

거리측정용 PZT-고분자 3-3형 복합압전체 트랜스듀서의 펄스에코 응답특성

Pulse-echo Response of Ultrasonic Transducer Fabricated by PZT-Polymer 3-3 Type Composite Resonator for Distance Measurement Applications

주 용관* · 박 정학 · 최 현일 · 사공 건
동아대학교 전기공학과

Yong-Khoan Joo* · Jung-Hak Park · Hun-Il Choi & 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 PZT-polymer 3-3 type composite transducer with various PVA wt.% were studied. The fall time of pulse-echo response of PZT-polymer 3-3 type composite 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 PZT-polymer 3-3 type composite fabricated transducer.

단일상의 단점을 개선하기 위하여 낮은 밀도 및 비유전율을 가진 소재의 개발이 요구되고 있다.¹⁻²⁾

이에 부응하기 위하여 본 연구에서는 압전성이 높은 PZT와 비유전율이 낮은 고분자를 복합화한 PZT-고분자 3-3형 복합압전체를 제작하였다. 이를 위해 용융염합성법에 의해 제조된 압전 세라믹 PZT 분말로 다공질 세라믹을 제조하였으며 이들을 3-3형 복합압전체 제작용 filler로 사용하였다. 이때 다공질 세라믹의 기공 형성을 위한 plastic sphere로는 PVA(polyvinylalcohol)를 사용하였으며, BURPS법(burnout plastic sphere method)에 의해 제작하였다. 이들 복합압전체 시편을 진동자로 하여 초음파 트랜스듀서를 제작한 후, 그들에 대한 pulse-echo 응답특성을 조사함으로써 거리측정용 초음파트랜스듀서로서의 응용가능성을 검토하였다.

I. 서론

지금까지 PZT계 압전 세라믹스는 압전성 및 전기기계결합 특성이 우수하여 압전 트랜스듀서 재료로서 광범위하게 사용되고 있다. 그러나 단일상 PZT소자만으로 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

II. 실험 방법

본 실험에서 다공질 세라믹 제조를 위한 세라믹 분말은 동질이형 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(°C/hr)의 비율로 승온하여 500(°C)에

서 2시간 유지하여 세라믹에 분산, 혼합되어 있는 plastic sphere를 burn-out시킨 다음 1,150(°C)에서 1시간 소결하여 다공질 시편을 얻었다.³⁾ 이들 다공질 시편을 편 두께 진동모드에 적합한 시편으로 가공하고, 초음파 세척기로 세척한 수 에폭시 수지 (Eccogel 1365-25; Emerson & Cuming Inc.)와 조합하여 70(°C)에서 8시간 경화시킴으로써 3-3형 복합압전체를 제작하였다. 이들 시편에 상온 건조용 은전극을 도포한 후 75(°C)의 실리콘 기름 중에서 30~35(kV/cm)의 전계를 10분 인가하여 분극처리 하였다.

PZT-고분자 3-3형 복합압전체 소자로 제작된 트랜스듀서는 음향임피던스가 비교적 큰 내경 15(mm)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 옴성 접촉(ohmic contact)이 되도록 하기 위해 은전극을 사용하여 접촉시킨 후 에폭시를 얇게 덧입혔다. 트랜스듀서의 펄스에 코 응답은 Testpro System(Transducer Characterization System)과 Pulse Receiver (1010PR, ACCU-TRON Inc.)를 통하여 평가하였다.

III. 실험 결과

단일상 PZT세라믹스, PZT-고분자 3-3형 복합압전체가 초음파 트랜스듀서용 탐촉자로 사용될 경우의 펄스-에코 특성을 조사하기 위하여 그림 1과 같은 임펄스(impulse) 형태를 인가하여 시편 자체의 진동특성 및 펄스-에코 응답특성을 얻었으며, 이때 인가된 임펄스 신호의 크기는 10배의 프로브(probe)를 사용하여 측정된 것이다.

그림 2의 (a) 및 (b)는 단일상 PZT를 진동자로 사용하여 자체 제작한 초음파 트랜스듀서의 펄스-에코 응답특성을 나타낸 것이다. 그림 (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. 이때 시편 자체와 펄스

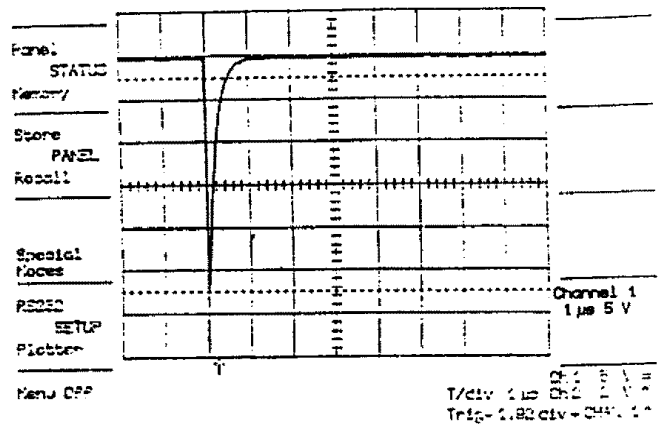
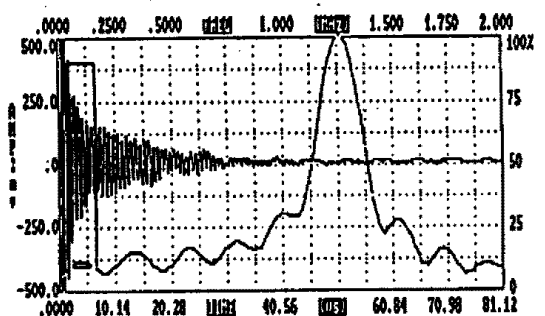


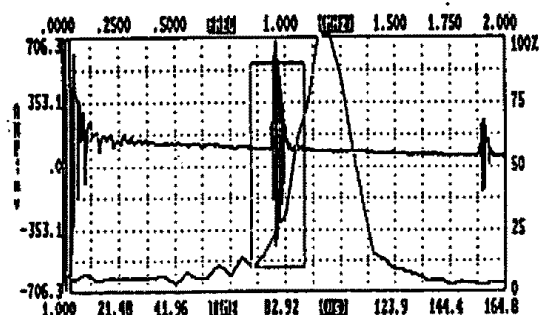
Fig. 1. Input pulse of transducer analyzer.

-에코 응답에서의 파형을 FFT(Fast Fourier Transform)분석을 했을 경우의 공진주파수가 일치되고 있음을 그림에서 알 수 있다.

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)



(a)



(b)

Fig. 2. Pulse-echo response of solid PZT transducer.

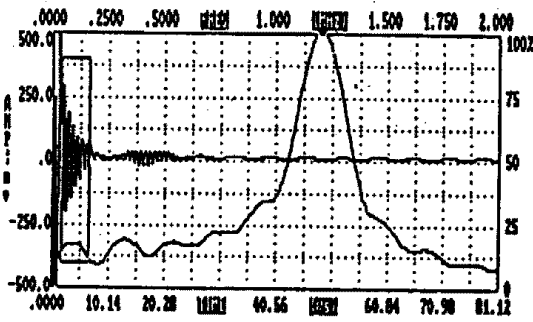
(a) Vibrating waveform between electrodes.

(b) Waveform of echo signal.

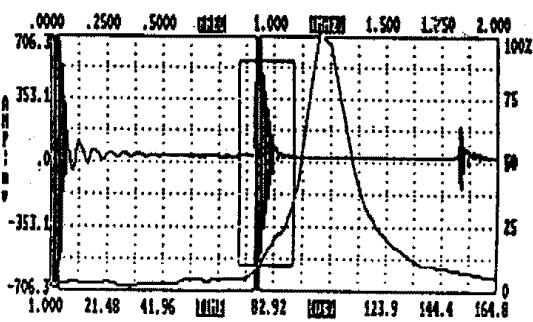
과 음속(약 1,500 m/s)으로부터 식 $c=L/t$ (c :수중의 음속, L :송수파기의 거리, t :지연시간의 차)에 의해 계산된 거리(초음파 탐촉자와 반사판의 거리 6 cm)와 거의 일치하였다.

그림 3~5는 PVA의 중량비를 달리하여 제작한 PZT-고분자 3-3형 복합압전체를 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.

PZT-고분자 3-3형 복합압전체는 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 천하정수 d_h 와 전압정수 g_h 값이 높아져 송신 및 수신특성이 개선된 것으로 생각된다.⁵⁾

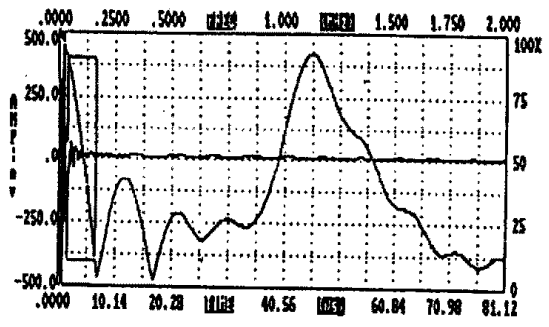


(a)

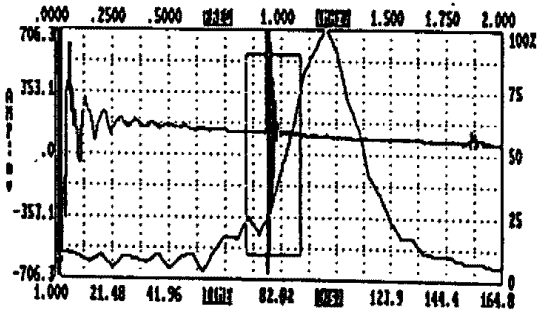


(b)

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



(a)



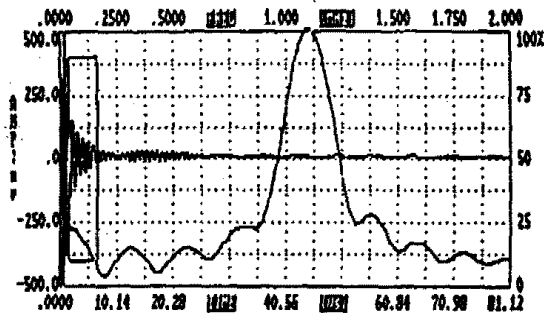
(b)

Fig. 4. Pulse-echo reponse of PZT-polymer 3-3 type composite transducer. (10.0 wt.% of PVA)
(a) Vibrating waveform between electrodes.
(b) Waveform of echo signal.

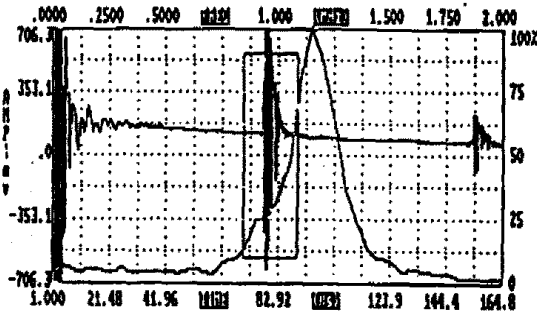
또한 PVA의 중량비를 달리하여 제작한 PZT-고분자 3-3형 복합압전체를 진동자로 사용하여 제작한 초음파 트랜스듀서의 펄스-에코 응답특성에서는 단일상 PZT세라믹스로 제조된 탐촉자에서와 같이 펄스가 인가되어 트랜스듀서에 수신된 시간(약 80 sec)과 음속(약 1,500 m/s)으로부터 식 $c=L/t$ (c :수중의 음속, L :송수파기의 거리, t :지연시간의 차)에 의해 계산된 거리(초음파 탐촉자와 반사판의 거리 6 cm)와 거의 일치하였다. 그리고 시편 자체와 펄스-에코응답에서의 파형을 FFT분석을 했을 경우 공진 주파수가 일치되고 있음을 그림에서 알 수 있다.

IV. 결론

용융염합성법에 의해 제조된 PZT 시편을 충전제로 사용, 고분자 매질로 Epoxy 수지계인 Eccogel 1365-25와 조합하여 3-3형 복합압



(a)



(b)

Fig. 5. Pulse-echo response of PZT-polymer 3-3 type composite transducer. (15.0 wt.% of PVA)
 (a) Vibrating waveform between electrodes.
 (b) Waveform of echo signal.

전체를 제작한 후, 이들을 진동자로 사용하여 제작된 트랜스듀서의 펄스 응답특성으로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 단일상 PZT 트랜스듀서는 낮은 전압정수 g_{33} 값으로 인하여 진동의 울림이 여러 주기동안 계속되어 수신감도가 저하되었다.
2. PZT-고분자 3-3형 복합압전체 트랜스듀서는 단일상에 비하여 출력파형이 계속적인 진동의 울림은 나타나지 않고, 시간에 따라 급격한 울림감쇠현상이 일어나 송신 및 수신특성이 단일상 세라믹에 비하여 양호하게 나타났다.
3. 시편 자체와 펄스-에코응답에서의 파형을 FFT분석을 했을 경우에 있어서의 공진주파수가 잘 일치하였다.
4. 단일상 PZT 및 다공질 PZT 세라믹으로 제조된 탐촉자의 경우 트랜스듀서에 수신된 시간 및 음속으로부터 계산된 거리(6 cm)와 트랜스듀서와 반사판까지의 거리가 거의 일치하였다.

이상의 결과로부터 3-3형 복합압전체를 진동자로 하여 복합압전체 트랜스듀서를 제작함으로써 수중에서 송수신특성이 향상되어 거리 센서로 활용이 기대된다.

참고 문헌

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 현일, 사공 건, "다공질 PZT 세라믹의 제작 및 전기적 특성", 대한전기학회 논문집, p1678, 1994.
4. 사공 건, 최 현일, "사전 분극처리된 (Prepoled) 유연한 1-3 세라믹/고분자 복합 압전체의 PZT 체적비에 따른 전기적 특성", 대한전기학회 논문지, 42권, 11호, pp.100~106, 1993.
5. W.R. Scott, "Durable Lead Attachment Techniques for PVDF Polymer Transducers with Application to High Voltage Pulsed Ultrasonics", Ferro., Vol.32, pp.79~83, 1981.