

1-3형 복합압전체로 제작한 초음파 트랜스듀서와 신경회로망을 이용한 3차원 수중 물체 복원

論 文
48C-6-8

3-D Underwater Object Restoration Using Ultrasonic Transducer Fabricated with 1-3 Type Piezoceramic/Polymer Composite and Neural Networks

趙玄哲* · 李基聖** · 崔憲日*** · 司空 鍵[§]
(Hyun-Chul Cho · Keeseong Lee · Hun-il Choi · Geon Sa-Gong)

Abstract - In this study, the characteristics of Ultrasonic Transducer fabricated with PZT-Polymer 1-3 type piezoelectric ceramic/polymer composite are investigated. 3-D underwater object restoration using the self-made ultrasonic transducer and modified SCL(Simple Competitive Learning) neural network was presented. The ultrasonic transducer was satisfied with the required condition of commercial ultrasonic transducer in underwater. The modified SCL neural network using the acquired object data 16×16 low resolution image was used for object restoration of 32×32 high resolution image. The experimental results have shown that the ultrasonic transducer fabricated with PZT-Polymer 1-3 type piezoelectric ceramic/polymer composite could be applied for SONAR system.

Key Words : 1-3 type piezoelectric ceramic/polymer composite, Modified SCL Neural Networks, Neuron space

1. 서 론

무인자동화 및 수중탐사 등 지능형 제어시스템의 요구가 증가되면서 자기학습능력에 의한 정보획득과 획득된 정보를 표현하기 위해 특별한 표상방법이 요구되지 않는 신경회로망이 3차원 물체인식과 복원에 널리 이용되고 있다.

3차원 물체인식과 복원은 센서를 통해 물체까지의 거리정보를 이용하는데, 거리정보 추출에는 CCD카메라 및 초음파 트랜스듀서를 이용하는 방법 등이 제안되고 있으나 사용환경에 따라 능률은 달라진다.

카메라 비전시스템은 빛의 양과 방향에 영향을 받으므로 사용환경에 제한을 받으며, 투명물체의 인식이 어렵다. 특히 심해에서는 햇빛도 투과되지 않는 암흑상태이기 때문에 CCD 카메라의 시야는 1~6m로 제한되고, 수중의 염분은 빛의 에너지를 심하게 감소시켜 먼거리의 측정을 어렵게 한다[1, 2].

그러나 초음파 트랜스듀서는 물속을 통과하는 음파를 이용하기 때문에 검출물체에 관계없이 물체의 형상에 대한 정보획득이 가능하다. 또한 해수에서는 염분에 의한 음파에너지의 감쇠가 적어 먼거리의 물체정보 획득이 가능하고, 데이터 처리가 간단하여 SONAR시스템, 디핑소나(dipping SONAR), 소노보이(sonobuoy) 등과 같이 수중에서 잠수함을 탐지하는 시스템에 널리 사용되고 있다.

초음파 트랜스듀서의 재료로는 높은 압전정수를 가진 Pb(Zr,Ti)O₃ (PZT : Lead Zirconate Titanate)가 가장 널리 사용되고 있다. 그러나 PZT 단일상(single phase)만으로 제작된 초음파 트랜스듀서가 수중에 사용될 경우에는 단일상이 갖는 한계성과 높은 유전율로 인하여 성능지수가 작다[3]. 또한 밀도가 높아 수중음향 임피던스 정합(matching)이 어렵기 때문에 낮은 밀도, 높은 압전성을 가진 초음파 트랜스듀서의 재료개발이 요구되고 있다.

이에 부응하기 위하여 본 연구에서는 수중음향임피던스 정합의 개선 및 초음파 트랜스듀서의 성능지수를 향상시키기 위하여 압전세라믹-고분자 1-3형 복합압전체 소자를 제조하였다. 이들을 사용하여 초음파 트랜스듀서(이하 1-3형 초음파 트랜스듀서를 지칭한다)를 자체 제작하고 이들 트랜스듀서의 음향특성을 Tone Burst Pulse Echo법[4]에 의해 송신 및 수신특성을 측정하여 수중용 복합압전체 초음파 트랜스듀서 제작을 위한 기초자료로 사용하였다. 또한 이들과 신경회로망을 연계하여 3차원 수중 물체인식 과정의 일부인 3차원 물체 복원 실험에 적용해 봄으로서 수중용 초음파 트랜스듀서로서의 응용 가능성을 검토하였다.

2. 수정형 SCL신경회로망

초음파 트랜스듀서에 의해 획득된 수중 물체정보는 16×16 픽셀의 저해상도이므로 해상도를 향상시켜 물체를 복원하는 것이 필요하다. 이를 위해 신경회로망을 이용, 16×16 픽셀의 원시데이터를 입력받아 32×32 픽셀로 해상도를 향상시켜 3차원 수중 물체를 복원한다. 이때 사용된 알고리즘은 수정형 SCL(Modified Simple Competitive Learning)신경회로망[5]으로서 그림 1과 같은 구조를 가진다. 입력층 neuron space를 16×16, 경쟁층 neuron space를 32×32로 구성하고

* 正 會 員 : 慶北專門大學 電子科 助教授 · 工博

** 正 會 員 : 弘益大 工大 電子電氣工學部 副教授 · 工博

*** 正 會 員 : 東亞大 工大 電氣工學科 講師 · 工博

§ 正 會 員 : 東亞大 工大 電氣工學科 教授 · 工博

接受日字 : 1999年 3月 16日

最終完了 : 1999年 5月 21日

식 (1)과 같은 학습알고리즘을 이용하여 원시데이터를 32×32픽셀의 해상도로 향상시킨다[5].

$$\omega(t+1) = \omega(t) + \epsilon(t) \exp\left(\frac{-\|L[\omega'(t)] - L[\omega(t)]\|^2}{\sigma^2(t)}\right) \times [\omega'(t) - \omega(t)] \quad (1)$$

여기서 $\omega'(t)$ 는 기준 weight 벡터, $\omega(t+1)$ 은 update 할 weight 벡터, $L[\omega(t)]$ 는 $\omega(t)$ 의 2차원 index에 의해 구해지는 입력공간의 위치, $\sigma(t)$ 는 임의의 값에서 0으로 줄어드는 가변 분산, $\epsilon(t)$ 는 학습률을 나타낸다.

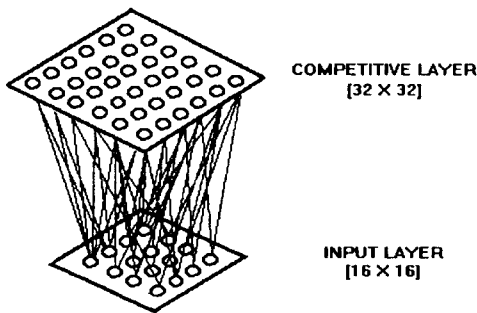


그림 1 수정형 SCL 신경회로망
Fig. 1 Modified SCL Neural Network

3. 실험방법 및 측정

3.1 1-3형 복합압전체의 제조 및 특성측정

PbO, ZrOCl₂·8H₂O 및 TiCl₄ 수용액을 출발원료로 사용하여 동질이형 상경계영역(MPB)[6]인 Pb(Zr_{0.52}Ti_{0.48})O₃의 조성으로 습식건식법에 의해 PZT분말을 제조하였다[7]. 이들 분말을 사용하여 1-3형 복합압전체의 충전상(filler phase)으로 사용될 PZT소결체를 제조하였으며, 이들을 고분자 매질(matrix)인 Eccogel 1365-45와 20Vol.%의 체적비로 조합하여 경화시킨 후 1-3형 복합압전체 시편을 제조하였다[7]. 이들 시편의 양면에 상온용 은전극을 도포하여 30(KV/cm)의 전계로 10분간 분극처리를 행하였다[8].

제조된 시편의 유전특성은 LF Impedance Analyzer(HP4192A)로 측정하였으며, 압전특성은 Piezo d₃₃-Meter(Berlincourt), 공진특성은 Network Analyzer(HP4194A)와 X-Y Plotter(HP7475A)를 이용하여 측정하였다. 그리고 이로부터 전기기계결합계수 및 음향임피던스 등을 계산하였고, 탄성계수는 EMAS-6007에 의해 구하였다[9].

3.2 초음파트랜스듀서의 제작

제작된 1-3형 복합압전체 소자를 진동자로 사용하여 초음파 트랜스듀서를 제작하였다. 초음파 트랜스듀서는 음향 임피던스가 비교적 큰 내경이 15(mm)인 알루미늄 파이프를 사

용하였으며, 파이프의 한 쪽은 진동자를 고정하였다. 그리고 다른 한 쪽은 BNC 콘넥터를 부착하였고 진동자 주위는 실리콘고무로 밀폐시킴으로써 수중에서의 각종 초음파특성을 조사할 수 있는 구조로 제작하였다[4].

3.3 3차원 수중 물체복원 실험

3차원 수중 물체복원을 위한 실험장치로는 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 수중 물체 복원에 사용된 물체의 종류와 크기를 나타낸다.

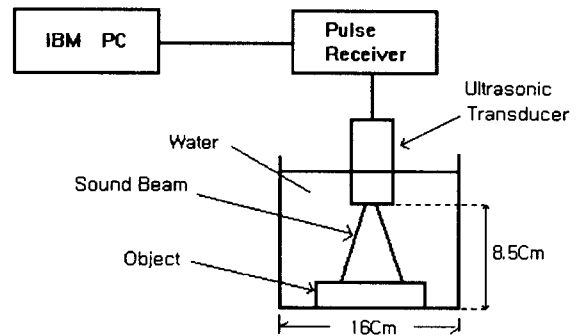


그림 2 수중 물체 복원을 위한 실험장치 구성도
Fig. 2 Experimental set-up for underwater object restoration

표 1 실험 물체의 종류와 크기
Table 1 Dimensions of used objects

종 류	재 질	크 기
원 통	S45	D8.5cm × H2cm
직사각기둥	S45C	W11cm × L8cm × H2cm
정사각기둥	S45C	W7.3cm × L7.3cm × H2cm

물체복원을 위해 그림 2의 실험장치와 자체 제작한 1-3형 초음파 트랜스듀서의 중심을 기준으로 하여 먼저 y축으로 1cm 간격으로 16 step 이동 시킨 후 x축으로 1cm이동시키는 동작을 반복하여 한 픽셀의 크기가 1cm×1cm인 16×16픽셀의 수중 실험물체의 거리정보를 획득하였다.

본 실험의 x, y좌표 값은 초음파 트랜스듀서 중심의 고정된 값이므로 초음파 트랜스듀서는 직진성만 가진다고 가정하여 측정범위에서 벗어난 물체정보들은 제거하였다. 수중 물체의 거리정보는 초음파 트랜스듀서에 가해진 임펄스 전기신호에 의한 음파의 전파시간을 검출하여 계산하였으며, 거리정보 검출방법으로는 one-pulse echo mode를 이용하였다[10].

표 2는 3차원 수중 물체복원 실험에 사용된 물체의 복원 패턴을 보여주며, 그림 3은 작업영역을 나타낸 것으로서 가

로, 세로, 높이는 16cm×16cm×8.5cm이다. 그림 3에서 원은 물체의 위치를 나타내며, ⊗점은 표 2에서 나타낸 기준점이다. 그리고 물체의 이동위치는 표 2와 그림 3에서 보듯이 그림 3의 ⊗점을 기준으로 하여 X축으로 좌, 우 각각 2cm 이동된 지점, Y축으로 상, 하 각각 2cm 이동된 지점을 나타내고 있으며, 또한 물체를 ⊗점에서 45°, 90°, 135° 회전시켜 물체정보를 얻었다.

실험장치로부터 획득된 원시데이터 16×16 픽셀의 3차원 물체정보를 이용하면 수중 물체의 윤곽은 표현되지만 해상도가 떨어져 선명한 물체윤곽의 추출이 어렵다. 수중 물체의 거리정보를 픽셀당 0.5cm×0.5cm 크기로 하는 32×32픽셀로 해상도를 향상시키면서 3차원 물체윤곽 추출을 위해 수정형 SCL 신경회로망을 이용하였다.

물체의 원시데이터는 실험환경의 온도변화 등에 따른 잡음(noise)을 포함하고 있기 때문에 이를 제거하고 일정한 픽셀로 재구성한 후 신경회로망에 입력하고 30번 반복학습시켰다.

표 2 실험물체의 복원 패턴
Table 2 Restoration patterns of experimental object

변위 실험물체	기준점	평면이동(cm)				회전(°)		
		좌 2cm	우 2cm	상 2cm	하 2cm	45	90	135
원통	○	○	○	○	○	×	×	×
직사각기둥	○	○	○	○	○	○	○	○
정사각기둥	○	○	○	○	○	○	×	×

(○: 패턴 유, ×: 패턴 무)

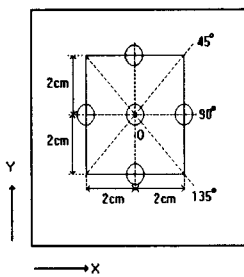


그림 3 작업영역
Fig. 3 Workspace

4. 실험결과 및 고찰

표 3에 PZT의 체적비가 20Vol.%인 1-3형 복합압전체 소자의 제특성을 나타내었다. 본 연구에서 얻어진 1-3형 복합압전체 소자의 유전, 압전 및 음향특성[4]은 초음파트랜스듀서용 소자로서의 요구조건을 충족하고 있다[11].

그림 4는 자체 제작한 1-3형 초음파 트랜스듀서의 펄스-에

코 응답특성을 나타낸 것으로, 채널 2(X: 10μs, Y: 5V/div)에 나타난 입력 임펄스가 송신용 트랜스듀서에 가해진 입력 임펄스이다. 채널 1(X: 10μs, Y: 0.5V/div)의 첫번째 좌측에 나타나는 파형군(波形群)은 인가된 임펄스에 의해 진동자 자체의 진동에 의해 반복되어 나타난 파형이며, 두번째 파형군은 진동자의 진동에 의해 수중으로 진행하여 반사되어 오는 수신파이다. 그림에서 보듯이 계속적인 진동(ringing)은 나타나지 않고 시간에 따라 급격한 ringdown현상[4]이 일어나 송수신 특성이 양호하게 나타났다. 이는 세라믹과 고분자를 복합화함으로써 압전계수 \overline{d}_h 와 전압계수 \overline{g}_h 가 높아져 송수신 특성이 개선된 것으로 생각된다.

표 3 1-3형 복합압전체 시편의 제특성
Table 3 Properties of 1-3 type piezoceramic/polymer composite specimens

특 성	측 정 값
밀 도	2.45(g/cm ³)
비유전율	80
압전정수 \overline{d}_{33}	350 (pC/N)
기계적 품질계수 Q _m	5.3
두께방향 결합계수 k _t	0.65
탄성컴플라이언스 s_{33}^D	31.4 (pm ² /N)
수중음향 임피던스	6.69(Mrayl)
성능지수 $\overline{d}_h \cdot \overline{g}_h$	37300(×10 ⁻¹⁵ m ² /N)

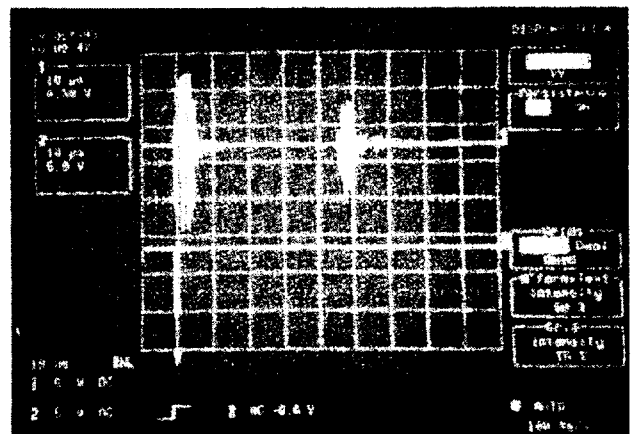


그림 4 1-3형 복합압전체 초음파 트랜스듀서의 펄스-에코 응답특성

Fig. 4 Pulse-echo response of 1-3 type piezoceramic/polymer composite ultrasonic transducer

그림 5~14는 전처리된 저해상도의 원시데이터 16×16 픽셀

의 3차원 물체윤곽과 신경회로망 학습에 의한 32×32 픽셀의 고해상도 3차원 물체윤곽 검출결과를 나타낸 것으로 저해상도 그림의 가로, 세로 한눈금은 각각 1cm이며, 고해상도 그림의 가로, 세로 한눈금은 각각 0.5cm이다.

그림 5와 6은 기준점에서 원통 물체의 저해상도 윤곽추출과 고해상도의 3차원 복원을 나타낸 것이고, 그림 7과 8은 기준점에서 아래로 2cm 이동시킨 원통 물체에 대한 결과를, 그림 9와 10은 기준점에서 왼쪽으로 2cm 이동시킨 직사각기둥에 대한 결과를 나타내고 있다. 그림 11과 12는 기준점에서 위로 2cm 이동시킨 정사각기둥에 대한 결과를, 그림 13과 14는 기준점에서 45° 회전시킨 정사각기둥에 대한 결과를 나타낸 것인데, 이들을 보면 3차원 물체 윤곽을 비교적 선명하게 추출할 수 있음을 알 수 있다. 이는 본 연구에서 제작된 1-3형 복합압전체의 밀도(2.45g/cm³)가 PZT소결체(7.65g/cm³)에 비해 매우 낮아졌으며, 비유전율(PZT: 1400)도 80으로 크게 작아짐으로서 음향임피던스 정합이 잘 이루어졌다. 이로 인하여 트랜스듀서의 감도를 나타내는 성능지수(37300×10⁻¹⁵m²/N)가 PZT소결체(100×10⁻¹⁵m²/N)에 비해 약 40배 가량 커져 초음파의 송·수신평형이 향상되었기 때문으로 생각된다.

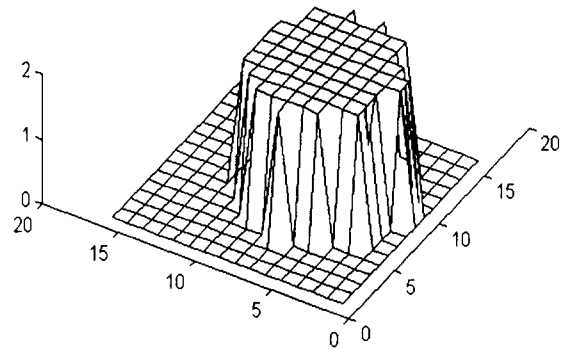


그림 7 기준점에서 아래로 2cm 이동된 원통물체의 저해상도 윤곽추출

Fig. 7 Contour extraction of cylindrical block translated down 2cm

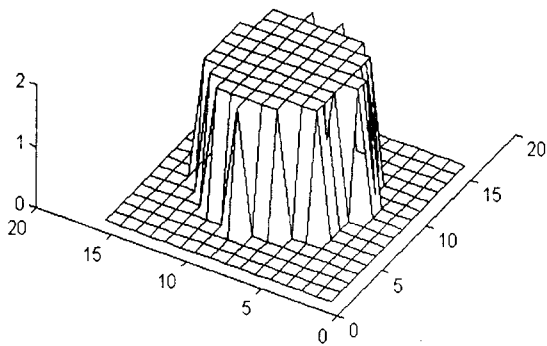


그림 5 기준점에서 원통물체의 저해상도 윤곽추출

Fig. 5 Contour extraction of cylindrical block at the original position

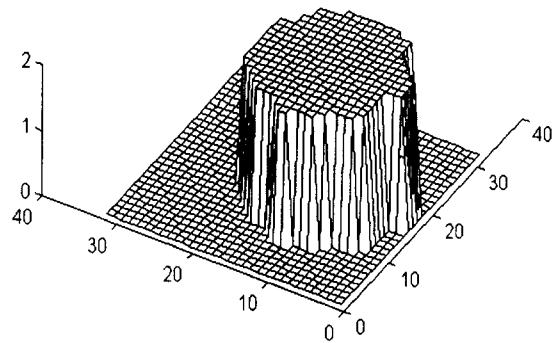


그림 8 기준점에서 아래로 2cm 이동된 원통물체의 고해상도 복원

Fig. 8 High resolution restoration of cylindrical block translated down 2cm

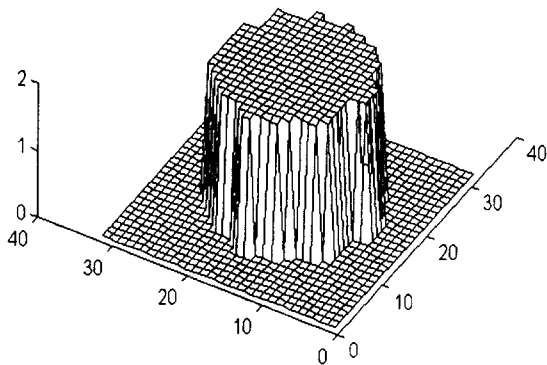


그림 6 기준점에서 원통물체의 고해상도 복원

Fig. 6 High resolution restoration of cylindrical block at the original position

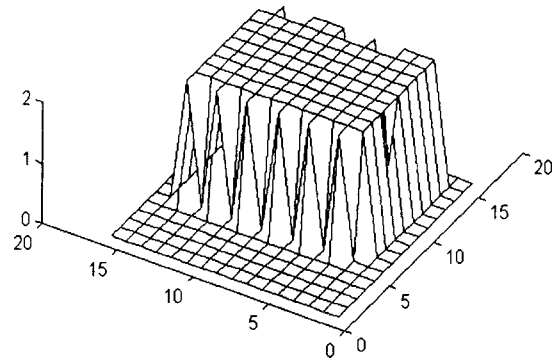


그림 9 기준점에서 좌로 2cm 이동된 직사각기둥의 저해상도 윤곽추출

Fig. 9 Contour extraction of rectangular block translated left 2cm

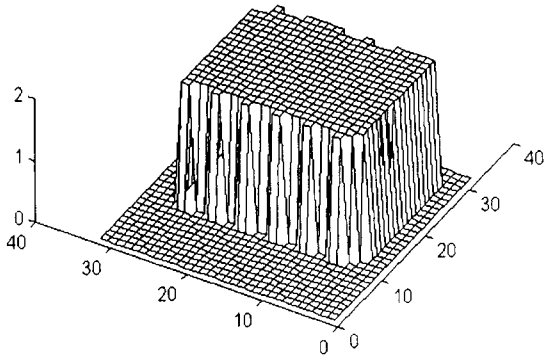


그림 10 기준점에서 좌로 2cm 이동된 직사각기둥의 고해상도 복원

Fig. 10 High resolution restoration of rectangular block translated left 2cm

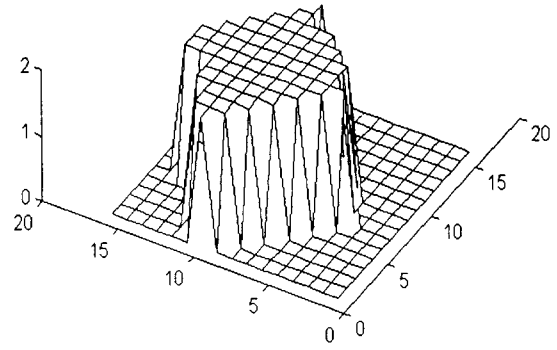


그림 13 45° 회전된 정사각기둥의 저해상도 윤곽추출

Fig. 13 Contour extraction of square block rotated 45°

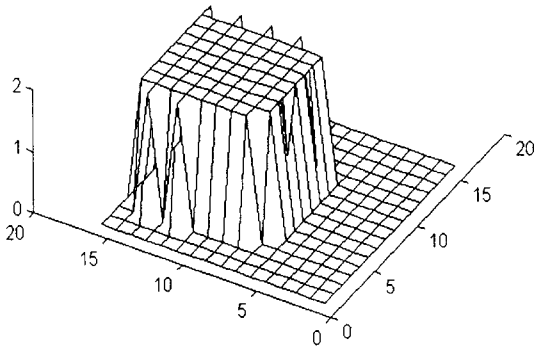


그림 11 기준점에서 위로 2cm 이동된 정사각기둥의 저해상도 윤곽추출

Fig. 11 Contour extraction of square block translated up 2cm

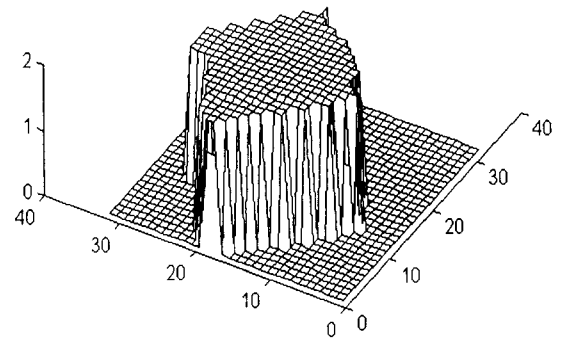


그림 14 45° 회전된 정사각기둥의 고해상도 복원

Fig. 14 High resolution restoration of square block rotated 45°

5. 결론

자체 제작한 1-3형 초음파 트랜스듀서를 사용하여 수중 물체인식 과정의 일부인 3차원 물체복원을 실험한 결과 비교적 선명한 물체윤곽을 추출할 수 있음을 확인하였다. 이는 낮은 밀도 및 작은 비유전율을 가짐으로써 음향임피던스가 개선되었고, 이로 인해 초음파의 송·수신허성이 향상되었다. 또한 초음파 트랜스듀서의 성능을 가늠하는 성능지수 ($\overline{d_h \cdot g_h}$)가 향상되어 수중 거리 검출능력이 향상되었기 때문으로 생각된다.

따라서 본 연구에서 자체 제작한 PZT-고분자 1-3형 복합 압전체 초음파 트랜스듀서는 수중 물체복원용 초음파 트랜스듀서로 응용가능함을 확인할 수 있었다.

그러나 본 연구에서 제작된 초음파 트랜스듀서는 3차원 물체분류를 위한 거리검출이 제한되어 있으며, 한개의 초음파 트랜스듀서를 사용하여 평행이동시켜 거리정보를 얻음으로서

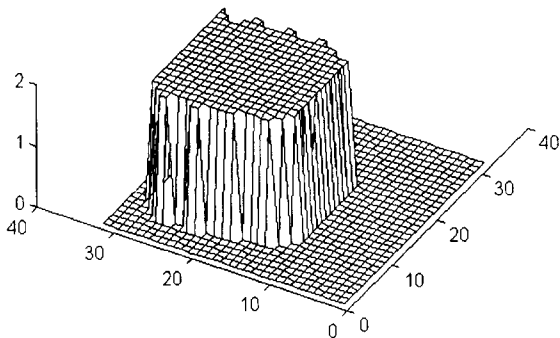


그림 12 기준점에서 위로 2cm 이동된 정사각기둥의 고해상도 복원

Fig. 12 High resolution restoration of square block translated up 2cm

물체의 예리한 꼭지점에서 반사되는 음파의 수신이 어려웠다. 수중음파 시스템의 트랜스듀서로서 활용되기 위해서는 먼거리의 물체복원도 가능한 고출력의 초음파 트랜스듀서에 대한 연구와 물체 꼭지점에서 반사되는 초음파도 수신 가능한 초음파 트랜스듀서의 배열에 관한 연구가 계속적으로 이루어져야 할 것으로 생각된다.

감사의 글

본 연구는 한국전력공사의 지원에 의하여 기초 전력공학공동연구소 주관으로 수행되었으며, 그 연구결과의 일부임.

참 고 문 헌

[1] J. L. Sutton, "Underwater Acoustic Imaging", Proc. of the IEEE. Vol.67, No.4, pp.229~241, 1979.

[2] 조현철, 이기성, 사공건, "다공질 압전소자로 제작한 초음파 트랜스듀서와 신경회로망을 이용한 3차원 수중 물체 인식", 대한전기학회논문지, Vol. 46, No. 6, pp. 936~940, 1997.

[3] R.E. Newnham, A. Safari, G. Sa-Gong and I. Giniewicz, "Flexible Composites Piezoelectric Sensors", IEEE Proc., Int'l Ultrason. Sympo., p501, 1984.

[4] 최현일, 박정학, 이수호, 사공건, "거리측정용 1-3형 복합 압전체의 펄스-에코 응답특성", 한국전기전자재료학회 논문지, Vol. 8, No. 2, pp. 211~216, 1995.

[5] 조현철, 이기성, 사공건, "주차관리시스템 응용을 위한 신경회로망과 연계된 초음파센서의 3차원 물체인식과 복원", 한국조명전기설비학회 논문지, Vol. 10, No. 4, pp. 78~84, 1996.

[6] B. Jaffe, W. R. Cook, Jr. and H. Jaffe, "Piezoelectric Ceramics", Academic Press, London and New York, p135, 1971.

[7] 최현일, 사공 건, "사전 분극처리된 유연한 1-3형 세라믹/고분자 복합압전체의 PZT체적비에 따른 전기적 특성", 대한전기학회논문지, Vol. 42, No. 11, pp. 100~106, 1993.

[8] G. Sa-Gong, A. Safari, S.J. Jang and R.E. Newnham, " Poling Flexible Piezoelectric Composites", Ferroelectric Letter, 5(5), p.131, 1985.

[9] 電子材料工業會 規格 EMAS-6001~7, 電子材料工業會. 1989.

[10] S. Watanebe and M. Yoneyama, "An Ultrasonic Robot Eye for Object Identification Using Neural Network", in Proc. IEEE Ultra. Symp., pp. 1083~1086, 1989.

[11] S.Y. Lynn, R.E. Newnham, K.A. Killer, K. Rittenmyer, A. Safari and W.A. Schulze, "Ferroelectric Composites for Hydrophone", Ferroelectrics, Vol. 38, pp. 955~958. 1982.

저 자 소 개



조 현 철(趙玄哲)

1961년 11월 19일생. 1985년 동아대 공대 전기공학과 졸업. 1990년 동 대학원 졸업(석사). 1997년 동 대학원 졸업(공학). 현재 경북전문대학 전자과 조교수·동 대학 산업기술연구소장

Tel : 0572-630-5041

E-mail : chc@mail.kp-c.ac.kr

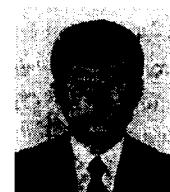


이 기 성(李基聖)

1958년 7월 12일생. 1980년 서울대 공대 전자공학과 졸업. 1983년 오하이오 주립대학 전기공학과 졸업(석사). 1989년 Purdue 대학 전기공학과 졸업(공학). 현재 홍익대 공대 전자전기공학부 부교수

Tel : 02-320-1670

E-mail : leeks@wow.hongik.ac.kr



최 현 일(崔憲日)

1960년 9월 11일생. 1986년 동아대 공대 전기공학과 졸업. 1988년 동 대학원 졸업(석사). 1994년 동 대학원 졸업(공학). 현재 동아대학교 공대 전기공학과 강사.

Tel : 051-200-6749



사공 건(司空鍵)

1968년 영남대 공대 전기공학과 졸업. 1973년 및 1996년 동 대학원 졸업(공학). 1986년 미국 Golden State Univ.(Ph.D). 1983~1985년 The Penn State Univ.(MR L) Visiting Scientist. 1993년 일본 동경공업대학 객원연구원. 1994년 The State Univ. of New Jersey(Rutgers Univ.) visiting Scientist. 1997~1998년 Virginia Tech. Visiting Professor. 현재 동아대 공대 전기전자컴퓨터공학부 교수

Tel : 051-200-7736

E-mail : gsagong@seunghak.donga.ac.kr