1995年度 定期總會 및 秋季學術大會 論文集 1995.11.18

다공질 압전소자(PZT)로 제작된 초음파 트랜스듀서의 펄스에코 응답특성

Pulse-echo Response of Ultrasonic Transducer Fabricated by Porous Piezoceramics PZT Resonator

주 용관* · 이 수호 · 박 정학 · 사공 건
동아대학교 전기공학과

Yong-Khoan Joo* · Su-Ho Lee · Jung-Hak Park · Geon Sa-Gong
Dept. of Electrical Eng., Dong-A Univ.

Abstract - PZT powders were prepared by the molten salt synthesis method. The porous PZT specimens were prepared from a mixture of PZT and polyvinylalcohol(PVA) powders by BURPS(Burnout Plastic Sphere) technique. The pulse-echo response of porous PZT transducer with various PVA wt.% were studied. The fall time of pulse-echo response of porous PZT transducer was shorten to that of solid PZT-maded transducer. Therefore, a good transmitting and receiving properties could be obtained. The distance between transducer and reflector was in good agreement both solid PZT and porous PZT fabricated transducer.

I. 서 론

초음파 센서는 압전 진동자의 압전특성을 이용하여 기체, 액체 및 고체 매질에 음파를 방사하여 측정 대상물로 부터 반사되는 음파를 검출해 내는 소자에 응용되고 있다. 이 때 초음파는 전파속도가 느리기 때문에 저주파 영역에서도 파장이 짧아 직진성이 뛰어나므로 거리 측정용 센서등에 이용되고 있다. 초음파 센서에 사용되고 있는 대표적인 소재로는 $BaTiO_3$와 PZT가 주로 사용되고 있으나, 단일상 소자만으로 제작된 트랜스듀서는 그 소자의 밀도 및 유전율이 높아 매질이 공기 및 물인 경우에는 음향 임피던스 정합(matching)이 어렵고, 감쇠계수가 적어서 좁은 주파수 대역에서 반응할 뿐 아니라 울림(ringing) 시간이 길어서 감도를 가늠하는 성능지표가 낮다. 이러한 PZT 단일상의 단점을 개선하기 위하여 낮은 밀도 및 비유전율을 가진 소재의 개발이 요구되고 있다.[1-2]

따라서 본 연구에서는 비교적 낮은 온도에서 액상을 형성하는 NaCl-KCl 용융염 합성법에 의해 압전 세라믹 PZT를 제조하였으며, 다공질 세라믹 제조시 기공 형성을 위한 plastic sphere로는 PVA(polyvinylalcohol)를 사용하여, BURPS법(burnout plastic sphere method)에 의해 다공질 세라믹을 제작하였다. 아울러 이들 다공질 PZT 세라믹스를 진동자로 하여 초음파 트랜스듀서를 제작한 후, tone-burst pulse-echo법에 의해 음향특성을 조사하였다.

II. 실험 방법

본 실험에서 다공질 세라믹 제조를 위한 세라믹 분말은 등질이형 상경계(Morphotropic Phase Boundary ;MPB)근처의 조성을 가지는 PZT[$Pb(Zr_{0.52}\ Ti_{0.48})O_3$]를 용융염합성법으로 제조하였다. 다공질 PZT 제조를 위한 기공 형성을 위해 plastic sphere로는 PVA를 사용하였으며, 이때 압전 세라믹과 sphere와의 중량비를 5~15(wt.%)범위로 칭량하여 건식 혼합한 다음, 등압 성형하였다. 그 후 20(℃/hr)의 비율로 승온하여 500(℃)에서 2시간 유지하여 세라믹에 분산, 혼합되어 있는 plastic sphere를 burn-out시킨 다음 1,150(℃)에서 1시간 소결하여 다공질 시편을 얻었다.[3] 이들 다공질 세라믹을 120(℃)의 실리콘 기름 중에서 35(kV/cm)의 전계를 10분 인가하여 분극처리하였다.

다공질 압전소자로 제작된 트랜스듀서는 음향임피던스가 비교적 큰 내경 15(㎜)의 동(copper)파이프를 사용하였다. 그리고 탐촉자의 한쪽은 진동자를 고정하였고, 다른 한쪽은 BNC 컨넥터를 부착하였다. 진동자 주위는 실리콘 고무로 밀폐시키므로서 각종 초음파특성을 조사할 수 있는 구조로 제작하였다. 이때 진동자의 시효(aging)발생을 감소시키기 위하여 (+)전극을 안쪽으로 향하게 하였고, 신호선(signal line)으로서는 은선(silver wire)을 사용하였다. 또 바깥면에는 접지선(ground line)을 BNC 컨넥터로 접속하고, 가능한 한 음성 접촉(ohmic contact)이 되도록 하기 위해 은전극을 사용하여 접착시킨 후 에폭시를 얇게 덧입혔다. 트랜스듀서의 펄스에코 응답은 Testpro System(Transducer Characterization System)과 Pulse Receiver(1010PR, ACCU-TRON Inc.)를 통하여 평가하였다.

Ⅲ. 실험 결과

단일상 PZT세라믹스, 다공질 PZT세라믹스가 초음파 트랜스듀서용 탐촉자로 사용될 경우의 펄스-에코 특성을 조사하기 위하여 그림 1과 같은 임펄스(impulse) 형태를 인가하여 시편 자체의 진동특성 및 펄스-에코응답특성을 얻었으며, 이때 인가된 임펄스 신호의 크기는 10배의 프로브(probe)를 사용하여 측정한 것이다.

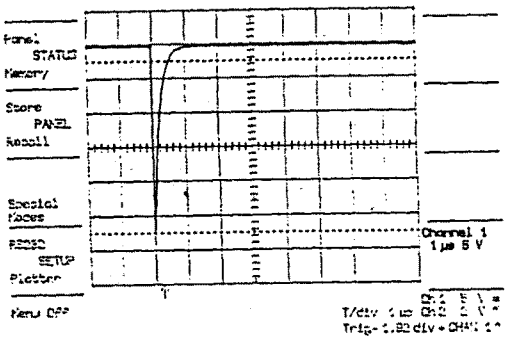
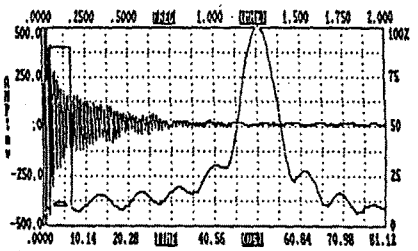
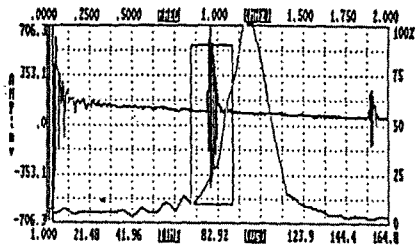


Fig. 1. Input pulse of transducer analyzer.

그림 2의 (a) 및 (b)는 단일상 PZT를 진동자로 사용하여 자체 제작한 초음파 트랜스듀서의 펄스-에코응답특성을 나타낸 것이다. 그림 (a)의 파형군(波形群)은 인가된 임펄스에 의해 진동자 자체의 진동에 의하여 나타난 파형이며, 그림 (b)는 수중에서의 펄스-에코응답특성을 나타낸 것이다. 이때 시편 자체와 펄스-에코응답에서의 파형을 FFT(Fast Fouirer Transform)분석을 했을 경우의 공진주파수가 일치되고 있음을 그림에서 알 수 있다.



(a)



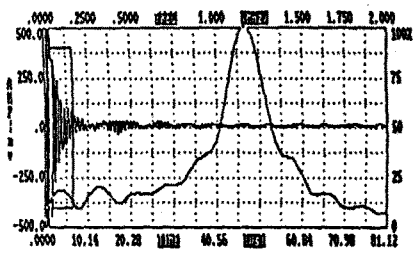
(b)

Fig. 2. Pulse-echo reponse of solid PZT transducer.
(a) Vibrating waveform between electrodes.
(b) Waveform of echo signal.

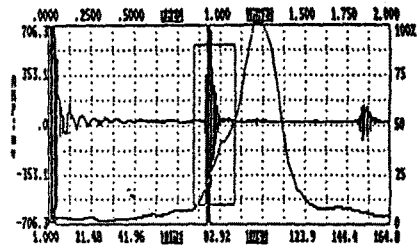
그림 (a)에서 출력파형은 진동의 울림(ringing)이 여러 주기동안 계속되고 있는 데, 이는 압전 PZT 세라믹스의 정수압 전압정수 g_h 값이 작기 때문이라 생각되며, 수신감도가 떨어질 것으로 예측된다[4]. 그리고 펄스가 인가되어 트랜스듀서에 수신된 시간(약 80 sec)과 음속(약 1,500 m/s)으로부터 식 c=L/t(c:수중의 음속, L:송수파기의 거리, t:지연시간의 차)에 의해 계산된 거리(초음파 탐촉자와 반사판의 거리 6 cm)와 거의 일치하였다.

그림 3~5는 PVA의 중량비를 달리하여 제작한 다공질 PZT 세라믹스를 진동자로 사용하여 제작한 초음파 트랜스듀서의 펄스-에코 응답특성을 나타낸 것이다. 각 그림에서 (a)의 파형군(波形群)은 인가된 임펄스에 의해 진동자 자체의 진동에 의하여 나타난 파형이며, 그림 (b)는 수중에서의 펄스-에코 응답특성을 나타낸 것이다.

다공질 세라믹은 단일상 PZT세라믹스의 응답파형(그림 1)에 비하여 출력파형이 계속적인 진동의 울림(ringing)은 나타나지 않고 시간에 따라 급격한 울림감쇠(ringdown) 현상이 일어나 송신 및 수신특성이 단일상 세라믹에 비하여 양호하게 나타났다. 이는 정수압 전하정수 d_h와 전압정수 g_h 값이 높아져 송신 및 수신특성이 개선된 것으로 생각된다.[5]

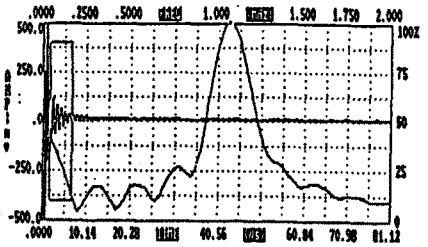


(a)

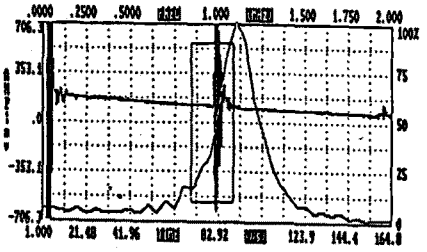


(b)

Fig. 3. Pulse-echo reponse of porous PZT transducer. (5.0 wt.% of PVA)
(a) Vibrating waveform between electrodes.
(b) Waveform of echo signal.

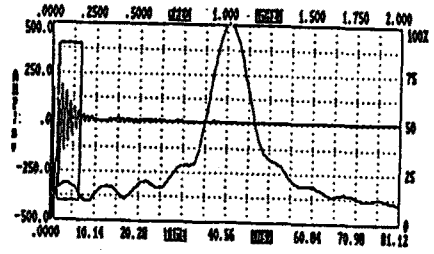


(a)

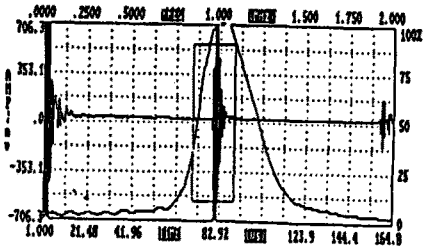


(b)

Fig. 4. Pulse-echo reponse of porous PZT transducer. (10.0 wt.% of PVA)
(a) Vibrating waveform between electrodes.
(b) Waveform of echo signal.



(a)



(b)

Fig. 5. Pulse-echo reponse of porous PZT transducer. (15.0 wt.% of PVA)
(a) Vibrating waveform between electrodes.
(b) Waveform of echo signal.

또한 PVA의 중량비를 달리하여 제작한 다공질 PZT 세라믹스를 진동자로 사용하여 제작한 초음파 트랜스듀서의 펄스-에코 응답특성에서는 단일상 PZT세라믹스로 제조된 탐촉자에서와 같이 펄스가 인가되어 트랜스듀서에 수신된 시간(약 80 sec)과 음속(약 1,500 m/s)으로부터 식 c=L/t(c:수중의 음속, L:송수파기의 거리, t:지연시간의 차)에 의해 계산된 거리(초음파 탐촉자와 반사판의 거리 6 cm)와 거의 일치하였다. 그리고 시편 자체와 펄스-에코응답에서의 파형을 FFT(Fast Fouirer Transform)분석을 했을 경우 공진 주파수가 일치되고 있음을 그림에서 알 수 있다.

Ⅳ. 결 론

다공질 PZT세라믹스를 제작한 후 이를 진동자로 하여 제작된 트랜스듀서의 펄스에코 응답특성으로 부터 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 단일상 PZT 트랜스듀서는 낮은 정수압 전압정수 g_h값으로 인하여 진동의 울림이 여러 주기동안 계속되어 수신감도가 저하되었다.
2. 다공질 PZT 세라믹 트랜스듀서는 단일상에 비하여 출력파형이 계속적인 진동의 울림(ringing)은 나타나지 않고, 시간에 따라 급격한 울림감쇠(ringdown) 현상이 일어나 송신 및 수신특성이 단일상 세라믹에 비하여 양호하게 나타났다.
3. 시편 자체와 펄스-에코응답에서의 파형을 FFT(Fast Fouirer Transform)분석을 했을 경우에 있어서 공진주파수가 잘 일치하였다.
4. 트랜스듀서에 수신된 시간과 음속에 의해 구한 거리는 단일상 PZT 세라믹스와 다공질 PZT 세라믹스로 제조된 탐촉자는 모두 펄스가 인가되어 트랜스듀서에 수신된 시간과 음속으로부터 계산된 거리와 잘 일치하였다.

참 고 문 헌

1. R.E. Newnham, A. Safari, G. Sa-Gong & I. Giniewicz, "Flexible Composites Piezoelectric Sensors", IEEE Proc., Int'l Ultrason. Sympo., p501, 1984.
2. G. Sa-Gong, A. Safari, S.J. Jang & R.E. Newnham, "Poling Flexible Piezoelectric Composites", Ferroel. Lett., 5(5), p131, 1985.
3. 박 정학, 최 헌일, 사공 건, "다공질 PZT 세라믹의 제작 및 전기적 특성", 대한전기학회 논문집, p1678, 1994.
4. 사공 건, 최 헌일, "사전 분극처리된(Prepoled) 유연한 1-3 세라믹/고분자 복합압전체의 PZT 체적비에 따른 전기적 특성", 대한전기학회 논문지, 42권, 11호, pp.100~106, 1993.
5. W.R. Scott, "Durable Lead Attachment Techinques for PVDF Polymer Transducers with Application to High Voltage Pulsed Ultrasonics", Ferro., Vol.32, pp.79~83, 1981.