

압전 세라믹-고분자 1-3형 복합 압전체 트랜스듀서의 펄스에코 특성

최헌일 박정학 이수호 사공건(동아대학교)

Pulse-echo Response of Piezoceramic-Polymer 1-3 Type Composite Transducers

H. I. Choi J. H. Park S. H. Lee G. Sa-Gong(Dong-A Univ.)

(Abstract)

In this study, the piezoelectric transducers with 1-3 connectivity have made. A piezoelectric ceramic PZT prepared by Wet-Dry Combination method is used as a filler in Eccogel polymer matrix. The pulse-echo response for 1-3 type composite transducers were carried out in water. It was observed that the transmitting and receiving sensitivity of 1-3 type composite transducers were improved in comparison with that of solid PZT transducer. The reason is for that 1-3 composites have a high piezoelectric voltage coefficients. The period of pulse-echo response for the transducer is in a good agreement with the resonant frequency of self-made composite transducer.

1. 서론

초음파 센서는 압전 진동자의 압전 특성을 이용하여 기체, 액체 및 고체 매질에 음파를 방사하여 측정 대상으로부터 반사되는 음파를 검출해 내는 소자에 응용되고 있다. 초음파 센서에 사용되고 있는 대표적인 소재에는 페로브스카이트형인 BaTiO₃와 PZT 압전 세라믹이 주로 사용되고 있으며, 실용화되고 있는 대부분의 PZT는 변형된 2성분계 및 3성분계 복합 PZT계이다.

이러한 PZT계 압전 세라믹이 수중초음기에 사용될 경우 높은 유연성을 및 밀도로 인하여 수중 음향 임피던스 정합(matching)이 어려워 물이 매질인 경우 송수신 특성이 저하하게 된다.^{1,2)} 이를 개선하고자 압전성이 큰 세라믹과 비유전율이 작은 고분자 매질을 복합화한 Ceramic/ Polymer 복합 압전체가 연구되고 있다.

본 연구에서는 습식-건식법(Wet-Dry Combination Method)⁴⁻⁶⁾에 의해 임경이 균질한 순수 PZT 소결체를 제조한 후, 이들 압전 세라믹 PZT를 복합 압전체 제작용 세라믹 filler로 사용하여 Epoxy 수지계(Eccogel Series)³⁾와 복합화하여 PZT 체적비 및 시편 두께에 따라 1-3형 복합 압전체를 제작하였으며, 이들 1-3형 복합 압전체를 진동자로서 초음파 트랜스듀서를 제작한 후 Pulse 응답특성을 연구하였다.

II. 실험 방법

1. 1-3형 복합 압전체 및 Transducer의 제작

PbO, ZrOCl₂·8H₂O 및 TiCl₄ 수용액을 출발 원료로 사용하여 Pb(Zr_{0.52}Ti_{0.48})O₃의 조성으로 습식-건식법에 의해 PZT 소결체를 제작하였다. 이들 PZT 소결체를 filler로 사용하여 Epoxy resin계(Eccogel 1365-45; Emerson & Cuming Inc.)와 조합하여 유연성(flexible)이 있는 1-3형 복합 압전체를 제작하였으며, 이때 PZT 체적비는 20Vol.%로 하였다. Diamond saw로서 적정 두께로 자른 후, 표면을 잘 연마하여 초음파 세척기로 세척한 다음 상온용 은전극을 도포한 후 분극처리를 행하였다. 분극처리가 끝난 단일상 PZT 및 1-3형 복합 압전체를 진동자로서 사용하여 사진 1과 같은 트랜스듀서를 제작하였다.⁷⁾

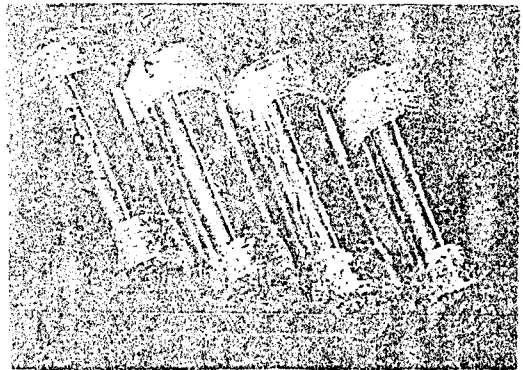


사진 1. 제작된 트랜스듀서

2. pulse-echo 특성 측정

자체 제작한 단일상 PZT 및 1-3형 복합 압전체 트랜스듀서의 pulse-echo 응답 특성은 impulse 신호를 발생시킬 수 있는 초음파 트랜스듀서 분석기(ultrasonic transducer analyzer; BK- AEROTECH, UTA-4) 및 반사파를 측정할 수 있는 오실로스코프(LeCroy: 9301M)로 측정하였다. 이때 pulse-echo 측정을 위한 평면 반사판은 스테인레스 강판으로

로 평면의 표면 처리는 $2(\mu\text{m})$ 로 가공하였다.

III. 실험결과 및 고찰

사진 2는 단일상 PZT 진동자를 사용하여 자체 제작한 트랜스듀서의 pulse-echo 응답특성을 나타낸 것이다. 단일상 PZT 및 1-3형 복합 압전체가 probe로 사용된 경우의 초음파 특성을 조사하기 위하여 측정 시스템에 사진 2의 channel 2와 같은 임펄스(impulse)를 인가하여 pulse-echo 응답특성을 얻었다.

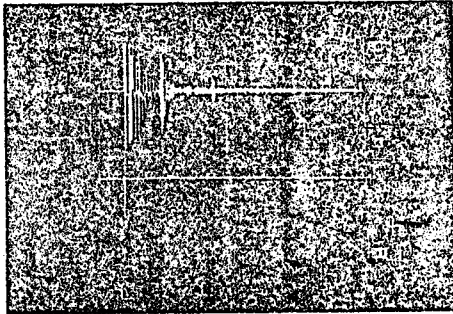


사진 2. 단일상 PZT 트랜스듀서의 Pulse-echo 특성

채널 2에 나타난 입력 임펄스가 송신용 트랜스듀서에 가해지면 트랜스듀서는 여기되어 음파가 수중으로 전달된다. 전달된 음파는 반사판에 의해 반사되어 트랜스듀서에 수신되며, 이와 같은 과정의 반복을 거쳐 음파는 채널 1에 나타난 것과 같이 점차 감쇠되어 소멸된다. 채널 1의 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 수신파로 이 또한 앞의 경우와 같은 과정의 반복에 의해 파형군으로 진동의 울림(ringing)이 여러 주기동안 계속되어 수신 감도가 떨어지고 있다.⁸⁾ 그리고 입력 임펄스에 대한 echo 응답의 주기는 약 $1(\mu\text{s})$ 로 자체 제작한 PZT 트랜스듀서의 공진주파수 $1(\text{MHz})$ 와 잘 일치하였다.

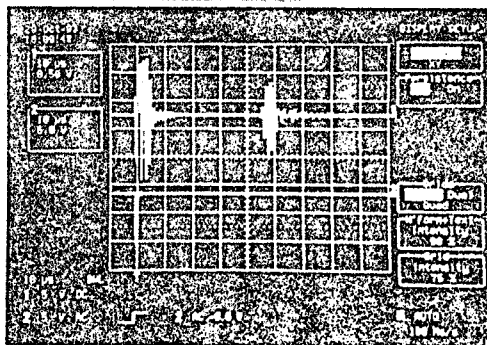


사진 3. 체적비 20Vol.%, 두께 1.9(mm) 1-3형 복합 압전체 트랜스듀서의 Pulse-echo 특성

사진 3은 PZT의 체적비가 20Vol.%이고, 두께가 1.9 (mm)인 1-3형 복합 압전체로 제작한 트랜스듀서의 송신 및 수신 특성으로 단일상 PZT에서와 같이 진동의 계속적인 울림은 나타나지 않고 시간에 따라 급격한 울림감쇠(ringdown) 현상이 일어나 송신 및 수신특성이 양호하게 나타났다. 이는 세라믹과 고분자를 복합화함으로써 압전계수 d_{31} 과 전압계수 e_{31} 가 높아져 송신 및 수신특성이 개선된 것으로 생각된다. 이 또한 파형의 주기가 약 $1.3(\mu\text{s})$ 로 자체 제작한 트랜스듀서의 공진주파수 $770(\text{KHz})$ 와 잘 일치하고 있다.

사진 4와 사진 5는 각각 PZT의 체적비가 20Vol.%일 경우 진동자의 두께를 2.85(mm), 3.8(mm)로 했을 경우 1-3형 복합 압전체로 제작된 트랜스듀서의 pulse-echo 응답특성이다. 이것도 마찬가지로 연속적인 진동의 울림 현상은 나타나지 않았으며, 비교적 양호한 송·수신특성을 얻을 수 있었다. 주기는 각각 $2(\mu\text{s})$ 와 $2.7(\mu\text{s})$ 로 자체 제작한 트랜스듀서의 공진주파수 $500(\text{KHz})$ 및 $370(\text{KHz})$ 와 잘 일치하였다.

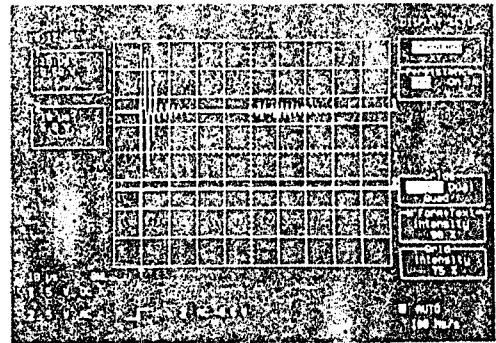


사진 4. 체적비 20Vol.%, 두께 2.85(mm) 1-3형 복합 압전체 트랜스듀서의 Pulse-echo 특성

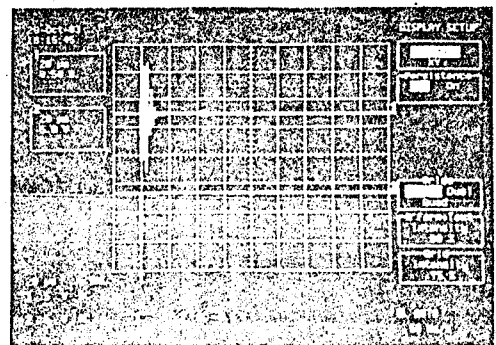


사진 5. 체적비 20Vol.%, 두께 3.8(mm) 1-3형 복합 압전체 트랜스듀서의 Pulse-echo 특성

이상의 측정 결과에서 단일상 PZT로 제작된 트랜스듀서에 펄스파를 인가하면 울림이 수 내지 수십 주기동안 계속되는 반면에, 1-3형 복합 압전체로 제작된 트랜스듀서는 감쇠가 빨리 일어나 양호한 송수신특성을 얻을 수 있었다.

8. W. R. Scott, "Durable Lead Attachment Techniques for PVDF Polymer Transducers with Application to High Voltage Pulsed Ultrasonics", *Ferroelectrics*, Vol.32, 1981, pp. 79~83.

IV. 결 론

습식-건식법에 의해 제조된 PZT 시편을 Epoxy 수지계인 Eccogel Series와 조합하여 유연성이 있는 1-3형 복합 압전체를 제작한 후 이들을 진동자로 사용하여 트랜스듀서를 제작하여 얻은 펄스 응답특성을 요약하면 다음과 같다.

1. 자체 제작한 단일상 PZT 트랜스듀서는 진동의 울림(ringing)이 여러 주기동안 계속되어 수신 감도가 떨어짐을 알 수 있었다.
2. 1.9(mm) 이상의 두께로 제작한 1-3형 복합 압전체 트랜스듀서는 계속적인 울림은 나타나지 않고 시간에 따라 급격한 울림감쇠(ringdown) 현상이 일어나 송신 및 수신특성이 양호하게 나타났다.
3. pulse-echo의 PZT 단일상 및 1-3형 복합 압전체 진동자의 주기로부터 구한 공진 주파수는 두께 변화에 따른 공진 주파수와 잘 일치하였다.

<참 고 문 헌>

1. G. Sa-Gong, A. Safari, S.J. Jang & R. E. Newnham, "Poling Flexible Piezoelectric Composites", *Ferroelectrics*, Vol.5, No.5, 1985, p.131.
2. G. Sa-Gong, R. E. Newnham, A. Safari & I. Giniewicz, "Flexible Composite Piezoelectric Sensors", *IEEE Proc., Int'l. Ultrason. Sympo.*, 1984, p.501.
3. 사공건, 최현일, "사전 분극처리된(Prepoled) 유연한 1-3 세라믹/고분자 복합 압전체의 PZT 제적비에 따른 전기적 특성", *대한전기학회 논문지*, 42권, 11호, 1993, pp.100~106.
4. K. Kakegawa, J. Mohri, T. Takahashi, H. Yamamura and S. Shirasaki, "A Compositional Fluctuation and Properties of $Pb(Zr,Ti)O_3$ ", *Solid State Communication*, Vol.24, 1977, pp.769~772.
5. K. Kakegawa, J. Mohri, T. Takahashi and S. Shirasaki, "Sluggish Transition Between Tetragonal and Rhombohedral Phases of $Pb(Zr,Ti)O_3$ Prepared by Application of Electric Field", *J. of Ame. Cer. Soc.*, Vol.65, No.10, 1982, Oct., pp.515~519.
6. 이수호, 박정학, 최현일, 사공건, "습식-건식법에 의해 제작된 1-3형 복합 압전체의 음향 특성", *대한전기학회 춘계학술대회 논문집*, 1994, pp.81~83.
7. 최현일, "수중청음기용 압전세라믹-고분자 1-3형 복합 압전체의 제작과 특성에 관한 연구", 박사학위논문, 동아대학교, 1994.