

초음파 변환기용 다공질 PZT 세라믹의 압전 및 음향 특성

Piezoelectric and Acoustic Properties of Porous PZT Ceramics
for Ultrasonic Transducer Applications

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

Jung-Hak Park* · Yong-khoan Joo · 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 was prepared from a mixture of PZT and polyvinylalcohol(PVA) powders by BURPS(Burnout Plastic Sphere) technique. The piezoelectric and acoustic properties with various PVA wt.% were studied. Piezoelectric coefficient d_{33} of porous PZT ceramics was almost same to that of single phase PZT ceramics. The thickness mode coupling factor k_t was 0.53~0.59 in comparable with the single phase PZT ceramics($k_t=0.7$).

I. 서론

지금까지 PZT계 압전 세라믹은 압전성 및 전기기계 결합특성이 우수하여 압전 트랜스듀서 재료로 광범위하게 사용되고 있다. 그러나 PZT 단일상은 밀도가 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)}

이들 특성을 개선하기 위해 다공질 세라믹을 제조하는 방법 및 압전특성에 대한 광범위한 연구가 진행되어 오고 있다.^{3,4)} 다공질 압전 세라믹은 큰 압전 전압정수(g 정수), 낮은 음향 임피던스(Z_0) 및 Q값을 가지므로 고감도 및 광대역을 필요로 하는 트랜스듀서에 응용이 기대된다.⁵⁾

본 연구에서는 비교적 낮은 온도에서 액상을 형성하는 NaCl-KCl 용융염 합성법에 의해 압전 세라믹 PZT를 제조하였으며, 다공질 제조시 기공 형성을 위한 plastic sphere로 PVA(polyvinylalcohol)를 사용, BURPS법(burnout plastic sphere method)에 의해 다공질 세라믹을 제작하였다. 아울러 그들의 압전 및 음향 특성에 대해 연구하였다.

II. 실험 방법

본 실험에서 다공질 세라믹 제조를 위한 세라믹 분말

은 동질이형 상경계(Morphotropic Phase Boundary :MPB)근처의 조성을 가지는 PZT[Pb(Zr_{0.52}Ti_{0.48})O₃]를 용융염합성법으로 제조하였다.⁶⁾ 다공질 PZT 제조를 위한 기공 형성을 위해 plastic sphere 또는 PVA를 사용하였으며, 이때 압전 세라믹과 sphere와의 중량비를 5~15(wt.%)범위로 칭량하여 건조 혼합한 다음, 등압 성형하였다. 그 후 20(°C/hr)의 비율로 승온하여 500(°C)에서 2시간 유지하여 세라믹에 분산, 혼합되어 있는 plastic sphere를 burn-out시킨 다음 1,150(°C)에서 1시간 소결하여 다공질 시편을 얻었다.⁷⁾ 이들 다공질 세라믹의 분극 및 특성 측정을 위해 양면에 은전극(Du Pont #7095)을 도포하고 접촉저항을 줄이기 위해 600(°C)에서 10분동안 열처리를 행하였다. 분극은 120(°C)의 실리콘 기름 중에서 35(kV/cm)의 전계를 10분 인가하여 처리하였으며, 24시간 이상 aging시킨 후 각종 특성을 측정하였다. 압전정수 d_{33} 는 Berlincourt Piezo d_{33} -meter(Model CPIT 3300, Channel Products, Inc., OH 44022)로 측정하였다. 초음파변환기의 특성은 Testpro System Transducer Characterization System과 Pulse generator D910PR ACCU-TRON Inc.)를 통하여 평가하였다.

III. 실험 결과

그림 1은 분극 처리된 다공질 세라믹 시편에 있어서 PVA 중량비의 변화에 대한 압전정수 d_{33} 를 나타낸 것으로

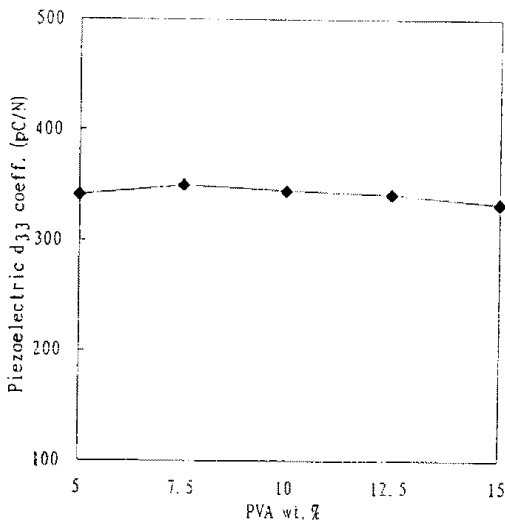


그림 1. 다공질 PZT 세라믹의 d_{33} 계수.
Fig. 1. d_{33} coefficient of porous PZT ceramics

PVA의 중량비가 증가함에 따라 자체 제작한 단일상 PZT의 d_{33} 의 값($364(\times 10^{-12}C/N)$)에 비하여 다공질 PZT 세라믹의 d_{33} 값은 대략 $334 \sim 350(\times 10^{-12}C/N)$ 으로 PZT 단일상의 d_{33} 값에 거의 접근한 결과를 얻을 수 있었다.

그림 2는 또 다른 압전정수의 g_{33} 의 PVA 중량비에 따른 변화를 나타낸 것으로, 단일상 PZT의 g_{33} 의 값($25(\times 10^{-3}Vm/N)$)에 비하여 약 2배 정도 증가된 $35 \sim 43(\times 10^{-3}Vm/N)$ 로 PZT 단일상의 값보다는 높은 값을 나타내었다. 이는 다공질 세라믹의 비유전율의 감소에 기인된 결과로 단일상 PZT보다 오히려 수신 감도가 개선되리라 생각된다.

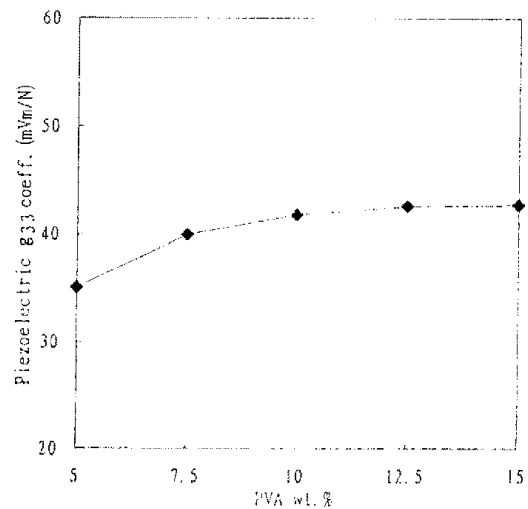


그림 2. 다공질 PZT 세라믹의 g_{33} 계수.
Fig. 2. g_{33} coefficient of porous PZT ceramics

초음파변환기 응용에 있어서 전기기계 결합계수는 압전정수보다 압전재료를 평가하는 데 더욱 많이 이용되는 정수로, PVA 중량비의 변화에 대한 다공질 압전 세라믹의 전기기계 결합계수 k_t 를 그림 3에 나타내었다. 단일상 PZT의 k_t 의 값(0.7)에 비하여 PVA 중량비의 변화에 대해 k_t 값이 대략 0.54~0.59로 PZT 단일상의 k_t 값에 거의 접근하여 전기음향 변환능률이 양호할 것으로 사료된다.

그림 4는 다공질 PZT 세라믹의 기계적 품질계수 Q_m 값을 나타낸 것으로, 단일상 PZT의 Q_m 값이 75~80정도인 것에 비하여 본 연구에서 제작한 다공질 PZT 세라믹의 Q_m 값은 대략 5~6으로 PZT 단일상의 값에 비하여 훨씬 낮은 값을 나타내어 광대역 음향 변환 소자로서의 응용이 가능할 것이다.

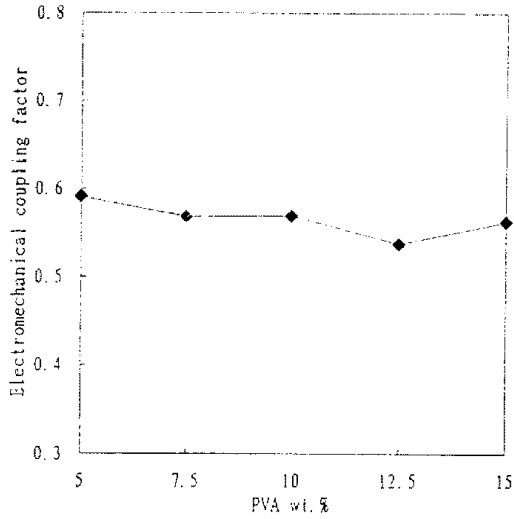


그림 3. 다공질 PZT 세라믹의 k_t 계수.
Fig. 3. k_t coefficient of porous PZT ceramics.

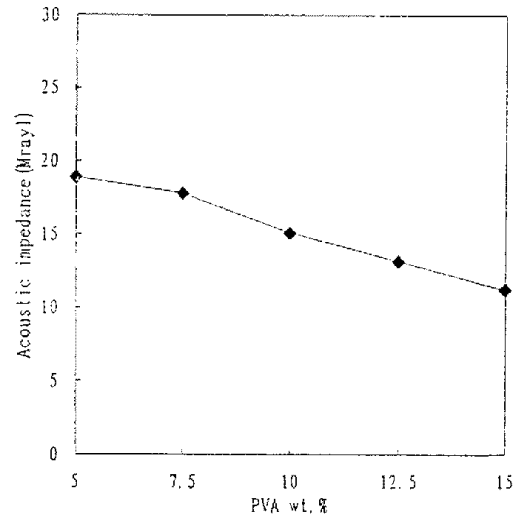


그림 5. 다공질 PZT 세라믹의 음향 임피던스.
Fig. 5. Acoustic impedance of porous PZT ceramics.

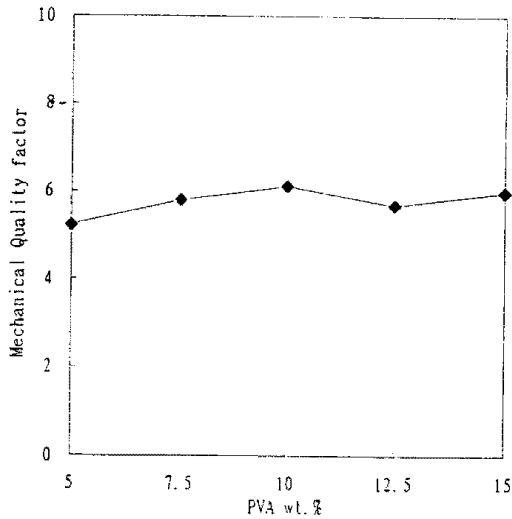
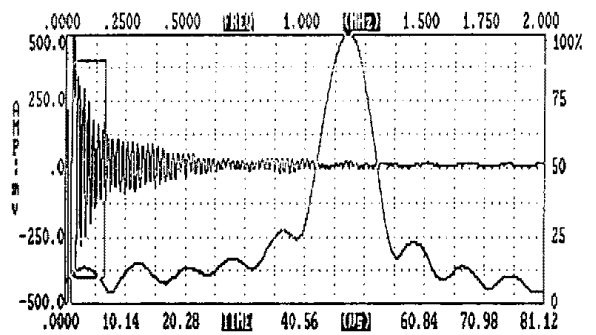


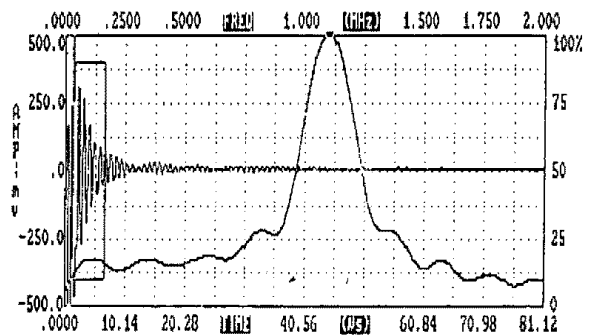
그림 4. 다공질 PZT 세라믹의 Q_m .
Fig. 4. Q_m coefficient of porous PZT ceramics.

그림 5는 다공질 PZT 세라믹의 음향 임피던스를 나타낸 것으로 그림에서와 같이 PVA의 중량비가 증가함에 따라 음향 임피던스는 감소하는 경향을 나타내었는데, 이것은 음향 임피던스가 시편의 밀도 ρ 와 음속 c 에 직접 영향을 받게 되므로 PVA의 중량비가 증가함에 따라 시편의 밀도가 감소하므로 음향 임피던스는 감소하게 된다.

그림 6은 초음파변환기로의 응용시의 펄스 특성을 나타낸 것으로서, 단일상 PZT 세라믹(그림 a)은 진동의 울



(a)



(b)

그림 6. 단일상 및 다공질 PZT 세라믹의 펄스 응답특성
Fig. 6. Pulse response of solid and porous PZT ceramics.

림(ringing)이 여러주기 동안 계속되고 있으나 자체 제작한 다공질 PZT 세라믹(그림 6)은 단일상 세라믹과 같은 진동의 계속적인 울림은 나타나지 않고 시간에 따라 급격한 울림감쇠(ringdown) 현상과 약간의 주파수 특성의 양호할 것으로 사료된다.

IV. 결 론

고감도, 광대역 초음파 변환기에 응용될 다공질 PZT 세라믹을 BURPS법에 의해 제조하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 혼합시의 PVA sphere의 전 중량비(5~15wt.%)에 대해서 다공질 PZT 세라믹의 압전정수 d_{33} 는 $334 \sim 350$ ($\times 10^{-12} \text{C/N}$)으로 PZT 단일상의 d_{33} 값에 거의 접근한 결과를 얻을 수 있었다.
2. 다공질 세라믹의 g_{33} 값은 단일상 PZT의 25 ($\times 10^{-3} \text{Vm/N}$)에 비해 다소 높은 값인 대략 $35 \sim 42$ ($\times 10^{-3} \text{Vm/N}$)을 나타내었다.
3. 다공질 PZT 세라믹의 전기기계 결합계수 k_t 는 $0.53 \sim 0.59$ 로 단일상 PZT의 $k_t(0.7)$ 에 거의 접근하였다.
4. 다공질 PZT 세라믹의 음향 임피던스는 PVA의 중량비가 증가함에 따라 음향 임피던스($Z_{ac}=11 \sim 19$)가 감소하였다.
5. 펄스 특성은 단일상 세라믹에 비하여 다공질 세라믹은 시간에 따라 급격한 울림감쇠(ringdown) 현상이 일어났다.

참 고 문 헌

1. R.E. Newham, 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. Newham, "Poling Flexible Piezoelectric Composites", Ferroel. Lett., 5(5), p131, 1985.
3. B.P.Skinner, R.E.Newham & L.E.Gross, "Flexible Composites Transducer", Mat. Res. Bull., 13, p599, 1978.

4. T.R. Strout, J.A. Schulze & J.A. Higgins "Simplified Fabrication of PZT-Polymer Composites", Mat. Res. Bull., 14, p1553, 1979.
5. K. Hizumura, T. Kurihara & R. Uchino, "Porous Piezoelectric Ceramic Transducer", Jpn. J. Appl. Phys., 30(9B), p2271, 1991.
6. 이 수호, 박 준범, 사공 건, "Flux에 의해 제조된 압전 세라믹(PZT)의 유전 및 압전특성", 대한전기학회 학술대회 논문집, p721, 1992.
7. 박 정학, 최 현일, 사공 건, "다공질 PZT 세라믹의 제작 및 전기적 특성", 대한전기학회 논문집, p1678, 1994.