)이 되므로 배열의 중심축에 대해 좌우방향을 구별할 수 없다.

보기를 들면 물체가 3.7도에 있는지 -3.7 도에 있

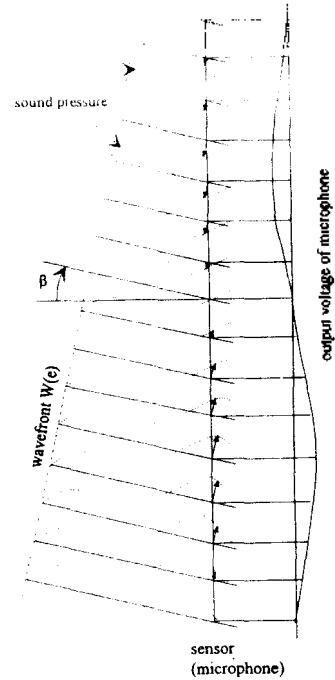


그림 2-1. 무한히 먼 음원에서 선형배열 음향렌즈 축과 β 각을 이루고 입사하는 평면파, 배열의 각 마이크로폰의 출력신호도 정현파를 이루고, 그 주기는 입사각도에 의해 결정된다.

는지 알 수가 없다. 물체의 좌우방향 구별을 위해서는 90도 위상 지연된 데이터를 위상지연이 되지 않은 데이터와 동시에 이용한다. 즉 $t' = t + T/4$ (T = 음파의 주기) 시각에 한번 더 수신파에서 데이터를 얻으면 식 (5)로부터

$$\begin{aligned} v'(\gamma, \beta, t) \approx & \frac{V'a}{2d} \left(\frac{\sin[\pi A/\lambda (\sin\beta - \sin\gamma)]}{\pi A/\lambda (\sin\beta - \sin\gamma)} \right) \\ & + \frac{\sin[\pi A/\lambda (\sin\beta + \sin\gamma)]}{\pi A/\lambda (\sin\beta + \sin\gamma)} \cos(2\pi vt/\lambda) \\ & - j \frac{V'a}{2d} \left(\frac{\sin[\pi A/\lambda (\sin\beta - \sin\gamma)]}{\pi A/\lambda (\sin\beta - \sin\gamma)} \right) \\ & - \frac{\sin[\pi A/\lambda (\sin\beta + \sin\gamma)]}{\pi A/\lambda (\sin\beta + \sin\gamma)} \sin(2\pi vt/\lambda) \end{aligned} \quad (6)$$

이다. $v(\gamma, \beta, t)$ 와 $v'(\gamma, \beta, t)$ 의 실수부와 허수부를 적절히 조합하면 비로소 입사각 β 의 부호를 판별할 수 있다.

$$\text{Re}[v] + \text{Im}[v'] = \frac{V}{d} \left(\frac{\sin[\pi A/d(\sin\beta + \sin\gamma)]}{\pi A/d(\sin\beta + \sin\gamma)} \right) \sin \frac{2\pi vt}{\lambda} \quad (7-a)$$

$$\text{Re}[v] + \text{Im}[v'] = \frac{V}{d} \left(\frac{\sin[\pi A/d(\sin\beta - \sin\gamma)]}{\pi A/d(\sin\beta - \sin\gamma)} \right) \sin \frac{2\pi vt}{\lambda} \quad (7-b)$$

따라서 추정치 γ 의 범위를 양의 실수로 제한하면 $\beta > 0$ 인 경우에는 (7-b)에만 최대값이 나타나고 $\beta < 0$ 인 경우에는 반대로 (7-a)에만 최대값이 나타나므로 음파 입사각 β 의 부호를 판별할 수 있다. 이는 레이더와 Doppler flowmeter[5]등에서 음원의 운동 방향을 판별하기 위해 일반적으로 사용하는 직각위상검파와 유사한 원리이다.

음원이 배열로부터 충분히 멀리 떨어져 있지 못하는 경우에는 배열에 입사되는 음파를 평면파로 근사할 수 없게 되며 이때에는 다음과 같은 구면파 보정 과정을 거친다. 그림 2-2에서 거리 R 인 평면상의 각도 β 위치에 있는 음원으로부터 센서 배열의 중심까지의 거리는 $R\sqrt{1 + \tan^2\beta}$ 이고, i 번째 센서까지의 거리는 $R\sqrt{1 + (\tan\beta - id/R)^2}$ 이므로 i 번째 센서와 중심 센서간의 위상차는

$$\Psi = \frac{R}{\lambda} \left(\sqrt{1 + (\tan\beta - id/R)^2} - \sqrt{1 + \tan^2\beta} \right) \approx \frac{R}{\lambda} \left(\frac{-id}{R} \tan\beta + \frac{i^2 d^2}{2R^2} \right) \quad (8)$$

이다. 따라서 중심으로부터 id 거리에 있는 i 번째 센서의 출력 전압은 식 (2)로부터

$$v(i, t) = V \sin \left[\frac{2\pi}{\lambda} \left(vt + id \sin\beta - \frac{i^2 d^2}{2R} \right) \right] \quad (9)$$

이고, 무한대 거리의 음원에 의한 센서의 출력 전압 식과 비교해 보면 완전 평면파일 때의 위상 $id \sin\beta$ 항 이외에 $i^2 d^2 / 2R$ 이 첨가되어 있음을 볼 수 있다. 이것을 그대로 푸리에 변환하면 $\gamma = \beta$ 위치에 최대값이 나타나는 것을 볼 수 없다. 구면파 항인 $i^2 d^2 / 2R$ 을 소거하기 위해서는 좌우 방향구별을 위해 수신한 90° 위상 지연된 데이터를 이용한다.

90° 위상 지연된 후의 파동은

$$v'(i, t) = v(i, t + \frac{T}{4}) = V \cos \frac{2\pi}{\lambda} \left(vt + id \sin\beta - \frac{i^2 d^2}{2R} \right) \quad (10)$$

이다. 따라서,

$$v'(i, t) \sin \left(\frac{\pi i^2 d^2}{R\lambda} \right) + v(i, t) \cos \left(\frac{\pi i^2 d^2}{R\lambda} \right) = V \sin \frac{2\pi}{\lambda} \left(vt + id \sin\beta \right) \quad (11)$$

이 된다. 이것은 평면파를 나타내므로 푸리에 변환하고 식 (7)을 적용하면 음원이 가까이 있는 경우에도 각도 β 를 알 수 있다.

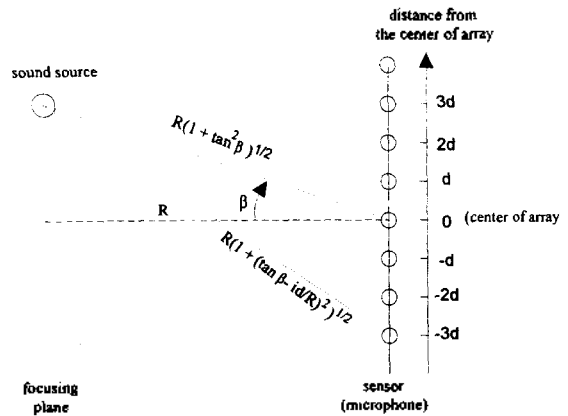


그림 2-2 음원이 배열 근처에 위치하여 평면파로 근사할 수 없는 경우 배열을 구성하는 각 센서간 위상차 계산과정

III. 선형배열 음향렌즈의 제작 및 시험방법

음향영상장치의 개략적인 구성도는 그림 3-1과 같다. 선형배열의 각 마이크로폰간 간격은 3.4cm로서 이는 공기중에서의 음속을 340 m/s 이라고 할때 실험에 사용되고 있는 음파의 파장의 대략 2배에 해당한다. 따라서 aliasing이 일어나지 않는 범위 내에서 측정 가능한 음원의 최대 각도는

$$\theta_{\max} = \sin^{-1}(\lambda/d) \approx 15^\circ \quad (12)$$

이므로 현재 제작된 음향렌즈로는 음원의 위치가 선

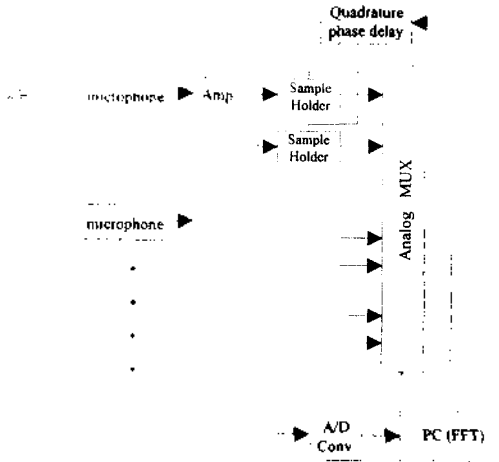


그림 3-1. 음파영상장치의 대략적인 구조도. 31개의 마이크로폰으로 음파를 수신하고 진단 증폭기로 20dB 전압증폭한 후 PC에서 sampling 신호가 나온 순간의 전압치들 sample holder로 유지시켜놓는다. 이 값을 AD0804로 8bit AD 변환한 후 PC로 읽어 들여 PC내에서 focusing과 고속 푸리에변환과정을 거쳐 음원의 위치를 판별한다

형배열의 중심축에 대해 좌우로 15°를 넘지 않도록 주의해야 한다.

음압에 비례하는 마이크로폰의 작은 출력 전압을 선단증폭기와 연산증폭기로 20 dB증폭하고 LF398 Sample and Hold회로로 이 값을 잡아놓는다. 90° 위상(시간상으로는 주기/4) 지연된 음파를 동일한 마이크로폰 배열로 검출하여 이 전압 신호역시 증폭한 뒤 S/H에 값을 유지시켜 놓는다. 이때 각 마이크로폰 배열의 전압 증폭율이 모두 동일해야 정확한 상대적인 위상 비교가 가능하므로 실험을 시작하기 전에 모든 센서부에 대한 정확한 gain calibration 과정을 거쳤다.

음향렌즈의 성능시험에 쓰인 음원은 소형 스피커이고 여기에 렌즈를 구성하는 센서의 공진주파수인 20 kHz 정현파를 가하였다. 또한 장치 주변부에서 오는 각종 음파 잡음의 영향을 줄이기 위해 가로, 세로, 높이 각각이 약 5m 정도 되는 무향실에서 실험을 수행하였다.

2차원 이미지를 얻기 위해서는 총 256개 (16×16)의 센서를 정방형으로 배치해 놓고 여기서 받은 데이터를 2차원 푸리에 변환하여야 하나 이는 상당히 복잡한 회로를 필요로 하므로, 이 실험에서는 그림 3-2와

같이 두개의 일차원 센서 배열을 직교시켜 T자 모양으로 만들고 한 음원의 각도를 알아내는 단계까지만 수행하였다. PC에서는 배열의 1번 센서부터 31번 센서까지의 출력 데이터를 차례대로 받아들인데 각 센서마다 T/4 (T=음파주기)시간 후의 데이터 역시 샘플 홀더에 받아놓고 있으므로 이차원 이미지를 얻기 위해서는 총 62개의 디지털 데이터를 8bit A/D (Analog to Digital) 변환기를 거쳐 받아 들이게 된다. 받아들인 데이터를 이용하여 구면파를 평면파화하는 계산을 지친 뒤 이를 고속 푸리에변환하여 극대값이 나타나는 공간 주파수를 구하면 음원이 위치해 있는 각도를 알아낼 수 있다. 수평(X)방향 각도는 수평 방향으로 배치되어 있는 16개의 센서에서 받은 데이터로부터 알아낼 수 있고, 수직(Y)방향 각도는 수직방향으로 배치되어 있는 15개의 센서 및 수평 방향의 8번째 센서에서 받은 데이터로부터 알아낼 수 있다. 따라서 직교시켜놓은 두개의 1차원 배열 만으로 간단히 한 음원의 2차원상의 각도를 알아낼 수 있다.

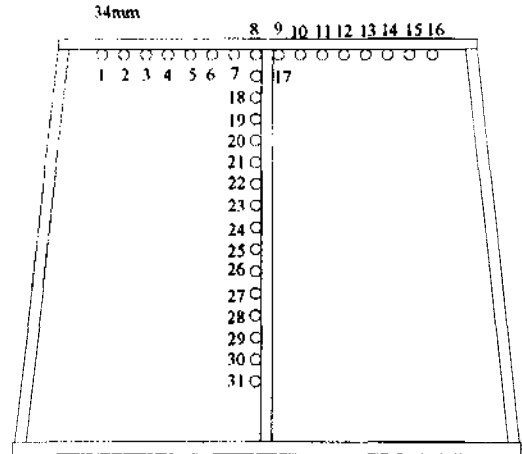


그림 3-2. 2차원 음파영상장치를 위한 T자 구조의 배열 변형기.

IV. 결 과

그림 3-3에 제시된 대로 음원의 위치를 연속적으로 옮기면서 각 위치에서 배열이 수신한 음장으로부터 음원의 위치를 (4), (7), (11)번 식을 이용하여 계산하고 이 결과와 실제 음원의 위치를 비교하는 실험을 100회이상 반복하였다. 각 실험의 결과가 거의 유사

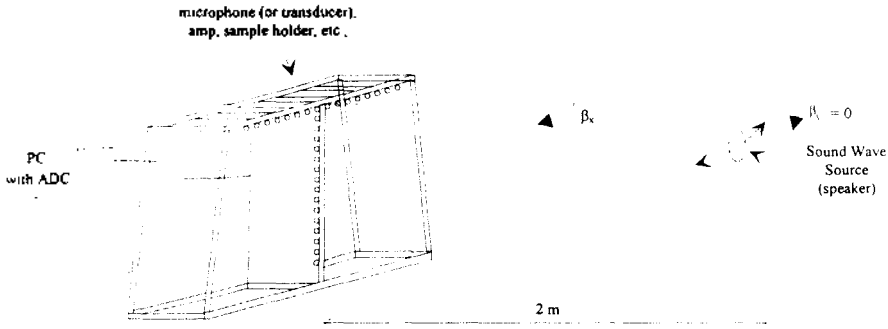


그림 3-3. T자형 선형배열 음향렌즈 성능시험방법

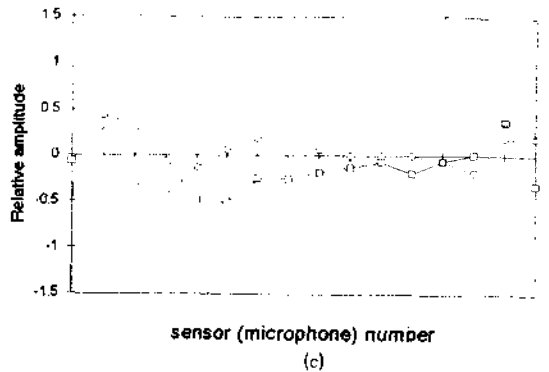
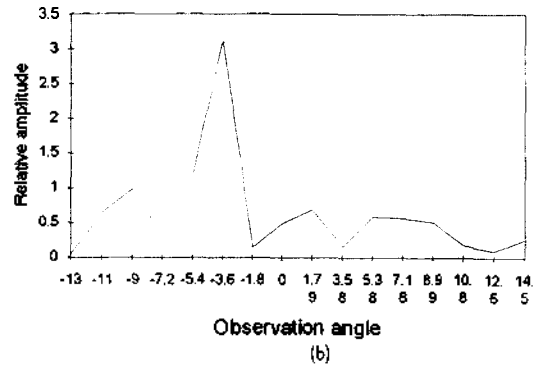
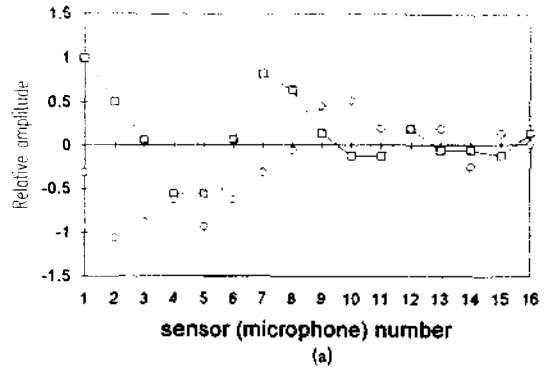
하여 대표적인 한가지 결과만을 그림 4-1에 제시하였다.

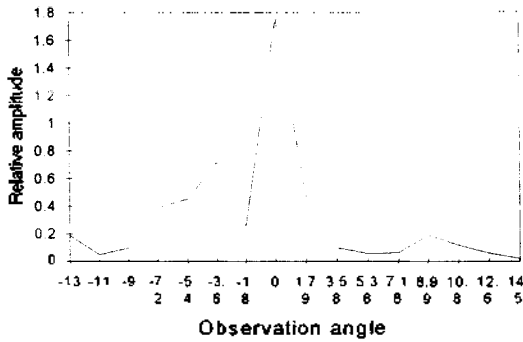
그림 4-1은 스피커를 x축 방향으로 -3.6° , y축 방향으로 0° , 선형배열 음향렌즈의 중심축으로부터 2m 떨어진 위치에 놓았을 때 선형배열의 각 마이크로폰의 출력전압과 이 값들의 고속푸리에변환 결과이다. 4-1 (a)는 x축으로 배치되어 있는 16개의 마이크로폰에서 측정된 음압에 비례하는 전압을 A/D 변환하여 PC에서 읽어 들인것으로서 실선은 점선에 대하여 30° 위상 지연된 후의 음압 분포를 나타낸다. 4-1 (c)는 y축으로 배치되어 있는 15개의 마이크로폰과 x축의 8번째 마이크로폰으로 측정 한 결과이다.

스피커가 선형배열 음향렌즈로부터 충분히 멀리 ($R/A \gg 10$, R = 음원과 배열간 거리, A = 배열의 총 길이) 떨어져 있지 못하므로 구면파 효과가 나타나서 그림 4-1 (a), (c)의 모양이 정현파 형태에서 상당히 벗어나 있음을 볼 수 있다.

그림 4-1 (b), (d)는 각각 (a), (c)의 데이터를 focusing(구면파 보정과정) 한 뒤에 식 (7-a), (7-b)에 따라 좌우 방향을 구별할 수 있도록 계산한 결과이다. 단순한 고속푸리에변환으로는 N 개의 spatial sampling 데이터를 이용하여 PC 상에서 구별할 수 있는 각도가 $N/2$ 개에 불과하나, 이 실험에서는 하나의 수신기마다 90° 위상지연된 성분까지 수신하여 처리하므로 $N (= 16)$ 개의 음파 입사 각도를 구별할 수 있다. 각 그래프에서 극대값이 나타난 각도가 측정각도가 되며, x축 방향의 측정각도 β_x 와 y축 방향의 측정각도 β_y 를 조합하여 스피커가 위치한 각도 (β_x, β_y)를 알 수 있다.

그래프를 보면 -3.6° 위치에 나타난 극대값이외에는 모두 잡음성분이므로, 신호대 잡음비 (SNR)는





(d)

그림 4-1. (a)음원(스피커)을 x축 방향으로 -3.6도, y축 방향으로 0도, 선형배열 음향렌즈의 중심축으로부터 2m 떨어진 위치에 놓았을 때, 배열의 1번 -16번 마이크로폰에 수신된 음파신호. 그래프의 점선은 실선에 대해 90도 위상 지연된 시간에 수신한 음파신호이며 거리가 가까기 때문에 정현파 형태를 취하고 있지 않음을 알 수 있다.
 (b)(a)의 데이터를 focusing하고 고속 푸리에 변환한 결과. 단일한 극대값이 나타나므로 스피커의 위치를 관변할 수 있다.
 (c)(a)와 같은 조건에서 y축 방향 배열의 각 마이크로폰 (17-31번, 8번)에 수신된 음파신호.
 (d)(b)와 동일한 과정으로 신호처리한 결과.

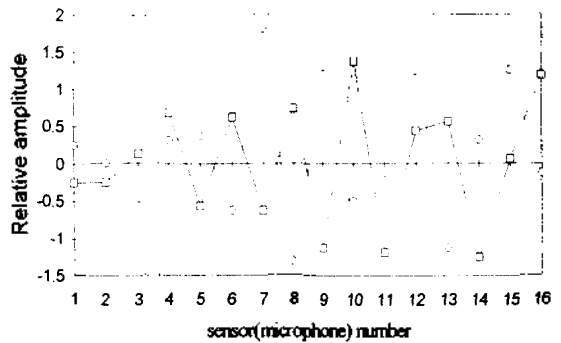
$$SNR \approx \frac{3}{0.5} = 6$$

정도가 되어 상당히 양호함을 알 수 있다.

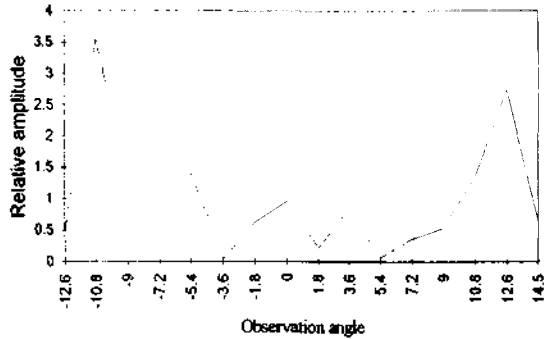
그림 4-2(a)는 음원을 x축방향으로 13도, y축방향으로 0도, 선형배열 음향렌즈의 중심축으로부터 1.7m 떨어진 위치에 놓았을 때 배열의 각 마이크로폰에 입사하는 음파를 측정 한 것이다. 이 데이터를 focusing하고 푸리에 변환하면 그림 4-2(b)와 같이 단일한 극대값이 나타나지 않고 -11도 근처에도 극대값이 나타나서 이 결과만으로는 스피커의 위치가 13도인지 -11도인지 관변할 수 없게 된다. 이로부터 배열을 구성하는 각 음향 수신기들이 공간적으로 연속적으로 분포해 있지 못함으로 인한 푸리에 변환시에 나타나는 aliasing현상이 발생하여, 측정가능한 최대 각도가 제한됨을 확인할 수 있었다. 이러한 주기적인 극값(grating lobe)들은 제거할 수 없지만 식 (12)에 의해 배열의 각 센서간 간격을 줄이면 측정가능각도를 넓힐 수 있다. 실제로 섹터주사형 초음파진단기에서는 배열을 구성하는 각 트랜스듀서간 간격을 반파장

정도로 축소함으로써 ±45도까지 측정하고 있다. 또한 최대 극값 주변에 발생하는 side lobe는 배열에 Hamming window형태의 가중치를 부가(apodization)함으로써 상당히 줄일 수 있다[7].

음원의 각도를 계산하는데 소요되는 시간은, 분석부를 PC와 연결하여 PC상에서 계산하더라도 고속 푸리에 변환에 소요되는 시간이 수십밀리초 이하이므로 A/D변환기의 변환시간과 데이터 수집시간을 모두 포함하더라도 0.1초 이하이다. 따라서 스피커를 천천히 좌우방향으로 움직였을 때 그 운동이 그대로 음향영상시스템에 반영되어, 모니터상에 음원을 나



(a)



(b)

그림 4-2. (a)스피커를 x축 방향으로 13도, y축 방향으로 0도, 선형배열 음향렌즈의 중심축으로부터 1.7m 떨어진 위치에 놓았을 때, 배열의 각 마이크로폰에 수신된 음파신호. (점선은 실선에 대해 90도 위상지연된 시간에 수신한 음파신호이고 y축방향 신호는 표시하지 않았다.)
 (b)(a)의 데이터를 focusing하고 고속푸리에 변환한 결과. Aliasing현상에 의해 -11도 근처에도 극대값이 나타나므로 스피커의 위치를 판단할 수 없다.

내내는 것이 좌우로 이동하는 것을 관찰할 수 있었다. 해상도를 높이기 위해 배열을 구성하는 센서의 수를 증가시키면 주리어변환등에 시간이 더 소요된다. 그러나 이러한 경우에도 디지털 신호처리기(DSP)를 이용하여 여러 음원의 위치를 고속으로 판별해 낼 수 있다. 이러한 실시간 처리는 물고기와 같이 움직이는 대상을 추적하고자 할 때 중요한 요소이다.

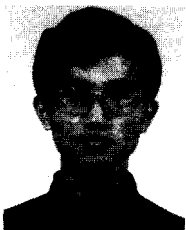
V. 결 론

선형배열 음향렌즈 2개를 T자구조로 배치하여 방향성에서 음원의 각도(β_x, β_y)를 감지해 낼 수 있었다. 31개의 마이크로폰이 분산 배치되어 있으므로 aliasing 현상이 나타나서 측정각도에 제한이 생기는 하지만, 이는 마이크로폰 사이의 간격을 줄임으로써 해결할 수 있다. 또한 여러 음원의 각도가 빠른 속도로 계산되므로 움직이는 스피커의 위치를 거의 연속적으로 추적할 수 있었다. 제작된 선형배열 음향렌즈 외에 선형배열 송신기를 제작하여 음파 송신시에 음파에 방향성을 주면, 의료용 초음파 진단기의 경우와 마찬가지로 각도 분해능이 향상되고 음파 진행 거리가 증가하여 해양원격탐사에 이용할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

1. H. F. Harmuth, Acoustic Imaging with Electronic Circuits, Academic Press, Inc., New York, 1979.
2. J. F. Havlice and J. C. Taenzer, "Medical Ultrasonic Imaging: An Overview of Principles and Instrumentation," Proc. IEEE, vol. 67, No. 4, pp. 620-638, April 1979.
3. R. D. Melen, A. Macovski, and J. Meindl, "Application of integrated electronics to ultrasonic medical instruments," Proc. IEEE, vol. 67, No. 9, pp. 1274-1285, September 1979.
4. G. Wade, Acoustic Imaging, Plenum Press, New York, 1976.
5. D. W. Baker, "Pulsed ultrasonic Doppler blood-flow sensing," IEEE Trans. Sonics Ultrason., vol. 17, No. 3, pp. 170-185, July 1970.
6. S. Haykin, Array Processing Applications to Radar, Dowden, Hutchinson & Ross, Inc., Stroudsburg, 1980.
7. G. Kino, Acoustic Waves: Devices, Images, and Analog Signal Processing, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1987.
8. National Semiconductor Databook I, II, III, 1988.

▲玄 錫 奉



1969년 9월 23일생
 1987년 3월~1991년 2월: 과학기술원 과학기술대학 물리학과(이학사)
 1991년 3월~1993년 2월: 과학기술원 물리학과(이학석사)
 1993년 3월~현재: 과학기술원 물리학과 박사과정

※주관심분야: 영상신호처리, 초음파 신호처리 소자

▲關 東 鉉



1967년 10월 7일생
 1986년 3월~1988년 2월: 오산 공전 전자공학과
 1991년 3월~1993년 2월: 대전 공대 전자공학과(공학사)
 1990년 10월~현재: 과학기술원 위촉연구원

※주관심분야: 인공위성 신호처리, 마이크로폰 트롤러 응용회로 제작

▲ 金 壽 勇



1953년 5월 9일생

1975년 2월 : 서울대 사범대 물리
교육과 졸업(이학사)

1976년 9월 ~ 1978년 8월 : 고려
대 대학원 물리학과
(이학석사)

1984년 : 콜롬비아대학 물리학과
(이학박사)

1984년 ~ 1986년 : 프린스턴대학
교 연구원

1986년 ~ 현재 : 과학기술원 물리학과 교수

※주관심분야: 신호처리(Biomedical and chaotic sig-
nal analysis).