

PZT세라믹스의 강도에 미치는 내부응력의 영향

(Effect of Internal Stress on the Strength of PZT Ceramics)

강원대학교 재료공학과 김송희 태원필

1. 서론

압전 세라믹스는 압력, 진동, 변형과 같은 기계적 에너지를 전기적 에너지로, 또는 그의 역으로 변환되는 소자로서 특히 압전착화 소자, 압전 transducer 등과 같은 압전 세라믹스에서는 압전특성 못지않게 재료의 수명과 연관이 있는 기계적 강도 및 안정성에 관한 연구 또한 중요함에도 불구하고 이러한 압전 재료에 관한 연구는 주로 우수한 전기적 특성을 갖는 압전재료의 제조 과정 및 압전 특성에만 중점을 두었다.

세라믹스의 기계적 특성에 관한 연구는 구조용 세라믹스를 중심으로 활발하게 진행되어 왔으며 최근 강유전 세라믹스의 재료에 까지 확대되고 있다. 세라믹스 재료는 취약한 재료로서 사전에 거의 소성변형이 일어나지 않고 갑작스럽게 파괴를 일으키기 때문에 파괴의 예측이 극히 어렵다. 일반적으로 세라믹스의 파괴강도는 인장시험편의 제조가 어렵기 때문에 인장시험 대신 굽힘강도 시험을 행하고 있다. Pohanka등은 BaTiO₃ 강유전 세라믹스를 이용하여 굽힘강도 시험을 행하였으나 단지 입자 크기 및 기공에 관한 연구일 뿐 분극처리에 따른 기계적 특성에 관해서는 이루어져 있지 않다. 또한 Kroupa등은 결정립 크기가 6 μ m와 16 μ m인 정방정상의 PZT시편을 이용하여 분극처리전후에 굽힘강도 시험을 행하였으나 한 조성에 대해 한정된 결과로 체계적인 연구는 보고되고 있지 않은 실정이다.

따라서 능면체정과 정방정상의 공존영역인 MPB조성영역, 능면체정 조성영역, 정방정 조성영역의 소결체를 제조하여 분극처리 전후에 3점 및 4점 굽힘강도의 변화를 조사하고, 분극처리 전후에 굽힘강도의 변화를 XRD로 측정한 내부응력의 관점에서 해석하였다.

2. 실험방법

정방정[Pb(Zr_{0.48}Ti_{0.52})O₃], MPB [Pb(Zr_{0.53}Ti_{0.47})O₃], 능면체정[Pb(Zr_{0.58}Ti_{0.42})O₃] 조성의 소결체를 일반적인 요업체 제조 공정에 의거하여 제조하였다. 이때 사용된 시약은 특급 시약인 PbO, ZrO₂, TiO₂ 이다. 분극처리는 130 $^{\circ}$ C silicon oil속에서 20 kV/cm의 직류전계를 9분간 인가하였다. 분극처리 전후에 3-point 및 4-point 굽힘강도 시험은 3.5mm x 5mm x 48mm와 3.5mm x 5mm x 24mm의 bar형태의 시편을 computer-controlled servohydraulic testing machine(MTS810)을 이용하여 stroke control하에서 0.5mm/min.의 cross head speed로 가하였다. XRD를 이용하여 2 θ 의 범위는 일정하게 유지시키고 θ 값을 변화시켜 시편을 tilting하는 원리를 이용하여 잔류응력분석을 행하였다.

3. 결과 및 고찰

분극 처리를 하지 않은 소결체와 20kV/cm로 하중을 가하는 방향과 평행하게 분극 처리한 PZT소결체의 3-점 굽힘강도를 측정한 결과 분극처리를 하지 않았을 때 굽힘강도는 능면체정 조성에서 가장 큰 값을 나타내었다. 분극처리후 각 조성에서 굽힘강도 값의 감소를 나타내었으며, 정방정 조성에서는 큰 감소를 나타내었다. 또한 분극처리 전후의 4-점 굽힘강도를 측정한 결과 3-점 굽힘강도와 비교하여 비교적 더 낮은 굽힘강도 값을 나타내고 있다. 각 조성에 대해 분극처리 전후에 굽힘강도 시험후 파단면을 관찰한 결과 분극처리 전후에 대체로 입계파괴 형태를 나타내고 있으나 일부 입내파괴도 관찰할 수 있었다. 특히, 정방정 조성의 경우 분극처리후 뚜렷한 입계파괴를 나타내었으며 일부 미소균열(microcrack)을 관찰하였다.

Griffith에 의한 취성재료의 파괴역학식은 다음과 같다.

$$\sigma = Y(E\gamma/a)^{1/2} \dots\dots\dots (1)$$

Pohanka등은 파괴강도를 논의할 때 파괴역학식에 내부응력항을 도입하였는데 인장내부응력이 작용할 경우 강도의 감소를 나타내고, 압축내부응력이 작용할 경우 강도의 증가를 나타내었다.

$$\sigma = \sigma_a + \sigma_I = Y(E\gamma/a)^{1/2} \dots\dots\dots (2)$$

여기서, σ = 파괴강도, σ_a = 가해진 응력, σ_I = 내부응력, Y = 기하학적 상수(semicircular flaws에 대해 1.12), E = Young's modulus, γ = 파괴 에너지, a = 결함크기

식(2)는 다음식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\sigma_a = 0.8K_{Ic} / a^{1/2} - \sigma_I \dots\dots\dots (3)$$

$$\text{여기서, } K_{Ic} = (2E\gamma)^{1/2} \dots\dots\dots (4)$$

분극처리후 정방정조성에서 굽힘강도의 큰 감소를 나타낸 것은 큰 tetragonality로 인해 분극처리지 전기장의 방향으로 분역정렬이 일어날 때 압축, 인장응력의 큰 비등방성 내부응력의 증가가 발생하게 된다. 이 때 발생된 큰 비등방성 내부응력으로 intergranular microcracks을 발생하게 되어 굽힘강도의 감소를 나타낸 것으로 사료된다. 또한 MPB와 능면체정 조성에서 분극처리후 굽힘강도의 감소는 분극처리지 미소균열을 발생하지 않고 식(3)에서와 같이 균열전파 방향의 수직방향으로의 인장 내부응력이 증가하게 되어 굽힘강도의 감소를 나타낸 것으로 사료된다.

4. 참고문헌

1. S. Takahashi, "Effects of Impurity Doping in Lead Zirconate-Titanate Ceramics", *Ferroelectrics*, 41, 143-156(1982).
2. R. C. Pohanka, R. W. Rice, and B. E. Walker, JR., "Effect of Internal Stress on the Strength of BaTiO₃", *J. Am. Ceram. Soc.*, 59(1-2), 71-74(1976).
3. S. W. Freiman, L. Chuck, J. J. Mecholsky, D. L. Shelleman and L. J. Storz, Fracture Mechanism in PZT Ceramics, P.175 in "Fracture Mechanics of Ceramics", Vol. 8, R. C. Bradt, A. G. Evans, D. P. H. Hasselman and F. F. Lange, ed., Plenum Press, New York(1986).
4. F. Kroupa, K. Nejezchleb and I. Saxl, "Anisotropy of Internal Stresses in Poled PZT Ceramics" *Ferroelectrics*, 88, 123-137(1988).
5. R. C. Pohanka, S. W. Freiman and R. W. Rice, "Fracture Processes Ferroic Materials", *Ferroelectrics*, 28, 337-342(1980).