

논문 2001-10-5-06

## 2차원 배열 수중청음기의 제작과 초음파 음장 측정의 응용

하강열\*, 김무준\*, 강갑중\*, 현병국\*\*, 채민구\*\*, 今野和彦\*\*\*

### Fabrication of Two-Dimensional Array Hydrophones and Application to Ultrasonic Field Measurement

Kang-Lyeol Ha\*, Moo-Joon Kim\*, Gab-Joong Kang\*,

Byung-Gook Hyun\*\*, Min-Ku Chae\*\* and Gazuhiko Imano\*\*\*

#### 요약

PVDF(Polyvinylidene fluoride) 압전막을 이용하여  $8 \times 8$ 의 요소를 갖는 2차원 배열 수중청음기를 설계, 제작하고, 그것을 이용하여 수 MHz ~ 수십 MHz 대역의 초음파 음장을 측정하는 방법 및 측정시스템을 구축하였다. 수중청음기의 설계에 있어서는 배면체의 종류에 따른 주파수 응답특성을 Mason 등가회로에 의해 해석하였고, 압전체 요소의 크기 및 간격, 스캐닝 스텝에 따른 음장 측정 정도를 검토하였다. 2.25MHz의 원형평면 트랜스듀서가 만드는 수중 음장을 제작한 수중청음기 및 측정시스템으로 측정한 결과, 비교적 정밀한 측정이 가능함을 알았다.

#### Abstract

Two-dimensional array hydrophones with  $8 \times 8$  elements were designed and fabricated using the PVDF(Polyvinylidene fluoride) piezoelectric film, and the method and system for ultrasonic field measurement in several MHz ~ tens of MHz band using the hydrophones was established. The characteristics of frequency response relating to the backing materials were analyzed with the Mason equivalent circuit for design, and the accuracy of ultrasonic field measurement relating to the sizes and kerfs of piezoelectric elements was discussed. Good results of the measurement of ultrasonic field formed by a circular plane transducer of 2.25MHz in water were obtained by the system with the array hydrophones.

## 1. 서론

성능이 우수한 초음파장치의 개발을 위해서는

\* 부경대학교 물리학과(Department of Physics, Pukyong National University)

\*\* 부경대학교 대학원 음향진동공학협동과정 (Interdisciplinary Program of Acoustics and Vibration Engineering, Pukyong National University)

\*\*\* 日本 秋田大學 電氣電子工學科 (Department of Electrical and Electronic Engineering, Akita University, Japan)  
<접수일자 : 2001년 5월 22일>

그 장치에 사용되는 초음파 트랜스듀서의 특성 향상이 무엇보다도 중요하다. 초음파 트랜스듀서의 특성은 전기적 특성과 음향적 특성으로 구분되는데, 음압이나 입자속도의 분포를 나타내는 음장의 해석 및 측정은 음향적 특성 파악에 있어 가장 중요한 사항 중의 하나이다. 비파괴 검사 또는 의료용 초음파 장치에 사용되는 수 MHz ~ 수십 MHz 대역의 초음파 트랜스듀서가 매질 중에 만드는 음장의 직접적인 측정에는 극소형 수중청음기(miniature hydrophone)에 의한 스캐닝 방법이 주로 사용되고 있다<sup>[1~3]</sup>. 일반적으로 극소형 수중청음기는 직경이 1mm 이하의 것을 말하며, 주로 고분자 압전막인 PVDF에 의해

만들어진다<sup>[4,5]</sup>. 그러나 극소형 수중청음기는 크기가 작아 제작이 어려울 뿐만 아니라 감도가 낮으며, 그것을 사용하여 음장 측정을 하기 위해서는 정밀한 Alignment와 많은 스텝을 이동하는 스캐닝이 필요하기 때문에 고도의 숙련 및 많은 측정시간이 요구된다. 최근 연구 개발되고 있는 2차원 배열 수중청음기는 의료용 초음파 트랜스듀서의 특성 평가, 비파괴 검사 등 다양한 방면에서의 응용 가능성을 가지고 있는데, 음장 측정에 있어서도 Alignment와 측정시간에 있어서 유리한 것으로 보고되고 있다<sup>[6]</sup>.

본 연구에서는 수 MHz ~ 수십 MHz 대역의 초음파 음장을 보다 용이하게 측정하기 위하여 PVDF 고분자 압전막을 이용한 8×8의 2차원 배열 수중청음기를 설계, 제작하고, 그 특성을 평가한 후, 그것에 의한 초음파 음장 측정시스템을 구축하였다. 수중청음기의 설계에 있어서는 배면체에 따른 주파수 응답특성을 Mason 등가회로<sup>[7]</sup>로 해석하였으며, 시스템 구축에 있어서는 압전체 요소의 크기 및 간격, 스캐닝 스텝에 따른 음장 측정방법과 측정정도를 검토하였다. 제작한 수중청음기 및 측정시스템의 음장 측정 정도는 2.25MHz의 원형평면 트랜스듀서가 Rayleigh 거리에 만드는 수중 음장을 측정하여 이론 해석치와 비교함으로써 평가하였다.

## II. 2차원 배열 수중청음기를 설계

### II-1. 배면체 종류에 따른 주파수 응답특성

PVDF의 음향 임피던스는 물과 비슷하므로 수중청음기는 그림 1(a)에서 보는 바와 같이 정합층이 없는 단순한 구조가 되며, 접착층이 매우 얇다고 가정했을 때 그 Mason 등가회로는 그림 1(b)와 같이 나타낼 수 있다<sup>[7]</sup>. 그림에서  $Z_L$ ,  $Z_b$  및  $Z_0$ 는 각각 부하인 물, 배면체 및 PVDF의 음향 특성임피던스를 나타내며,  $k$  및  $d$ 는 PVDF의 파수 및 두께,  $C_0$ 는 PVDF의 제동용량이고,  $j=\sqrt{-1}$ 이다. 또한, 권선비에 해당하는  $n$ 은,

$$n = k_t A \frac{\sqrt{Z_0 v \epsilon^s}}{d} \quad \text{----- (1)}$$

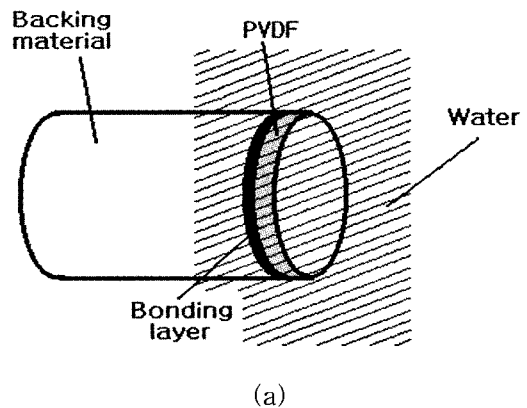
로 주어지는데, 여기서,  $k_t$ 는 전기-기계 결합계수,  $A$ 는 PVDF의 면적,  $v$ 는 PVDF의 음속,  $\epsilon^s$ 는 변형(strain) 일정일 때의 유전율이며, 모두 두께 방향에 대한 값이다.

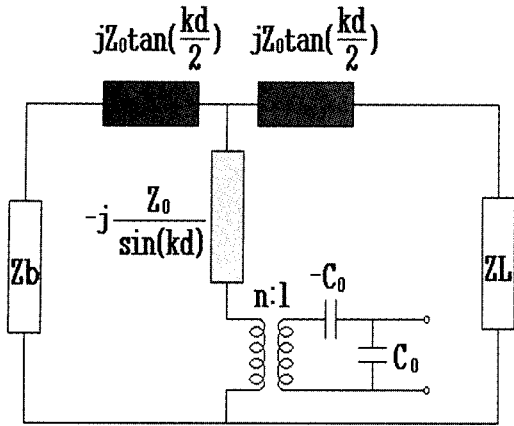
그림 1(b)의 등가회로를 임피던스행렬 형태로 표시하면 식(2)과 같이 주어진다.

$$\begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ V \end{bmatrix} = -j \begin{bmatrix} Z_0 \cot kd & Z_0 \operatorname{Cosec} kd & \frac{h}{\omega} \\ Z_0 \operatorname{Cosec} kd & Z_0 \cot kd & \frac{h}{\omega} \\ \frac{h}{\omega} & \frac{h}{\omega} & \frac{1}{\omega C_0} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ I \end{bmatrix} \quad \text{----- (2)}$$

여기서,  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $u_1$ ,  $u_2$ 는 각각  $Z_b$  및  $Z_L$ 에서의 음압 및 입자속도이며,  $V$ 와  $I$ 는 전기단의 전압 및 전류이고,  $h$ =압전정수,  $\omega$ =각주파수이다.

수중청음기의 수신 주파수특성은 식 (2)에서 단위의 임펄스 압력이  $P_2$ 로 주어졌을 때, 전기단에 나타나는 주파수별 전압을 나타내는 것으로, 표 1에 나타낸 물질상수를 갖는 PVDF 압전막과 표 2에 나타낸 몇 가지 재료를 배면체로 사용하였을 때 주파수 응답특성은 그림 2 및 표 3과 같이 나타난다. 이 결과로부터 음향 임피던스가 큰 구리(Cu)나 알루미늄(Al)의 경우 중심 주파수가 약 11MHz이며, 대역폭은 좁으나 14MHz 이하영역에서의 감도가 우수하고, 에폭시나 베크라이트의 경우는 21MHz로서 대역폭이 대단히 넓음을 알 수 있다. 따라서, 여기서는 주파수 응답특성이 상이한 구리와 베크라이트의 두 물질을 선택하여 2차원 배열 수중청음기를 제작, 그 음향특성을 비교하였다.





(b)

그림 1. PVDF 수중청음기 구조 및 Mason 등가회로. (a) PVDF 수중청음기 구조 (b) Mason 등가회로

Fig. 1. Structure of PVDF hydrophone and its Mason's equivalent circuit.(a) Structure of PVDF hydrophone (b) Mason's equivalent circuit

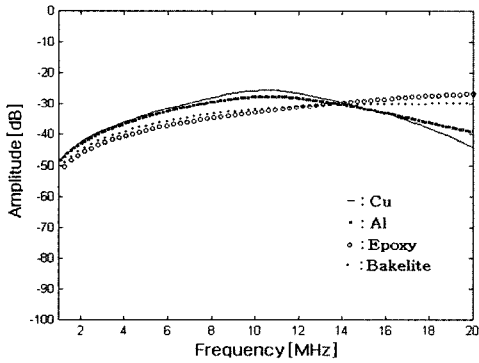


그림 2. 배면체에 따른 주파수 응답.

Fig. 2. Frequency response depend on backing materials.

표 1. PVDF 압전막의 물질상수\*.

Table 1. Physical properties of PVDF piezoelectric film\*.

Velocity( $v$ ) [m/s]	Density( $\rho$ ) [kg/m <sup>3</sup> ]	Acoustic Impedance( $Z_0$ ) [Mrayl]	Permittivity( $\epsilon^s$ ) [F/m]	Coupling Factor ( $k_t$ )	Piezoelectric Constant( $h$ ) [N/C]	Thickness( $d$ ) [ $\mu$ m ]
2200	1780	3.9	$5.58 \times 10^{-11}$	0.19	$1.86 \times 10^{-9}$	52

\* By the manufacture.

표 2. 배면체 재료의 물질상수<sup>[8]</sup>.

Table 2. Physical properties of backing materials<sup>[8]</sup>.

	Velocity [m/s]	Density [kg/m <sup>3</sup> ]	Acoustic Impedance [Mrayl]
Cu	4700	8900	42
Al	6350	2695	17.1
Epoxy	2450	1100	2.7
Bakelite	3320	1346	4.47

표 3. 배면체에 따른 중심주파수, 대역폭 및 비대역.

Table 3. Center frequency, bandwidth and fractional bandwidth depend on backing material.

	Center Frequency [MHz]	Bandwidth [MHz]	Fractional Bandwidth [%]
Cu	10.6	8.9	84.4
Al	10.9	10.8	99.3
Epoxy	21.1	21.6	102.2
Bakelite	20.9	30	143.3

### II-2. 압전요소 크기 및 배열 형태

2차원 수중청음기의 각 압전요소의 크기 및 배열의 형태를 결정하기 위해서는 먼저 측정하고자 하는 음장의 형태를 예측할 필요가 있다. 초음파 트랜스듀서가 만드는 음장의 예측은 Rayleigh 적분법<sup>[9]</sup>이나 각스펙트럼법(Angular Spectrum Method)<sup>[10,11]</sup>에 의한 해석에 의해 가능하데.

근본적으로 그 두 이론의 해석 결과는 같기 때문에 여기서는 FFT(Fast Fourier Transform)의 적용에 의해 보다 빨리 계산 결과를 얻을 수 있는 후자를 이용하였다. 각스펙트럼법에 의하면 그림 3과 같이 균질 매질 내의  $z=0$  인 단면상에 음원이 있고, 그 2차원 음장 즉, 2차원 음압의 분포가  $u_0(x_0, y_0; 0)$  일 때,  $z=z_1$  인 단면의 음장  $u_1(x_1, y_1; z_1)$  은 다음과 같이 주어진다.

$$u_1(x_1, y_1; z_1) = F^{-1}[U_0(k_x, k_y; 0)H_1(k_x, k_y; \Delta z_{01})] \quad (3)$$

여기서,  $F^{-1}[\ ]$ 는 푸리에 역변환을 나타내며,  $U_0(k_x, k_y; 0)$ 는  $u_0(x, y; 0)$ 를 푸리에 변환한 각스펙트럼이고,  $H_1(k_x, k_y; \Delta z_{01})$ 은 전달함수<sup>[2,3]</sup>.

$$h_1(x, y; \Delta z_{01}) = -\frac{j\omega\rho}{2\pi} \frac{e^{jk_w r}}{r} \quad (4)$$

를 푸리에 변환한 각스펙트럼이다. 여기서,  $k_x$ 와  $k_y$ 는  $x, y$  방향의 파수성분,  $\rho$  및  $k_w$ 는 매질의 밀도 및 파수를 각각 나타내며,  $k_w = \sqrt{k_x^2 + k_y^2 + k_z^2}$ ,  $r = \sqrt{(x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2 + \Delta z_{01}^2}$ ,  $\Delta z_{01} = z_1 - z_0$ 인 관계에 있다.

그림 4는 직경  $a=1.3mm$ , 주파수  $f=2.25MHz$ 인 원형 평면 트랜스듀서가 수중에서 피스톤 진동한다고 가정하였을 때 Rayleigh 거리에 형성되는 초음파 음장을 나타낸다. 이 음장을 유한한 크기를 갖는 수중청음기로 측정할 경우, 그 수중청음기는 면적 내에 수신되는 신호의 적분에 대응하는 출력 전압을 나타내게 된다. 따라서 원하는 정도를 갖는 음장 측정만 될 수 있다면 가능한 한 큰 면적을 갖는 수중청음기를 사용하는 것이 측정에 유리하다. 또한 스캐닝에 있어서의 스텝 간격도 가능한한 넓게 하는 것이 측정회수가 줄어들어 측정시간을 단축시킬 수 있게 된다. 따라서, 원하는 측정 정도를 고려하여, 수중청음기의 크기 및 스텝간격을 설정할 필요가 있는데, 그림 5는 수중청음기의 크기를 직경  $1mm$ 와 직경  $2mm$ 로 하였을 경우 스텝 간격에 따른 축상 음장의 계산결과이다. 그림 5의 결과로부터 수중청음기의 크기가 유한하여도 적절한 스텝 간격의 선택에 의해 거의 정확한 음장 측정이 가능함을 알 수 있다.

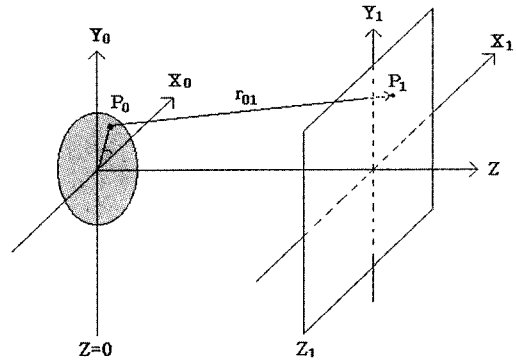


그림 3. 음장 해석을 위한 좌표계.  
Fig. 3. Coordinate system for ultrasonic field analysis.

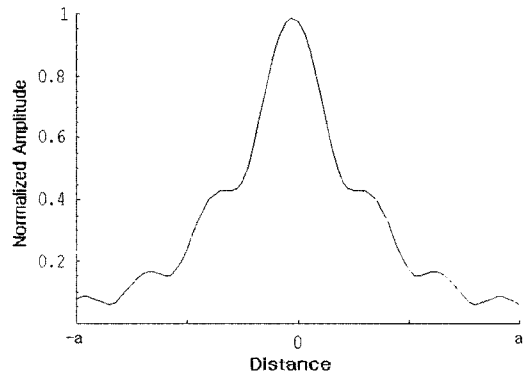
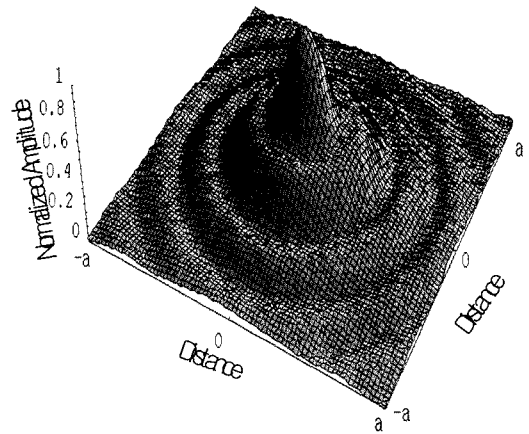
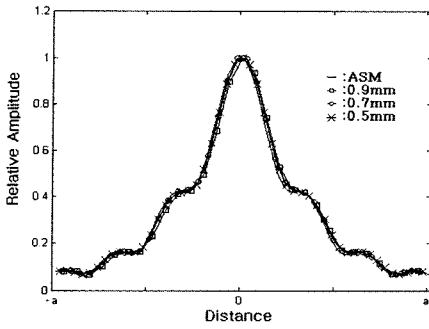
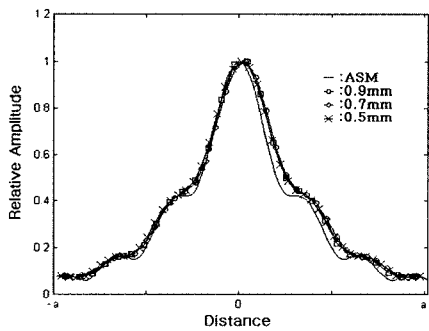


그림 4. Rayleigh 거리에서의 2차원 초음파 음장.  
Fig. 4. Two-dimensional ultrasonic field on Rayleigh distance.



(a)



(b)

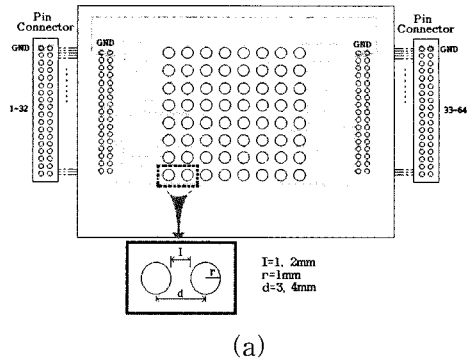
그림 5. 유한 크기의 수중청음기에 의해 측정되어 질 축상 음장의 스텝간격에 따른 변화. 실선(ASM)은 각 스펙트럼법에 의해 구한 실제 음장. (a) 소자 직경 : 1mm (b) 소자 직경 : 2mm

Fig. 5. Variation of axial fields to be measured by hydrophones with finite sizes relating to step distance. Solid lines are real fields obtained by Angular Spectrum Method (ASM). (a) element diameter : 1mm (b)element diameter : 2mm

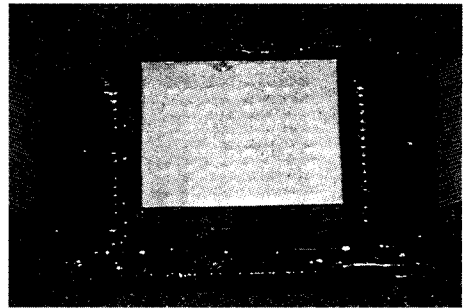
### III. 수중청음기 제작과 음장측정 시스템 구축

본 연구에서는 두 개의  $8 \times 8$  배열 PVDF 수중청음기를 제작하였는데, 압전소자 크기는 직경이  $2.0\text{mm}$ 이고, 소자 중심간의 간격은 구리 배면체의 경우는  $3.0\text{mm}$ , 베크라이트 배면체의 경우는  $4.0\text{mm}$ 로 하였다. 그림 6에 그 구조와 구리 배면체에 대한 실물 사진을 나타낸다. 그림 6에서 압전 소자가 있는 실질적인 영역은 구리 배면체의 경우  $23 \times 23\text{mm}$ , 베크라이트 배면체

의 경우  $30 \times 30\text{mm}$ 이다. 구리 배면체의 경우 두께  $15\text{mm}$ 의 베크라이트에 직경  $2.0\text{mm}$ 의 구멍을 뚫어 구리 봉을 삽입하였고, 베크라이트 배면체의 경우 한쪽 단면에 동을 코팅한 후 에칭에 의해 전극 패턴을 형성하고, 반경  $0.2\text{mm}$ 의 구멍을 뚫어 리드선을 삽입, 도전성 접착제에 의해 전극과 결합한 후, 에폭시를 얇게 도포하여 한쪽 면만 전극이 형성되어 있는 두께  $52\mu\text{m}$ 인 PVDF 압전막의 전극이 없는 단면을 압착하면서 접착시켜 제작하였다.



(a)



(b)

그림 6. 2차원 배열 PVDF 수중청음기의 구조와 실물 사진. (a) 구조도 (b) 실물 사진

Fig. 6. Geometry and photograph of the 2-D array PVDF hydrophone. (a) Geometry (b) Photograph

그림 7은 측정 시스템의 구성을 나타낸다. 송신용 트랜스듀서는 3차원 스캐너에 장착되어 있는데, 그 스캐너는 최초의 Alignment 이후,  $x, y$  방향으로 음장의 미세 변화를 측정하기 위하여 요소간의 간격 내에서 이동시키는데 사용하기 위한 것으로  $2\mu\text{m}/\text{step}$ 의 제어가 가능하다. 64입력 1출력의 멀티플렉스(multiplex)는 컴퓨터에 의한 번지 제어에 따라 특정 요소의 출력

을 수신용 증폭기로 내보내는데, 여기서는 MC14067B IC 5개를 사용하여 구성하였고, 컴퓨터와는 8255AP-5 PPI (Programable Peripheral Interface) IC를 사용하여 연결하였는데, 그 회로의 구성은 그림 8과 같다.

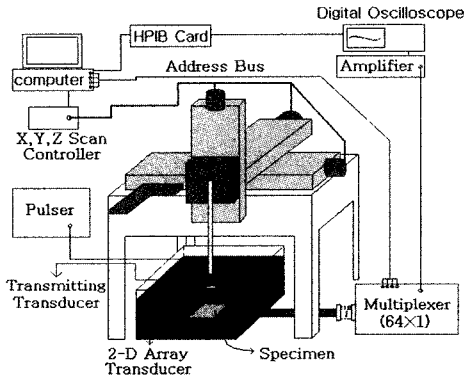


그림 7. 2차원 배열 수중청음기에 의한 음장 측정 장치도.

Fig. 7. Scheme of the ultrasonic measurement system with the 2-D array hydrophone.

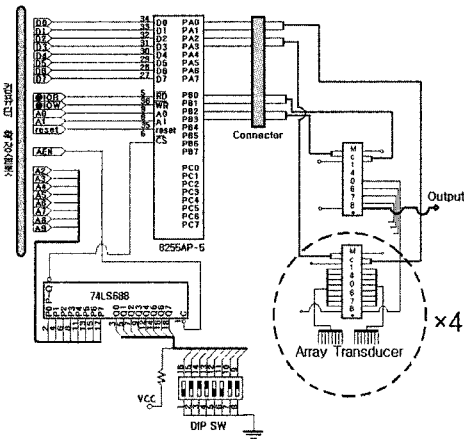


그림 8. 컴퓨터 인터페이스와 멀티플렉스의 회로도.

Fig. 8. Circuit-diagram of the computer interface and multiplex.

#### IV. 음장 측정 및 정도 고찰

음장 측정에 앞서 64개의 요소 각각에 대하여 상대적인 수신 감도의 차이를 조사해 두고,

음장 측정시에는 이에 대한 교정을 해야한다. 그림 9는 제작한 2개의 수중청음기를 2.25MHz 송신 트랜스듀서로부터 동일한 지점에 위치 시켰을 때 동일 배열 요소가 수신한 파형의 예를 나타내며, 그림 10은 각 요소에서 수신되는 신호의 크기를 비교한 것이다. 그림 9의 예와 같이 구리 배면체가 베크라이트에 비해 평균 약 7dB 큰 출력을 나타내었는데, 이것은 그림 2의 이론 계산치에 의한 값보다 약 2dB 더 높으며, 그림 10으로부터 각 요소간에는 최대 약 ±5dB의 수신 감도 차이가 있었는데, 그 원인은 접착층의 영향이 큰 것으로 사료된다.

음장 측정에 있어서는 먼저 송신용 트랜스듀서를 2차원 배열 수중청음기의 중앙에 오도록 배치하여 각 소자로부터 수신신호를 얻은 다음, 얻고자하는 데이터의 공간샘플링 간격과 소자 중심간의 간격  $d$ 를 고려하여 이동 회수  $N$ 을 결정하고,  $\Delta d = d/N$ 를 스텝 간격으로 하여 송신 트랜스듀서를  $x$  및  $y$  방향으로  $N$ 스텝 이동시키면서 압전소자가 있는 전체 영역에서 등간격으로 수신신호를 얻을 수 있도록 하였다. 본 실험에서는  $N=5$ 로 하였는데, 이에 따라 스텝 간격은 구리 배면체의 경우  $\Delta d=0.6mm$ , 베크라이트 배면체의 경우  $\Delta d=0.8mm$ 가 되며, 스텝 수는  $(5 \times 5 - 1)$ 회이고, 전체 수신 데이터의 수는  $40 \times 40$ 개가 된다. 이것은 극소형 수중청음기의 1599스텝이동에 해당하는 것으로 측정시간이 대폭 단축될 수 있다.

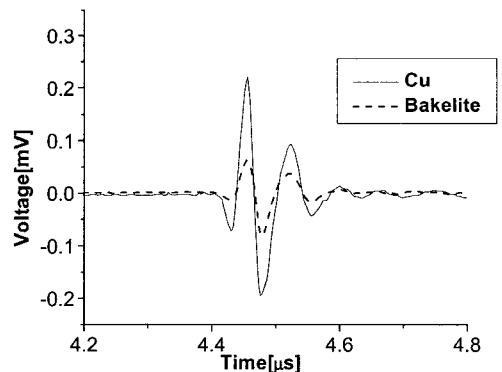


그림 9. 압전 소자에서 수신된 전형적인 파형.

Fig. 9. Typical waveforms of received signals by piezoelectric elements.

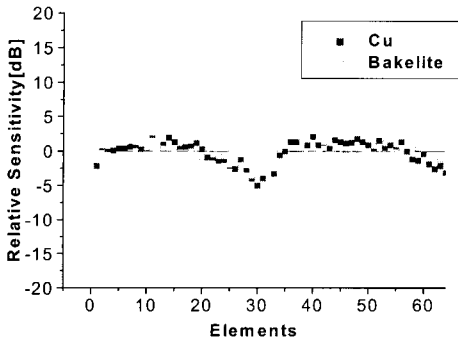
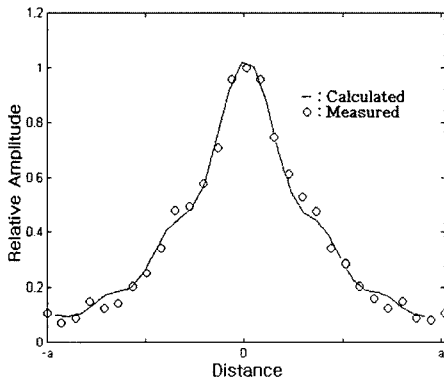
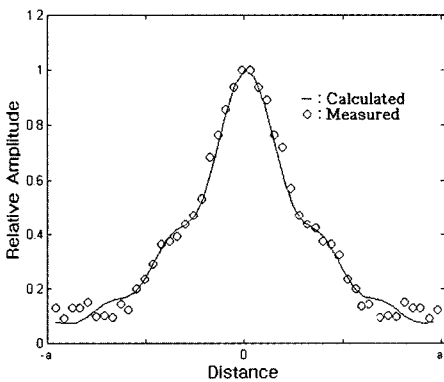


그림 10. 압전 소자간의 수신 감도 차이.  
 Fig. 10. Differences of receiving sensitivity for piezoelectric elements.



(a)



(b)

그림 11. 측정 및 계산된 중심축상 음장  
 (a) 베크라이트 배면체 (b) 구리 배면체  
 Fig. 11. Measured and calculated axial ultrasonic fields on center line.  
 (a) Bakelite backing (b) Cu backing

그림 11은 제작한 각 수중청음기에 의해 측정된 중심 축상 음장을 계산치와 비교하여 나타낸 것이다. 베크라이트 배면체 경우 거의 계산치와 일치하는 음장이 측정되었음을 알 수 있고, 구리 배면체의 경우 다소 오차가 있기는 하나 상대적인 음장의 분포 파악에는 충분한 정도를 가짐을 알 수 있다. 이 결과로부터, 유한 크기를 가지는 2차원 배열 수중청음기를 사용한 적은 횟수의 스캐닝에 의해서도 비교적 정밀한 초음파 음장 측정이 가능함을 알 수 있다.

## VI. 결 론

본 연구에서는 2차원 배열 수중청음기에 대한 정도 고찰과 음장측정 방법 및 측정 가능성을 검토하였다. PVDF 압전막을 이용한  $8 \times 8$ 의 요소를 갖는 2차원 배열 수중청음기를 설계, 제작하고, 그것을 이용하여 수 MHz ~ 수십 MHz 대역의 초음파 음장을 측정하는 방법 및 측정시스템을 구축하였다. 배면체의 종류에 따른 주파수 응답 특성에 관한 Mason 등가회로 해석을 거쳐, 구리와 베크라이트를 배면체로 하는 두개의 수중청음기를 제작하고, 그 초음파 수신 특성을 파악한 후, 2.25MHz의 원형평면 트랜스듀서가 만드는 수중 음장 측정에 적용하였다. 그 결과, 제작한 수중청음기 및 측정시스템에 의해 비교적 정밀한 초음파 음장 측정이 가능하며, 종래의 극소형 수중청음기에 의한 스캐닝 방법보다 측정 시간을 크게 단축시킬 수 있음을 알았다.

## 감사의 글

이 논문은 1998년 한국학술진흥재단의 학술연구비(KRF 1998-001-E00632)에 의하여 지원되었음.

## 참고 문헌

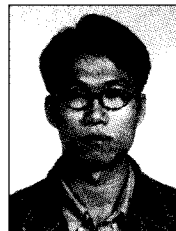
[1] S. M. Jones, P. L. Carson, R. A. Banjavic and C.R. Meyer, "Simplified Technique for the Calibration and

- Use of a Miniature Hydrophone in Intensity Measurements of Pulsed Ultrasonic Fields," *J. Acous. Soc. Am.*, vol. 70, pp.1220-1228, 1981.
- [2] R. C. Wagg, J. A. Campbell, J. Ridder and P. R. Mesdag, "Cross-Sectional Measurements and Extrapolations of Ultrasonic Fields," *IEEE Trans. on Son. and Ultrason.*, vol. Su-32, pp.26-35, 1985.
- [3] K. L. Ha, M. J. Kim and B. G. Hyun, "Estimation and Measurement of Forward Propagated Ultrasonic Fields in Layered Fluid Media," *J. Acous. Soc. Kor.*, vol. 19(2E), pp.14-19, 2000.
- [4] P.A. Lewin, "Miniature Piezoelectric Polymer Ultrasonic Hydrophone Probes," *Ultrasonics*, vol. 19, pp.213-216, 1981.
- [5] G. R. Harris, R. C. Preston and A.S. DeReggi, "The Impact of Piezoelectric PVDF on Medical Ultrasound Exposure Measurements, Standards, and Regulations," *IEEE Trans. on UFFC*, vol. 47, pp.1321-1335, 2000.
- [6] A. Hurrell and F. Duck, "A Two-Dimensional Hydrophone Array Using Piezo-Electric PVDF," *IEEE Trans. on UFFC*, vol. 47, pp.1345-1353, 2000.
- [7] V.M. Ristic, *Principle of Acoustic Devices*, John Wiley & Sons, Toronto, pp.117-159, 1983.
- [8] 實吉純一, 菊池喜充, 能本乙彦, *超音波技術便覽*, 日刊工業新聞社, 東京, pp.1324-1342, 1989.
- [9] E. G. Williams and J. D. Maynard, "Numerical Evaluation of the Rayleigh Integral for Planar Radiators Using FFT," *J. Acous. Soc. Am.*, vol. 72, pp.2020-2030, 1982.
- [10] P.T. Christopher and K.J. Parker, "New Approaches to the Linear Propagation of Acoustic Fields," *J. Acous. Soc. Am.*, vol. 90, pp.507-521, 1991.
- [11] J. A. Jensen and N.B. Svendsen, "Calculation of Pressure Fields from Arbitrarily Shaped, Apodized, and Excited Ultrasound Transducers," *IEEE Trans. on UFFC*, vol. 39, pp.262-267, 1992.

著 者 紹 介

하 강 열

1978년 부경대학교(구 부산수산대학) 어업학과 졸업(수산학사)  
 1982년 부경대학교 대학원 수산 물리학과 졸업(수산학석사)  
 1990년 일본 도오후쿠(東北)대학 대학원 공학 연구과 수료(공학박사)  
 1991년~현재 부경대학교 물리학과 전임강사, 조교수, 부교수  
 주관심분야 : 초음파 트랜스듀서의 제작 및 응용, 초음파 음장 측정 및 해석



현 병 국

1999년 부경대학교 물리학과 졸업(학사)  
 1999년~현재 동 대학원 음향진동공학과 석사과정  
 주관심분야 : 극소형 수중청음기 제작 및 초음파 음장 측정 및 해석

정 및 해석



**김 무 준**

1985년 부경대학교(구 부산수산대학) 응용물리학과 졸업(이학사)

1990년 부경대학교 대학원 응용물리학과 졸업(이학석사)

1994년 일본 도오후쿠(東北)

대학 대학원 공학연구과 수료(공학박사)

1994년~현재 부경대학교 물리학과 전임강사, 조교수, 부교수

주관심분야 : 압전 진동자의 특성해석 및 초음파 트랜스듀서의 설계·제작

**강 갑 중**

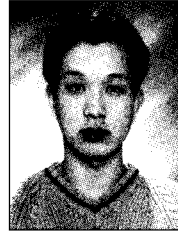
1963년 경북대학교 사범대학 물리학과 졸업(이학사)

1982년 부산대학교 대학원 물리학과(이학석사)

1989년 영남대학교 대학원 물리학과(이학박사)

현재 부경대학교 물리학과 교수

주관심분야 : MOS소자의 방사선에 의한 퇴화 원인 규명 및 방사선 영향 저감기법 연구

**채 민 구**

2001년 부경대학교 물리학과 졸업(학사)

2001년~현재 동 대학원 음향진동공학과 석사과정

주관심분야 : 초음파 음장 측정 및 측정시스템 인터페이스

구축 등

**今野 和彦**

1979년 일본 아카타(秋田)대학 광산학부 졸업

1993년 일본 도오후쿠(東北)대학 대학원 공학연구과 수료(공학박사)

1979년~현재 일본 아카타(秋田)대학 조수, 강사, 조교수, 교수

주관심분야 : 압전 디바이스를 이용한 초음파의 발생·검출 및 신호처리