

## 3차원 수중 물체인식 실험에 의한 다공질 압전 초음파 센서의 성능평가

### Efficiency Estimation of Ultrasonic Sensor Fabricated with Porous Piezoelectric Resonator by Experiment of 3-D Underwater Object Recognition

조현철<sup>1)</sup> 경북전문대학 전자과  
이수호<sup>2)</sup> 영월공업전문대학 전기과  
박정학<sup>3)</sup> 특허청 심사관  
사공건<sup>4)</sup> 동아대학교 전기공학과

1) Hyun-Chul Cho Dept. of Electronic Eng., Kyungpook College  
2) Su-Ho Lee Dept. of Electrical Eng., Yongwool Tec. Jun. College  
3) Jung-Hak Park Office of Patent  
4) Geon Sa-Gong Dept. of Electrical Eng. Dong-A University

#### Abstract

In this study, Efficiency estimation of ultrasonic sensor fabricated with porous piezoelectric resonator by experiment of 3-D underwater object recognition are presented. The sensor was satisfied with requirement of ultrasonic sensor. The recognition rates for the fixed objects and the translation-rotation objects are 95.3 and 92.7[%], respectively using porous piezoelectric ultrasonic sensor and SOFM neural network. According to the experimental results, It is believed that the self-made ultrasonic sensor can be applied as underwater ultrasonic sensor.

#### 1. 서 론

3차원 물체인식에는 CCD카메라, 레이더 및 초음파 센서를 이용하는 방법이 제안되고 있으나 사용환경에 따라 능률은 달라진다. 일반적으로 수중은 혼탁하고 심해에서는 햇빛도 투과되지 않는 암흑상태이기 때문에 CCD카메라 및 레이더 장치로는 수중의 물체를 탐지하지 못한다. 그러나 음파는 물속에서도 통과되기 때문에 초음파 센서는 수중의 물체인식 등 수중 음파시스템에 널리 사용되고 있다.<sup>1)</sup>

이러한 수중의 인식시스템에 사용되는 초음파 센서의 재료로는 PZT 세라믹스가 널리 사용되고 있다. 그러나 PZT 단일상만으로 제작된 초음파 센서는 단일상이 갖는 한계성 때문에 수중에서는 성능지수가 낮아진다. 또한 밀도가 높아 수중 음향 임피던스 정합(matching)이 어렵기 때문에 수중에 적합한 저밀도이면서도 압전성이 우수한 새로운 소재의 초음파 센서 개발이 연구되고 있다. 그러나 대부

분의 연구는 주로 소자 특성개선에 관한 것이며<sup>2)</sup>, 수중 물체인식 등 실질적인 응용분야에 적용하여 센서소자의 특성을 검토하는 연구는 거의 전무한 실정이다.

본 연구에서는 다공질 압전소자를 이용하여 초음파 센서(이하 다공질 압전 초음파 센서라 칭한다)<sup>3)</sup>를 자체 제작하고, 이를 다양한 수중 물체인식 실험에 적용하여 수중용 초음파 센서로서의 성능을 평가하였다.

#### 2. 다공질 압전 초음파 센서 제작

##### 2.1 초음파 센서 제작

PbO, ZrO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>를 출발원료로 사용하여 상조성계(MPB)를 갖는 PZT[Pb(Zr<sub>0.52</sub>Ti<sub>0.48</sub>)O<sub>3</sub>] 분말을 용융염합성법으로 합성하였다. 다공질 PZT 세라믹스의 기공 형성을 위해 플라스틱 구체로서 74~88( $\mu$ m)

의 크기를 갖는 PVA를 사용하였다. PZT와 PVA 중량비를 92.5 : 7.5(wt.%)로 건식 혼합하여 20,000 (psi)로 등압 성형하고, 1,150(°C)에서 1시간 소결하여 다공질 압전 PZT시편을 제조하였다.<sup>3)</sup>

제조된 다공질 PZT 세라믹스를 진동자로 사용하여 수중 초음파 센서용 탐촉자를 제작하였다. 이 탐촉자는 음향임피던스가 비교적 큰 동파이프를 사용하며, 내경은 15[mm]이다. 그리고 탐촉자의 한쪽은 진동자를 고정하고, 다른 한쪽은 BNC 컨넥터를 부착하였다. 진동자 주위는 각종 초음파 특성을 조사할 수 있도록 실리콘 고무로 밀폐시켰다. 이때 진동자의 시효(aging)발생을 감소시키기 위하여 (+)전극을 안쪽으로 향하게 하고, 신호선(signal line)은 은선(silver wire)을 사용하였다.

## 2.2 초음파 센서의 특성

표 1은 PZT와 PVA의 중량비 92.5 : 7.5(wt.%)로 제작한 다공질 압전 초음파 센서의 제특성을 나타낸다. 본 연구에서 제작한 다공질 압전 초음파 센서는 수중 초음파 센서의 요구조건<sup>4)</sup>을 비교적 잘 만족하고 있다.

표 1. 다공질 압전소자와 초음파 센서의 제특성  
Table 1. Properties of porous piezoelectric resonator and ultrasonic sensor

특 성	다공질 PZT
밀 도 [ $g/cm^3$ ]	6.6
압전정수 $d_{33}$ [ $\times 10^{-12}$ C/N]	350
기계적 품질계수 $Q_m$	5.8
두께방향 결합계수 $K_t$	0.57
탄성컴플라이언스 $S_{33}^D$ [ $\times 10^{-12}$ m <sup>2</sup> /N]	22.3
수중 음향임피던스 [Mray]	17.8
성능지수 $d_h \cdot g_h$ [ $\times 10^{-13}$ m <sup>2</sup> /N]	2,242

## 3. 3차원 수중 물체인식 실험

### 3.1 수중의 고정물체

#### 3.1.1 SOFM 신경회로망

다공질 압전 초음파 센서에 의해 추출된 수중의 3차원 물체정보들을 분류하여 수중 물체를 인식하기 위해 자율학습계열의 SOFM(Self-Organizing Feature Map)신경회로망을 이용한다.

SOFM 신경회로망 다음과 같은 학습알고리즘을

가진다.<sup>5)</sup>

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) + \alpha(t) \cdot N_j(t) \cdot [x_i(t) - w_{ij}(t)] \quad (1)$$

$$\alpha(t) = 0.9 \left( 1 - \frac{t}{\text{Number of Iterations}} \right) \quad (2)$$

여기서  $w_{ij}(t)$ 는 시간  $t$ 에서 입력뉴런  $i$ 와 출력뉴런  $j$ 사이의 연결강도벡터,  $x_i(t)$ 는 시간  $t$ 에서의 입력벡터,  $N_j(t)$ 는 근접상호작용함수,  $\alpha(t)$ 는 학습률을 나타낸다.

### 3.1.2 실험방법 및 결과

표 2는 3차원 수중 물체인식을 위한 실험장치를 나타내며, 표 3은 수중 물체인식 실험에 사용된 물체의 종류와 크기를 나타낸다.

표 2. 실험장치

Table 2. Experimental system

실험장치명	모델명	회사명
수 조	upk-T	Physical Acoustic
Pulse Receiver	1010PR	ACCU-TRONInc
Software	Testpro System	Infomatics Inc.

표 3. 실험물체의 종류와 크기

Table 3. Kinds and size of experimental objects

종류	재 질	크 기
정사각형물체	S45C	W5×L5×H2 [cm]
직사각형물체	S45C	W4×L5×H2 [cm]
원통형물체	S45C	D5×H2 [cm]
삼각형물체	S45C	L5×H2 [cm]

자체 제작된 다공질 압전 초음파 센서의 중심을 기준으로 먼저 y축으로 1[cm]간격으로 16 step 이동시킨 후 x축으로 1[cm] 이동시키는 동작을 반복하여 수조내의 물체의 거리정보를 픽셀당 x축으로 1[cm], y축으로 1[cm]의 크기를 갖는 16×16픽셀로 획득하였다.

정사각형 물체 40개, 직사각형 물체 40개, 원통형 물체 40개, 삼각형 물체 40개의 데이터인 총 160개의 원시데이터를 추출하여 일정한 픽셀로 전처리하였다. 이 중에서 96개는 SOFM 신경회로망의 학습(training) 데이터로 이용하였고, 나머지 64개는 시험(testing)데이터로 사용하였다.

SOFM 신경회로망은 출력 Neuron space 크기를  $10 \times 10$ , 입력벡터  $V$ 는  $256(16 \times 16)$ 차원으로 구성하였다. 그리고 식 (1)~(2)의 학습알고리즘을 이용하여 10회 반복학습 시켰는데, 표 4는 이의 결과를 나타낸다.

표 4. 10회 반복학습 후의 수중 물체인식률  
Table 4. Underwater object recognition rates after 10 iterations.

물체 \ 인식률	학습데이터		시험데이터	
	데이터수	인식률	데이터수	인식률
정사각형 물체	24	100%	16	93.75%
직사각형 물체	24	100%	16	100%
원통형 물체	24	100%	16	93.75%
삼각형 물체	24	100%	16	93.75%

표 4에서 보듯이 전체적인 수중 물체인식률은 학습데이터인 경우에는 100%, 시험데이터는 95.3%를 나타내었다.

### 3.2 수중의 이동 및 회전된 물체

#### 3.2.1 불변모멘트 벡터

수중의 물체이동 및 회전에 관계없이 동일물체로 인식하기 위해 컴퓨터 비전기법의 불변모멘트 벡터를 이용한다. 이는 물체의 이동 및 회전에 불변하는 물체의 특징점을 추출하는 기법으로서, M.K. Hu<sup>6)</sup>는 다음과 같이 7가지의 물체이동 및 회전에 불변하는 함수를 정의한다.

$$\psi_1 = \eta_{20} + \eta_{02} \quad (3)$$

$$\psi_2 = (\eta_{20} - \eta_{02})^2 + 4\eta_{11}^2 \quad (4)$$

$$\psi_3 = (\eta_{30} - 3\eta_{12})^2 + (3\eta_{21} - \eta_{03})^2 \quad (5)$$

$$\psi_4 = (\eta_{30} + \eta_{12})^2 + (\eta_{21} + \eta_{03})^2 \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \psi_5 = & (\eta_{30} - 3\eta_{12}) \cdot (\eta_{30} + \eta_{12}) \\ & \cdot [(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] \\ & + (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{21} + \eta_{03}) \\ & \cdot [3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \psi_6 = & (\eta_{20} - \eta_{02}) \cdot [(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - \\ & (\eta_{21} + \eta_{03})^2] + 4\eta_{11}(\eta_{30} + \eta_{12}) \\ & \cdot (\eta_{21} + \eta_{03}) \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \psi_7 = & 3(\eta_{21} - \eta_{30}) \cdot (\eta_{30} + \eta_{12}) \cdot \\ & [(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] + \\ & (3\eta_{21} - \eta_{30}) \cdot (\eta_{21} + \eta_{03}) \\ & \cdot [3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] \end{aligned} \quad (9)$$

#### 3.2.2 실험방법 및 결과

수중의 물체이동 및 회전에 관계없이 동일물체로 인식하기 위하여 전처리된 물체정보와 불변모멘트 기법을 이용하여 물체의 이동 및 회전에 불변하는 물체의 특징점이 되는 불변모멘트 벡터를 추출하였다. 이때 수중 물체이동 및 회전 패턴을 위하여 각 실험물체를 중심점을 기준으로 하여 상, 하, 좌, 우 4[cm] 이동 및  $45^\circ$ 회전시켰다. 물체당 6개의 변위패턴과 패턴당 10개의 데이터로 총 24개의 패턴에 대한 240개의 3차원 수중 물체정보를 다공질 압전 초음파 센서에 의해 획득하였고, 이를 이용하여 물체의 이동 및 회전에 불변하는 물체의 특징점이 되는 불변모멘트 벡터를 추출하였다. 그리고 추출된 이 불변모멘트 벡터를 SOFM 신경회로망에 입력·학습시켜 수중의 물체를 인식하였다.

표 5는 정사각형 물체의 위치 및 회전에 따른 불변모멘트 벡터  $\psi_1 \sim \psi_7$ 의 값을 나타낸다.

표 5. 수중의 정사각형에 대한 불변모멘트벡터  
Table 5. Invariant moment vectors for square block in water

불변 모멘트 벡터	원점	좌 4cm 이동	우 4cm 이동	상 4cm 이동	하 4cm 이동	45° 회전
φ1	0.164554	0.166305	0.164358	0.163771	0.163830	0.16383
φ2	0.000012	0.000003	0.000042	0.0	0.000050	0.00005
φ3	0.000005	0.000001	0.000017	0.000010	0.0	0.0
φ4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
φ5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
φ6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
φ7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

표 6은 각 물체에 대한 불변모멘트 벡터를 SOFM 신경회로망에 입력하고 30회 반복학습시킨 후 수중의 각 실험물체에 대한 인식률을 나타낸 것이다.

표 6. SOFM 신경회로망의 30회 반복학습 후 각 수중 물체의 인식률

Table 6. Underwater object recognition rate after 30 iterations of SOFM neural network

인식률 물체	학습데이터		시험데이터	
	데이터수	인식률	데이터수	인식률
정사각형물체	36	97.2%	24	91.6%
직사각형물체	36	100%	24	95.8%
원통형 물체	36	97.2%	24	91.6%
삼각형물체	36	97.2%	24	91.6%

전체적인 수중 물체인식률은 학습데이터인 경우에는 97.91[%], 시험데이터는 92.7[%]로서 수중 물체의 이동 및 회전에 관계없이 동일물체로 인식하는 높은 인식률을 보였다

#### 4. 결론

자체 제작한 다공질 압전 초음파 센서를 이용한 다양한 3차원 수중 물체인식 실험에서 수중의 고정 물체와 이동, 회전된 물체에 대한 인식률은 시험데이터의 경우 각각 95.3[%], 92.7[%]로서 비교적 높

은 인식률을 나타내었다. 이는 자체 제작된 다공질 압전 초음파 센서가 표 1에서 보듯이 수중용 초음파 트랜스듀서로서의 요구조건을 비교적 잘 만족함으로써 수중 거리검출 능력이 우수하였기 때문으로 생각된다. 즉 다공질 PZT 소자는 단일상 PZT에 비해 밀도가 낮아졌고, 기계적 품질계수  $Q_m$ 이 작아져 음파의 송·수신훈성이 향상되었다. 또한 초음파 센서의 성능을 가늠하는 성능지수  $dh \cdot gh$  값이 커져 수중 거리검출 능력이 향상되었기 때문으로 생각된다. 따라서 본 연구에서 자체 제작된 다공질 압전 초음파 센서는 수중용 초음파 센서로서의 응용 가능성이 클 것으로 기대된다.

국방과학 등 여러 분야에서 수중용 초음파 센서 개발에 대한 중요성은 날로 증가하기 때문에 새로운 또 다른 소자들을 이용한 초음파 센서 개발에 대한 연구가 계속 진행되어야 한다.

#### 참 고 문 헌

1. J.L. Sutton, "Underwater Acoustic Imaging", Proceedings of the IEEE. Vol. 67, No. 4, pp. 229~241, April 1979.
2. 조현철, 박정학, 사공건, "다공질 압전소자로 제작한 초음파 트랜스듀서와 신경회로망을 이용한 3차원 수중 물체복원", 한국전기전자재료학회 논문지, Vol. 9, No. 8, pp. 825~830, 1996.
3. 박정학, 이수호, 사공건, 배진호, "수중청음기 응용을 위한 다공질 PZT 세라믹스의 압전특성", 대한전기학회논문지, Vol. 45, No. 4, pp. 558~561, 1996.
4. S.Y. Lynn and R.E. Newnham and K.A. Killer and K. Rittenmyer and A. Safari and W.A. Schulze, "Ferroelectric Composites for Hydrophone", Ferroel., Vol. 38, pp. 955~958. 1982.
5. 조현철, 이기성, 사공건, "다공질 압전소자로 제작한 초음파 트랜스듀서와 신경회로망을 이용한 3차원 수중 물체인식", 대한전기학회 논문지, Vol. 46, No. 6, pp. 936~940, 1997.
6. M.K. Hu, "Visual Pattern Recognition by Moment Invariants", IRE Trans. Information Theory, Vol.8, pp. 179-187, Feb. 1962.