

Level Limit스위치용 1-3형 복합압전체 트랜스듀서의 펄스-에코응답특성

Pulse-echo Response of Piezoceramic-Polymer 1-3 Type Composite Transducer for a Level Limit Switch Applications

최 현일*, 손무현**, 김홍근*, 박경일*, 사공 건*
*동아대학교 전기전자컴퓨터공학부, 동명대학 전기과

H.I. Choi*, M.H. Sohn**, H.K. Kim*, K.I. Park*, G. Sa-Gong*
*Dong-A University, **Dongmyung College.

Abstract

In this study, the piezoelectric ceramics PZT powder was synthesized by the Wet-Dry combination method. Flexible 1-3 type composite specimens were fabricated with the piezoceramics PZT filler phase and Eccogel polymer matrix phase. This paper represents the pulse-echo response of the 1-3 type composite transducer to check it out to investigate a basic property regarding a level limit switch. The acoustic impedance of 1-3 type composite was improved than that of single phase PZT ceramics. The pulse-echo response of transducer fabricated with the self-made 1-3 type composites resonator was better than that of the solid PZT transducer.

1. 서 론

지금까지 압전 재료로 사용되고 있는 PZT (Lead Zirconate Titanate)는 압전성 및 전기 기계결합 특성이 우수하여 압전 트랜스듀서 재료로 광범위하게 사용되고 있으나, 단일상 재료가 갖는 한계성으로 응용 및 기능적 측면에서 어려움이 있다.

따라서 초음파진동자, 점화장치(ignitor), 세라믹필터, 가속도 측정장치, 압력 및 거리센서, 레벨메타 등 각종 트랜스듀서 재료에 사용되기 위해 각종 트랜스듀서 재료에 사용되기 위해서 공

기나 물과의 음향임피던스 정합(matching)을 개선하기 위해 낮은 밀도와 유연성이 요구된다.^{1,2)} 이들 특성을 개선하기 위해 R. E. Newnham 등에 의해 복합압전체의 상접속도³⁾가 제안된 이래 압전 세라믹과 화학적 반응을 수반하지 않는 고분자를 결합한 복합압전체, 즉 압전성이 큰 세라믹과 유연성이 있는 고분자매질(Polymer matrix)을 복합화한 PZT-고분자 복합압전체에 대한 연구가 진행되어 오고 있다.^{4,5)}

이에 부응하기 위하여 본 연구에서는 습식건식법에 의해 제조한 PZT 분말을 사용하여 PZT 소결체를 제작한 다음⁶⁾ 이를 복합압전체 제조용 충전상(Filler phase)으로 사용하고, 고분자 매질상(Polymer matrix phase)으로는 에폭시 수지계(Eccogel series)를 사용하여 1-3형 복합압전체 소자를 제조하였다. 이들 시편을 진동자로 사용하여 초음파 트랜스듀서를 제작한 후 레벨 Limit

* : 동아대학교 전기전자컴퓨터공학부

E-mail : gsagong@donga.ac.kr Fax : 051-200-7743

** : 동명대학 전기과

스위치 제작을 위한 기초 조사를 위한 Tone-burst echo법에 의한 펄스-에코응답특성에 대해 연구하였다.

2. 실험방법

2.1. 1-3형 복합압전체의 제조

먼저, 압전세라믹 충전상으로 사용될 PZT 소결체를 제조하기 위해 하소된 분말에 binder로 20(wt.%) PVA(Polyvinyl Alcohol) 수용액을 6.54(wt.%) 첨가하여 80mesh sieve로 선별한 후 19,500(psi)의 압력으로 직경 15(mm)의 disc형태로 시편을 제작한 다음 600(°C)에서 2시간 동안 burn-out을 시키고 300(°C/Hr)의 비율로 1,100(°C)까지 승온시켜 1시간 동안 공기 중에서 소결하였다.

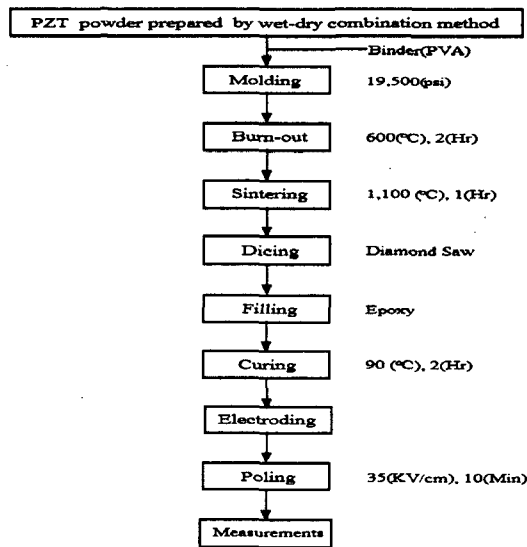


Fig.1. Flow chart for making 1-3 typ composite specimens

소결은 기억용 콘트롤러(Shimadzu FP21, Japan)를 사용하여 고온 전기로 중에서 가열하였으며, 승온률과 같은 비율로 냉각하여 PZT 소결체를 제조하였다. 이때 측정된 PZT의 평균밀도는 약 7.65(g/cm³)로 이론밀도 7.9(g/cm³)에 비해 조금 낮은 값을 나타내었다.

이들 소결된 PZT를 dice-filling법을 사용하여 diamond saw로 일정하게 자른 후 Epoxy Resin계(Eccogel 1365-45:Emerson & Cuming Inc.)에 진

공 함침시킨 후 90(°C)에서 2시간 동안 경화시켜 1-3형 복합압전체 시편을 제조하였다. 그리고 다시 diamond saw로서 적정 두께로 자른 후, 표면을 잘 연마하여 초음파 세척기로 세척한 다음 상온용 은전극(silver paste:Dotite #D-550)을 도포하고 80(°C)의 실리콘 기름 중에서 35[kV/cm]의 전계를 10분 동안 인가하여 분극을 행하였고, 24시간 aging시킨 후 복합압전체 소자의 특성을 측정하였다.

2.2. 1-3형 트랜스듀서의 제작

두께 진동모드로 제조된 1-3형 복합압전체 소자를 진동자로 사용하여 트랜스듀서를 제작하였다. 이들 1-3형 복합압전체 진동자의 음향특성을 비교하기 위하여 PZT 소결체를 진동자로 한 트랜스듀서도 자체 제작하였다. 이때 트랜스듀서는 음향임피던스가 비교적 큰 내경이 15(mm)인 알루미늄 파이프를 사용하였으며, 파이프의 한쪽은 진동자를 고정하였고, 다른 한쪽은 BNC 콘넥터를 부착하였다. 이때 진동자의 시효(aging)발생을 감소시키기 위하여 (+)전극을 안쪽으로 향하게 하였고, 신호선(signal line)으로는 은선(silver wire)을 사용하였다. 또 바깥면에는 접지선을 BNC 콘넥터로 접속하고, 가능한 음접촉(ohmic contact)이 되도록 하기 위해 은전극을 사용하여 접착시켰다. 그리고 수중에서의 측정을 위해 실리콘 고무와 테프론 테이프를 사용하여 탐촉자를 완전 밀폐하였으며, 약 1(m)정도의 리드선을 부착하였다.

3. pulse-echo 응답특성

자체 제작한 단일상 PZT 및 1-3형 복합압전체 트랜스듀서의 pulse-echo 응답을 관찰하기 위하여 짧은 impulse 신호를 발생시킬 수 있는 초음파 트랜스듀서 분석기(ultrasonic transducer analyzer: Ritec system 10000)를 사용하였다. 이때 pulse-echo 측정을 위한 평면 반사판은 스테인레스 강판으로 평면의 표면 처리는 2(μm)로 가공하였다. 후면으로부터의 여러 가지 반사파 간섭을 피할 수 있도록 충분한 두께 30(mm)로 하였으며, 반사판의 넓이는 측정할 트랜스듀서 빔 (beam)의 최대 지향성을 감안하여 150×130(mm)로 하였다.

4. 측정결과 및 고찰

4.1. 1-3형 복합압전체 소자의 특성

표 1은 자체 제작한 PZT 소자와 PZT-에폭시 1-3형 복합압전체 소자의 특성을 요약하여 나타내었다. 1-3형 복합압전체 소자의 경우 PZT소자에 비해 밀도 및 종속도가 작아짐으로써 수중 음향임피던스가 개선되었고, 탄성컴플라이언스가 증가되어 기계적 충격에 대한 흡수능력이 증대될 것으로 기대된다.

Table 1. Properties of 1-3 type PZT-Epoxy composite specimen

특 성	단일상 PZT	1-3형 복합압전체
밀 도(g/cm ³)	7.65	1.8~4.4
탄성컴플라이언스 S_{33}^E ($\times 10^{-12}$ m ² /N)	9	51~55
비유전율	1,800	210~224
유전손율	0.03	0.03
압전계수 d_{33} ($\times 10^{-12}$ C/N)	380	340~350
압전전압정수 g_{31} ($\times 10^{-3}$ Vm/N)	2.7	143~151
기계적 품질계수 Q_m	80	5~10
두께방향 결합계수 K_t	0.72	0.60~0.65
음향임피던스 (Mray)	31	6.7~7.0
성능지수 $d_{33} \cdot g_{31}$ ($\times 10^{-15}$ m ² /N)	60	37,960~39,860

그림 2는 1-3형 복합압전체가 트랜스듀서로 사용될 경우의 초음파 특성을 조사하기 위하여 측정 시스템에 가해지는 임펄스(impulse)를 나타내고 있다.

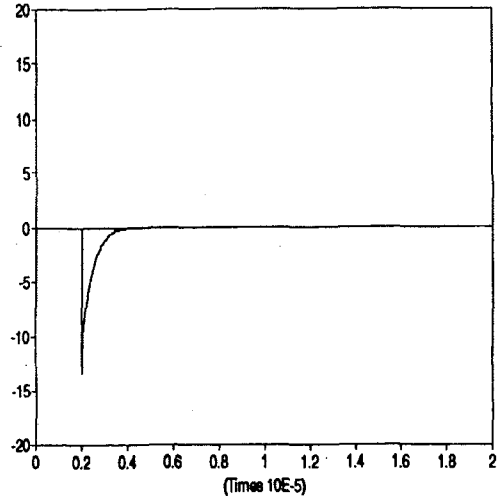
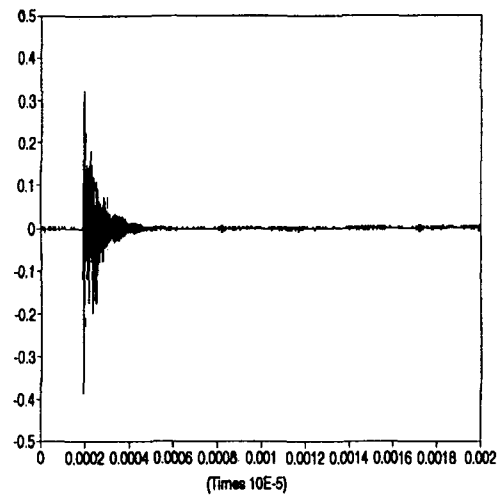


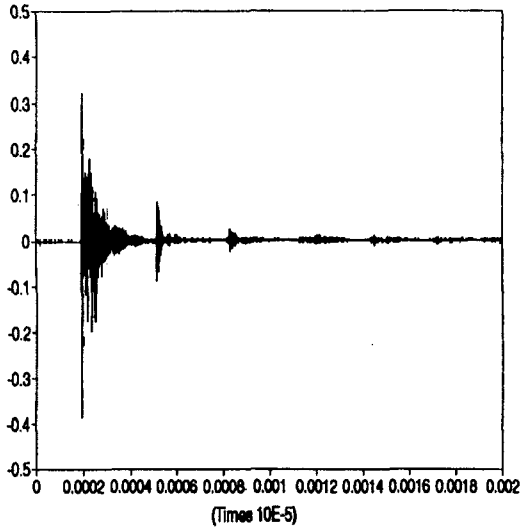
Fig. 2. Applied impulse

그림 3의 (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)에서 2번째에 나타나는 파형군은 수중에서의 펄스-에코응답을 나타낸 것이다.

그림(a)에서 출력파형은 진동의 울림(ringing) 감쇠가 비교적 오래 지속되고 있다. 이는 수산감도를 저하시키는 원인이 될 것을 예측할 수 있으며, 압전세라믹스 PZT의 수중 전압정수(g_{31} , g_{33})가 작기 때문으로 생각된다.



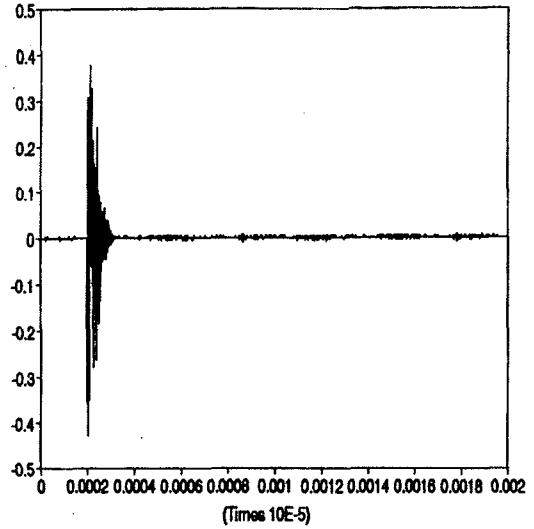
(a)



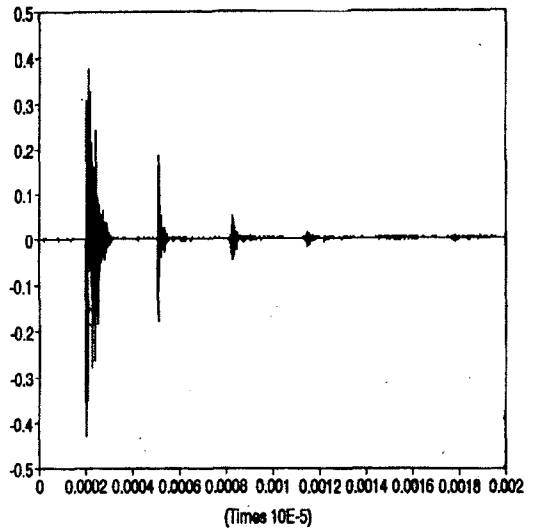
(b)

Fig.3. Pulse-echo response of solid PZT transducer
(a) Vibration waveform between electrodes.
(b) Waveform of echo signal.

그림 4는 1-3형 복합압전체 소자를 진동자로 사용하여 제작한 초음파 트랜스듀서의 펄스-에코 응답특성을 나타낸 것이다. 그림 (a)의 파형군은 인가된 임펄스에 의해 진동자 자체의 진동에 의하여 나타난 파형이며, 그림 (b)에서 2번째에 나타나는 파형군은 수중에서의 펄스-에코 응답특성을 나타낸 것이다. 1-3형 복합압전체는 단일상 PZT 세라믹의 응답파형에 비하여 지속적인 진동의 울림(ringing)은 나타나지 않고 시간에 따라 급격한 울림감쇠(ring down) 현상이 일어나 송신 및 수신특성이 단일상 세라믹에 비하여 양호하게 나타났다. 이는 1-3형 복합압전체 트랜스듀서의 성능지수가 PZT소자로 제작한 트랜스듀서에 비하여 향상됨으로써 송수신특성이 개선될 것임을 예측할 수 있다. 또한, 1-3형 복합압전체 트랜스듀서의 경우 단일상 PZT 세라믹만으로 제작된 탐촉자에서와 같이 트랜스듀서에 수신된 시간과 음속에 의해 구한 거리는 실제 탐촉자와 반사판과의 거리 (22cm)와 잘 일치하였다.



(a)



(b)

Fig. 4 Pulse-echo response of PZT/Polymer 1-3 type composite transducer.

(a) Vibrating waveform between electrodes.
(b) Waveform of echo signal.

4. 결 론

자체 제작한 1-3형 복합압전체 트랜스듀서의 Tone-burst echo법에 의한 펄스-에코 응답특성에서 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 자체제작한 단일상 PZT 트랜스듀서는 진동의

울림이 여러주기 동안 계속되었다.

2. 1-3형 복합압전체소자로 제작한 초음파 탐촉자의 펄스-에코응답특성에서는 단일상 PZT에 비해 진동의 지속적인 울림은 나타나지 않고 급격한 울림감쇠 현상이 일어나 양호한 송신 및 수신특성을 얻을 수 있었다.
3. 탐촉자에서와 같이 트랜스듀서에 수신된 시간과 음속에 의해 구한 거리는 실제 탐촉자와 반사판과의 거리(22cm)와 잘 일치하였다.

이상의 결과로부터 1-3형 복합압전체 초음파 트랜스듀서를 사용하여 공진주파수에서 공기중과 수중에서의 출력신호의 측정, 주파수에 따른 진폭 및 위상 특성, Limit스위치를 구동시키기 위한 발진회로 등을 연구하면 우수한 액면 감시 시스템에 응용될 수 있음을 알 수 있었다.

본 연구는 과학기술부·한국과학재단 지정, 부산광역시 지원 지역협력연구센터인 동의대학교 전자세라믹스연구센터의 지원에 의한 것입니다.

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., p.501, 1984.
2. G. Sa-Gong, A. Safari, S.J. Jang & R.E. Newnham, "Poling Flexible Piezoelectric Composites", Ferroel. Lett., 5(5), p.131, 1985.
3. R.E. Newnham, D.P. Skinner & L.E. Cross, "Connectivity and Piezoelectric Pyroelectric Composite", Mat. Res. Bull., 13, p.525, 1978.
4. D.P. Skinner, R.E. Newnham & L.E. Cross, "Flexible Composites Transducer", Mat. Res. Bull., 13, p.509, 1978.
5. T.R. Shrout, W.A. Schulze & J.V. Biggers, "Simplified Fabrication of PZT/Polymer Composites", Mat. Res. Bull., 14, p.1553, 1979.
6. 최현일, 사공건, "사전분극처리된(Prepoled) 유연한 1-3 세라믹/고분자 복합압전체의 PZT 체적비에 따른 전기적 특성", 대한전기학회 논문지, 42권 11호, pp.100~106, 1993.