

수중용 레벨메터의 제작 및 펄스-에코 특성

양 윤석*, 김 철한, 사공 건
 동아대. 전기공학과

Fabrication and Pulse-echo Response of Level-Meter for Underwater

Y.S Yang*, C.H Kim, G Sa-Gong
 Dept. of Electrical Eng., Dong-A University

Abstract - In this study, 1-3 type composite specimens were fabricated with PZT powders prepared by the molten-salt synthesis method and Eccogel polymer matrix. A virtual level-meter was fabricated with a 1-3 type composite probe and electronic unit for underwater application. There was no difference in values between a virtual and measured level on its level meter.

압전 세라믹 filler로 사용될 PZT 소결체를 제조하기 위한 제조공정은 그림 1과 같다. 먼저, 용융염합성법에 의해 제조된 PZT분말에 binder로 20(wt.%)의 PVA(Polyvinyl Alcohol) 수용액을 10(wt.%) 첨가하여 80 mesh seive로 선별한 후, 19,500(psi)의 압력으로 직경 15(mm)의 disc 형태로 시편을 제작하여 600(°C)에서 2시간 동안 burn-out을 시키고, 300(°C/Hr)의 비율로 1,100(°C)까지 승온시켜 1시간 동안 공기 중에서 소결하였다.

1. 서 론

지금까지 PZT(Lead Zirconate Titanate)계 세라믹스가 압전특성 및 결합계수가 우수하여 초음파진동자, 점화장치(ignitor), 세라믹필터, 가속도 측정장치, 압력 및 거리센서, 레벨메터 등 각종 트랜스듀서 재료에 널리 사용되고 있다¹⁻²⁾.

초음파 레벨메터는 초음파를 이용하여 탱크 내의 액체, 고체 등의 level을 측정하는 기기로서 현재 다양하게 공업용으로 사용되고 있다. 레벨메터의 경우 기계식 및 가스 유입식 등이 있으며, 기계식의 경우 장기간 사용 시 부식의 우려가 있고 정확도가 떨어지고 있다. 반면 가스 유입식은 사용 시 폭발의 위험이 있으므로 기계적인 가동부가 없으며 보수가 용이하고 장기간 사용이 가능한 초음파 트랜스듀서를 사용한 레벨메터에 대한 연구가 진행되고 있다. 국내에서는 다양하게 요구하는 사양에 부합되는 레벨메터를 제작할 수가 없어 대부분 수입에 의존하고 있어서 이의 국산화가 절실한 현실이다³⁾.

본 연구에서는 압전정수가 높은 세라믹스와 유전율이 낮은 고분자 매질을 복합화한⁴⁻⁵⁾ 1-3형 복합압전체 트랜스듀서를 제작하였다. 이들을 제조하기 위하여 충전상(filler phase)으로 사용될 PZT분말은 NaCl-KCl 용융염합성법(Molten-Salt Synthesis)⁶⁾에 의해 합성하였고, 고분자 매질(polymer matrix)은 에폭시수지계(Eccogel 1365-45)를 사용하여 1-3형 복합압전체 소자를 제조하였다. 이들 시편을 진동자로 사용하여 초음파 트랜스듀서를 제작한 후 수중용 레벨메터를 제작하였다. 피측정물의 레벨을 디지털화 하기 위해 Electric Unit를 자체 제작하였으며, Tone-burst echo법에 의한 펄스-에코응답특성에 의해 이들의 성능을 평가하였다.

2. 실험 방법

2.1 PZT소결체의 제조

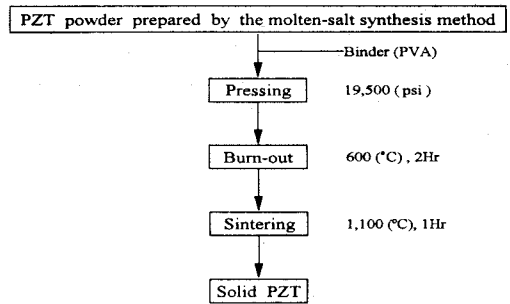


Fig. 1 Flow chart for sintered PZT

소결시 도가니 내부에 풍부한 PbO 분위기를 유지하기 위해 PbO와 ZrO₂를 동 mole비로 혼합한 것(source)을 도가니의 위, 아래에 각각 20g씩 놓았다.

2.2 1-3형 복합압전체의 제조

소결된 PZT를 filler로 사용하여 1-3형 복합압전체 소자를 제조하기 위해 먼저 소결된 시편을 diamond saw를 이용하여 적당한 두께로 자른 후 Eccogel-45와 조합하여 80(°C)에서 2시간동안 경화시켜 1-3형 복합압전체를 제조하였다. 제조된 시편을 다시 적정 두께로 자른 후, 상온용 은전극(Du pont #7095)을 도포하고, 120(°C)의 실리콘 기름중에서 35(kV/cm)의 전계를 10분 동안 인가하여 분극처리를 행하였다.

2.3 초음파 탐촉자의 제작

자체 제작한 1-3형 복합압전체 소자를 진동자로 사용하여 초음파 트랜스듀서용 탐촉자(probe)를 제작하였다.⁷⁾ 이 탐촉자는 음향임피던스가 비교적 큰 동(copper)파이프를 사용하였으며, 내경은 15(mm)이다. 그리고 탐촉자의 한쪽은 진동자를 고정하였고, 다른 한쪽은 BNC 콘넥터를 부착하였으며, 진동자 주위는 실리

콘 고무로 얇게 덧입혀 각종 특성을 조사할 수 있는 구조로 제작하였다. 이때 진동자의 시효(aging)발생을 감소시키기 위하여 (+)전극을 안쪽으로 향하게 하였고, 신호선(signal line)으로는 은선(silver wire)을 사용하였다. 또 바깥면에는 접지선을 BNC 컨넥터로 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 1m정도의 리드선을 부착하였다.

2.4 Electric Unit

본 연구에서는 자체 제작한 초음파 트랜스듀서의 펄스-에코 응답특성을 이용하여 피측정물의 레벨을 측정하였다. 트랜스듀서의 송수신 신호의 시간차를 전압으로 연산하고 디지털화 하기 위하여 electric unit를 자체 제작하였으며, 이들의 블록도를 그림 2에 나타내었다. 초음파 트랜스듀서의 발진부는 LM555(비안정발진기)를 사용하였으며, 발진신호를 임펄스화하기 위하여 단안정 발진기와 펄스트랜스를 사용하였다. 송수신된 펄스신호는 clamping부와 증폭기를 거쳐 comparator에 의해 기준레벨(0.01V)과 비교하여 선택된다. 이 신호들은 gate와 적분기를 거쳐 sample holder에 의해 저장되며, 초음파 트랜스듀서의 자체 공진에 의한 dead time을 보상하는 보상기를 거쳐 A/D 컨버터를 통해 digital화하였다.

3. 결과 및 고찰

1-3형 복합압전체 프로브가 레벨미터에 사용될 경우의 초음파 특성을 조사하기 위하여 그림 3와 같은 임펄스(impulse) 형태를 인가하여 pulse-echo 응답특성을 얻었으며, 이때 인가된 임펄스 신호의 크기는 1/100로 감소시킨 것이다.

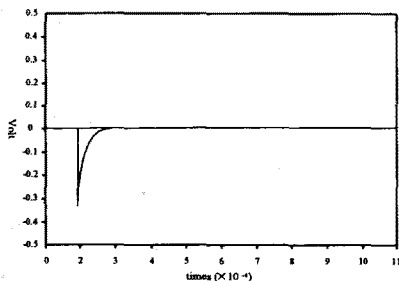


Fig. 3 Applied impulse

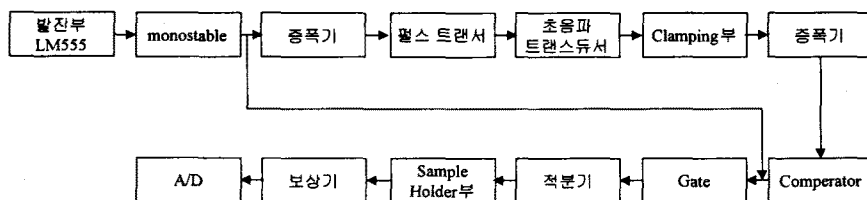
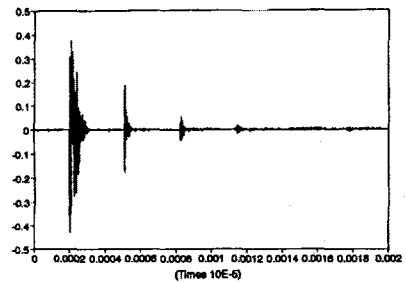


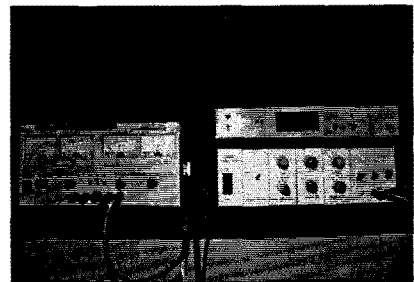
Fig. 2 Block diagram for electric unit

그림 4는 피측정 레벨의 높이가 약 11cm인 경우의 펄스-에코 응답특성과 측정레벨을 나타내고 있다. 그림 3와 같은 입력 임펄스가 트랜스듀서에 가해지면 트랜스듀서는 여기되어 음파가 수중에 전달된다. 전달된 음파는 피측정물의 표면에서 반사되어 트랜스듀서에 수신되며, 이와 같은 과정의 반복을 거쳐 음파는 점차 감쇠되어 소멸된다. 그림 4(a)는 초음파 트랜스듀서의 펄스-에코특성을 나타낸 것으로, 첫 번째 좌측에 나타나는 파형군(波形群)은 인가된 임펄스에 의해 진동자 자체의 진동에 의해 반복되어 나타난 파형이며, 두 번째 파형군은 진동자의 진동에 의해 수중으로 진행하여 반사되어 오는 수신파로 이 또한 앞의 경우와 같은 과정의 반복에 의해 파형군으로 나타난다. 그림에서 보듯이 비교적 울림감쇠(ringdown)현상이 적어서 첫 번째 파형군과 두 번째 파형군의 식별이 용이하였고, 이들의 시간간격을 전압으로 변화시켜 A/D 컨버터를 통해 나타낸 것이 그림 4(b)이다. 측정레벨은 11cm로 실제값과 일치하였으며, 레벨미터로서 응용이 가능함을 확인할 수 있었다.

수신파의 응답특성은 전혀 중폭하지 않은 값으로 양호한 송·수신특성을 얻을 수 있었으며, 이들 신호를 기준값(cutoff level-0.01V)과 비교하여 송·수신 펄스를 선택하였다.



(a)



(b)

Fig. 4 Pulse-echo response of 1-3-composite transducer when a measuring level is about 11cm
(a) Transmitting and receiving of ultrasonic pulse
(b) Level monitoring by pulse-echo signal

그림 5는 피측정 레벨의 높이를 16cm로 했을 때의 펄스-에코 응답특성을 나타낸 것으로 측정레벨이 실제 16cm의 높이와 잘 일치하였다.

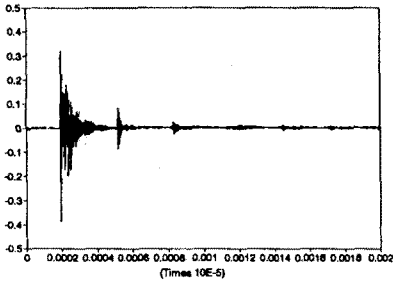


Fig. 5 Pulse-echo response of 1-3 composite transducer when a measuring level is about 16cm

그림 6은 피측정 레벨의 높이를 22cm로 했을 때의 펄스-에코 응답특성을 나타낸 것으로 이 또한 실제의 측정 레벨 22.1cm와 잘 일치하였다.

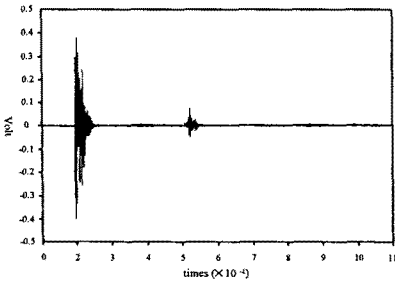


Fig. 6 Pulse-echo response of 1-3 composite transducer when a measuring level is about 22cm

그림 7는 피측정 레벨의 높이를 35.5cm로 했을 때의 펄스-에코 응답특성을 나타낸 것으로 측정레벨이 32cm로 실제값과 거의 일치하였다. 그러나 피측정 레벨의 높이가 증가함에 따라 정확도가 조금 떨어지는 경향을 나타내었다. 이것은 수신신호가 거리의 증가에 따라 급격히 감소하기 때문으로 생각된다.

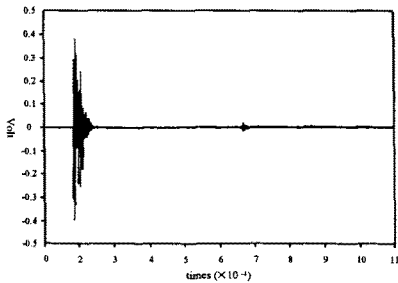


Fig. 7 Pulse-echo response of 1-3 composite transducer when measuring level is about 35.5cm

4. 결 론

1. 자체 제작한 1-3형 복합압전체 초음파 탐촉자의 펄스-에코 응답에서는 진동의 계속적인 울림은 나타나지 않고 급격한 울림감쇠 현상이 일어나 양호한 송·수신특성을 얻을 수 있었다.
2. 1-3형 복합압전체 트랜스듀서를 사용하여 자체 제작한 레벨메터는 최대 32cm 정도의 범위 내에서는 실제값과 측정값이 거의 일치하였으며 수중용 레벨메터로서의 응용이 가능함을 확인하였다.

(참 고 문 헌)

- [1] W. Wersing, "M. Schnoller and H. Wahl, "Monolithic Multilayer Piezoelectric Ceramics", *Ferroelectrics*, Vol. 68, pp. 145~156, 1986.
- [2] T.R. Gururaja et al, "Composite Piezoelectric Transducer", *IEEE Ultrasonic Symp.*, pp. 576~581, 1980.
- [3] 유갑상, 임종학, "레벨메터용 초음파 센서의 특성", 한국전기전자재료학회, 제 12권, pp. 63~69, 1999.
- [4] H. Gcukel and D.W. Burns, "A Technology for Integrated Transducers", *Int. Conf. Solid-State Sensors and Actuators*, pp. 90~92, 1985.
- [5] CMC, "エレクトロニクス用セラミックス", *Technical Reports*, No. 13, pp. 44~49, 1981.
- [6] 이수호, 박준범, 사공건, "압전 세라믹 PZT의 B-Site 치환에 따른 유전 및 압전 특성", 한국전기전자재료학회 학술대회 논문집, pp. 133~136, 1992.
- [7] 이수호, 박정학, 최현일, 사공건, "습식-건식법에 의해 제작된 PZT/고분자 1-3형 복합압전체의 음향 특성", 대한전기학회 학술대회 논문집, pp. 81~83, 1994.