

다공질 압전 초음파 트랜스듀서를 이용한

3차원 수중 물체인식

3-D Underwater Object Recognition Using Ultrasonic

Transducer Fabricated with Porous Piezoelectric Resonator

조 현철
이 수호
박 정학
사공 건

경북전문대학 전자과,
영월공업전문대학 전기과
특허청 연구원
동아대학교 전기공학과

Hyun-Chul, Cho
Su-Ho, Lee
Jung-Hak, Park
Geon Sa-Gong

Dept. of Electronic Eng., Kyung Pook Jun. Coll.
Dept. of Electrical Eng., Yong Wol Tec. Jun. Coll.
Office of Patent
Dept. of Electrical Eng., Dong-A Univ.

Abstract

In this study, characteristics of ultrasonic transducer fabricated with porous piezoelectric resonator are investigated, 3-D underwater object recognition using the self-made ultrasonic transducer and SOFM(Self-Organizing Feature Map) neural network are presented.

The self-made transducer was satisfied the required condition of ultrasonic transducer in water, and the recognition rates for the training data and the testing data were 100 and 95.3% respectively.

The experimental results have shown that the ultrasonic transducer fabricated with porous piezoelectric resonator could be applied for sonar system.

1. 서 론

3차원 물체인식에는 카메라 비전시스템과 더불어 초음파 트랜스듀서의 음파시스템 등 여러 방법이 제안되고 있으나 사용환경에 따라 능률은 달라진다.

카메라 비전시스템은 빛의 영향으로 사용환경에 제한을 받으며, 투명물체의 인식은 어렵다. 특히 물속은 일반적으로 혼탁하며 해변 근처에는 혼탁도가 심하여 광

학적 비전시스템의 시야는 1~6m로 제한되고, 수중의 염분은 빛의 에너지를 심하게 감소시켜 먼거리의 측정을 어렵게 한다.¹⁾

수중음파 시스템의 초음파 트랜스듀서는 밀도변화에 따른 음향임피던스의 차에 의해 반사율이 결정되는 음파의 비행시간을 이용하여 물체의 형상에 대한 정보를 획득하므로 검출물체의 제한이 없으며 빛의 영향을 받지 않아 카메라의 사용이 적합하지 못한 환경에서도 물체인식이 가능하다. 또한 해수에서는 염분에 의한 음파에너지의 감쇠가 적어 먼거리의 물체정보 획득이 가능하고, 데이터 처리가 간단하여 수중음파 영상처리, 깊이측정 및 어군탐지 등에 널리 사용되고 있다.

일반적으로 초음파 트랜스듀서 재료로는 높은 압전정수를 가진 PZT가 가장 널리 사용되고 있다. 그러나 PZT 단일상(single phase)만으로 제작된 초음파 트랜스듀서가 수중에 사용될 경우 단일상 소자의 큰 유전율로 인하여 성능지수가 작으며, 밀도가 높아 수중 음향임피던스 정합(matching)이 어렵기 때문에 낮은 밀도, 높은 압전성을 가진 초음파 트랜스듀서의 개발에 대한 연구가 진행되고 있다. 그러나 대부분의 연구는 주로 소자의 특성개선에 관한 것이며, 실질적용인 수중 물체인식 적용에 대한 연구는 거의 전무한 실정이다.

본 연구에서는 용융융합성법으로 제조한 PZT 분말과 플라스틱 구체로서 PVA를 사용하여 BURPS법²⁾에 의해 다공질 압전 초음파 트랜스듀서를 자체 제작한 후 이의 제특성을 수중용 트랜스듀서로서 요구되는 조건과 비교하였고, 이를 신경회로망과 연계된 3차원 수중 물체인식실험에 사용해 봄으로써 수중용 초음파 트랜스듀서로서의 응용 가능성을 검토하였다.

2. SOFM 신경회로망

SOFM 신경회로망은 자율학습의 대표적인 신경회로망으로서 각 뉴런이 다른 뉴런들 사이에서 자기 조직에 의한 유클리드 거리에 따른 조직적인 지도를 형성하는 학습알고리즘을 가지는데, 이는 다음과 같다.³⁾

$$\omega_r(t+1) = \omega_r(t) + \alpha(t)h_{rs}(t)(V(t) - \omega_r(t)) \quad (1)$$

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

여기서 $\omega_r(t)$ 는 시간 t 에서 r 번째 weight 벡터, $\alpha(t)$ 는 학습계수, $h_{rs}(t)$ 는 근접상호작용함수, $V(t)$ 는 시간 t 에서의 입력 벡터를 나타낸다.

SOFM 신경회로망은 입력물체들에 대한 3차원 윤곽 특징을 추출하여 물체입력의 개수만큼 분류한다. 그림 1에서 보는바와 같이 출력노드인 Neuron space A는 $N \times N$ 정방형으로, 입력벡터는 V 차원으로 구성한다.

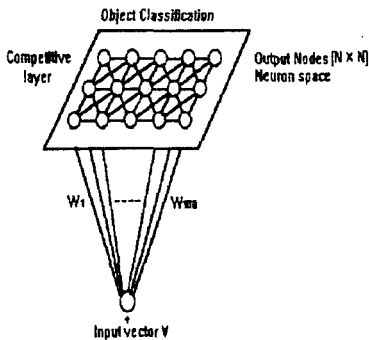


그림 1. SOFM 신경회로망
Fig. 1. SOFM neural network

3. 실험방법 및 측정

3.1 다공질 PZT의 제조

초음파 트랜스듀서에 사용될 다공질 압전 세라믹 PZT를 제조하기 위해 PbO, ZrO₂, TiO₂를 출발원료로 하여 상경계(MPB)조성을 가진 PZT[Pb(Zr_{0.52}Ti_{0.48})O₃] 분말을 용융융합성법으로 합성하였다. 다공질 PZT 세라믹스의 기공 형성을 위해 플라스틱 구체로서 74~88(μ 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($^{\circ}$ C)에서 1시간 소결하여 다공질 압전 PZT시편을 제조하였다.⁴⁾

압전계수 d_{33} 는 Berlincourt Piezo d_{33} -meter(Model CPDT 3300, Channel Products, Inc., OH 44022)로 측정하였고, 수중 압전전압계수 g_h 는 pseudo dynamic g_h 측정법에 의해 구하였다.

또한 음향임피던스는 LF 임피던스 분석기(HP4192A)를 사용하여 측정된 공진주파수 및 공진 임피던스에 의해 계산하였고, 탄성컴플라이언스는 EMAS의 규정에 의해 구하였다.

3.2 초음파 트랜스듀서의 제작

제조된 다공질 PZT 세라믹스를 진동자로 사용하여 수중 초음파 트랜스듀서용 탐촉자를 제작하였다. 이 탐촉자는 음향임피던스가 비교적 큰 동파이프를 사용하였으며, 내경은 15[mm]이다. 그리고 탐촉자의 한쪽은 진동자를 고정하였고, 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 하였고, 신호선(signal line)은 은선(silver wire)을 사용하였다.

3.3 3차원 수중 물체인식실험

3차원 물체인식을 위한 실험장치는 초음파 트랜스듀서 분석용 소프트웨어 Testpro System(Transducer Characterization System, Infomatics Inc, silver Spring, MD), Pulse Receiver(1010PR, ACCU-TRON Inc.) 및 수조(upk-T, Physical Acoustics Co.)를 사용하였다. 그림 2는 실험장치 구성도를 나타내며, 표 1은 물체인식실험에 사용된 물체의 종류와 크기를 나타낸다.

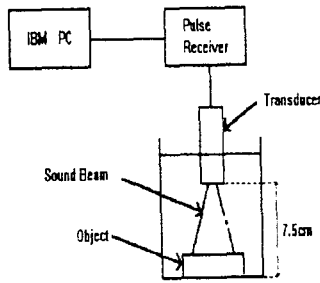


그림 2. 실험장치 구성도

Fig. 4. Block diagram of experimental system

자체 제작된 다공질 초음파 트랜스듀서의 중심을 기준으로 먼저 y축으로 1cm간격으로 16 step 이동 시킨 후 x축으로 1cm 이동시키는 동작을 반복하여 수조내의 물체의 거리정보를 픽셀당 x축으로 1cm인 16×16픽셀로 획득하였다.

본 실험의 x, y 좌표 값은 초음파 트랜스듀서 중심의 고정된 값이므로 초음파 트랜스듀서는 직진성만을 가진다고 가정하여 측정 범위에서 벗어난 수중 물체의 거리 정보들은 제거하였다.

물체의 거리정보는 초음파 트랜스듀서에 가해진 임펄스 전기신호에 의한 음파의 비행시간을 검출하여 계산하였으며, 거리정보 검출방법으로는 one-pulse echo mode를 이용하였다.

실험장치로부터 획득한 원시데이터 16×16 픽셀의 3차원 물체정보는 실험환경의 온도변화 등에 따른 noise를 포함하고 있어 이를 제거하고 물체정보를 일정한 픽셀로 전처리 한 후 이를 SOFM 신경회로망의 학습(training) 데이터로 이용하였고, 나머지 64개는 시험(testing) 데이터로 사용하였다.

SOFM 신경회로망은 초음파 트랜스듀서에 의해 획득한 물체의 거리와 위치정보들을 입력받아 3차원 물체윤곽 특징을 추출하여 정사각형, 직사각형, 원통형, 삼각형 4종류의 물체입력을 분류한다. 본 실험에서는 SOFM 신경회로망의 출력노드인 neuron space A는 10×10, 입력 벡터 V는 256(16×16)차원으로 구성하였으며 10회 반복학습 시켰다.

4. 실험결과

표 2는 PZT와 PVA의 중량비 92.5 : 7.5(wt.%)로 제작된 다공질 압전 초음파 트랜스듀서의 제특성을 나타내는데, 수중 초음파 트랜스듀서의 요구조건⁵⁾을 비교적 잘 만족함을 알 수 있다.

표 1. 실험물체의 종류와 크기

Table 1. Kinds and size of experimental objects

종류	재질	크기
정사각형	S45C	W5×L5×H2 [cm]
직사각형	S45C	W4×L5×H2 [cm]
원통형	S45C	D5×H2 [cm]
삼각형	S45C	L5×H2 [cm]

표 2. 다공질 압전 초음파 트랜스듀서의 제특성

Table 2. properties of porous piezoelectric ultrasonic transducer

특성	측정값
밀도	6.6(g/cm ³)
압전계수 d ₃₃	350 (×10 ⁻¹² C/N)
기계적 품질계수 Q _m	5.8
두께방향 결합계수 K _t	0.57
탄성컴플라이언스 S ₃₃ ^D	22.3 (×10 ⁻¹² m ² /N)
수중음향 임피던스	17.8(Mrayl)
성능지수 d _h · g _h	2242(×10 ⁻¹⁵ m ² /N)

표 3은 표 1의 수중 물체에 대한 정보를 SOFM 신경회로망에 입력하고 학습시킨 후 각 실험물체에 대한 인식률을 나타낸 것이다.

전체적인 수중 물체인식률은 표 3에서 보듯이 학습데이터인 경우에는 100(%) , 시험데이터는 95.3(%)를 나타내었다. 이는 본 연구에서 제작한 다공질 초음파 트랜스듀서가 다음과 같은 특징을 가지고 있음을 보여 주고 있다.

작은 밀도 및 두께방향 결합계수 값을 가진 다공질 PZT를 사용함으로써 수중과의 음향임피던스 정합이 개선되어 전기음향 변환능률이 향상되었고, 기계적 품질계수가 작은 값을 가짐으로써 음파의 송·수신특성이 향상되었다. 또한 트랜스듀서의 감도를 가늠하는 성능지수 값이 단일상 PZT에 비해 약 20배정도 큼으로써 수중 거리검출능력이 우수함을 알 수 있었다.

5. 결론

다공질 압전소자로 자체 제작한 초음파 트랜스듀서를 사용하여 3차원 수중 물체인식을 실험한 결과 비교적 높은 인식률을 나타내었다. 이는 음향임피던스가 작은 다공질 소자를 사용함으로써 트랜스듀서의 성능지수가 커져 송·수신특성이 향상되었기 때문으로 생각된다. 따라서 본 연구에서 자체 제작한 트랜스듀서는 수중용 초음파 트랜스듀서로서의 적용 가능성을 확인할 수 있었다.

표 3. 10회 반복학습 후 수중 물체인식률

Table 3. Underwater object recognition rates after 10 iterations.

물체 \ 인식률	인식률	
	학습데이터	시험데이터
정사각형	100%	93.75%
직사각형	100%	100%
원통형	100%	93.75%
정삼각형	100%	93.75%

참고 문헌

1. Jerry L. Sutton, "Underwater Acoustic Imaging", Proceedings of the IEEE. Vol. 67, No. 4, pp. 229 ~241, April, 1979.
2. T. R. Shrout and W. A. Schulze and J. V. Biggers, "Simplified of PZT/Polymer Composite", Mat. Res. Bull., Vol. 14, pp. 1553~1559, 1979.
3. 조 현철, 이 기성, 사공 건, "초음파센서 배열을 이용한 이동과 회전에 무관한 3차원물체인식과 복원", 대한전기학회하계학술 논문집 B권, pp. 1237~1239, 1996.
4. 박 정학, 이 수호, 사공 건, 배 진호, "수중청음기 응용을 위한 다공질 PZT 세라믹스의 압전특성", 대한전기학회 논문지, 45권, 4호, pp. 558~561, 1996.
5. S. Y. Lynn and R. E. Newnham and K. A. Killer and K. Rittenmyer and A. Safari & W. A. Schulze, "Ferroelectric Composites for Hydrophone", Ferro., Vol. 38, pp. 955~958.1982.