

## 체적이 큰 PZT압전분말성형체에서 소성균열과 극복방법

주 광 호

PZT압전사기재료들은 높은 압전특성으로 하여 여러 분야에 광범히 응용되고있다.[1] 대출력초음파장치와 수중음향통신장치에서는 보통 체적이 큰 압전진동자들이 요구된다. 그런데 체적이 큰 분말성형체들은 소성과정에 종종 균열이 발생한다.

론문에서는 체적이 큰 PZT압전분말성형체에서 발생하는 소성균열에 미치는 PbO첨가효과와 소성로조건의 영향을 고찰하였다.

### 실 험 방 법

먼저 순도가 99%이상인 PbO, ZrO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>과 순도가 96%인 MnCO<sub>3</sub>으로 Pb(Mn<sub>1/3</sub>Nb<sub>2/3</sub>)<sub>0.05</sub>Zr<sub>0.49</sub>Ti<sub>0.46</sub>O<sub>3</sub>조성을 평량하고 립도가 1.5 $\mu$ m인 페로브스카이트구조의 합성분말을 제조하였다.

다음 5% 폴리비닐알콜용액을 리용하여 외경과 내경, 높이가 각각 86, 63, 37mm인 원통형압전분말성형체들을 제작하였다.

소성로의 온도를 700 $^{\circ}$ C까지 100 $^{\circ}$ C/h의 속도로 올리면서 온도에 따르는 성형품의 직경변화와 균열발생온도를 결정하였다.

합성분말에 0~4질량%의 PbO를 첨가하여 성형체들을 제작한 다음 온도가 1 300 $^{\circ}$ C인 터널로에서 도가니의 이동속도를 변화시키면서 균열발생현상을 고찰하였다.

### 실험결과 및 분석

소성온도에 따르는 압전분말성형체의 직경변화률은 그림 1과 같다.

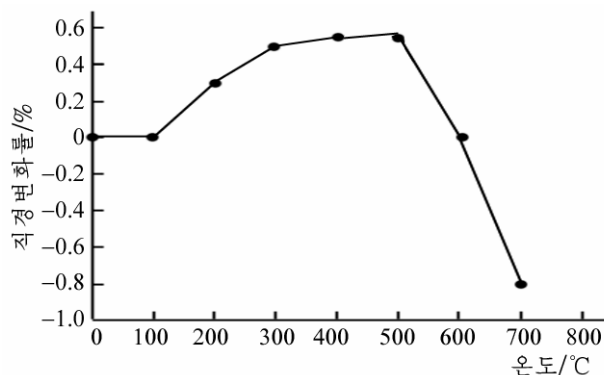


그림 1. 소성온도에 따르는 압전분말성형체의 직경변화률

그림 1에서 보는바와 같이 온도가 500 $^{\circ}$ C까지 증가할 때 성형체의 직경은 증가하였다. 이것은 온도가 증가할 때 분말립자사이의 폴리비닐결합제가 탈 때 발생하는 가스의 압력에 의해 성형체가 팽창되기때문이다.

500°C이상의 온도에서 성형체의 직경은 온도증가에 따라 감소하였다. 이것은 이 온도에서 립자로부터 립계제로의 원자들의 확산이 일어나면서 립자들사이 공간이 줄어든다는것을 말해준다.

온도가 높을수록 확산이 세게 일어나므로 수축도 크게 나타나게 된다.

소성균열은 약 500°C근방에서 발생하며 균열이 밖으로부터 안쪽으로 이동된다는것이 반복적인 실험과정에 확증되었다.

이것은 소성균열이 성형체의 수축과 밀접히 련관되어있다는것을 말해준다. 즉 수축이 일어나기 전의 성형체에는 기공들이 많으므로 열전도도는 높지 못하며 따라서 성형체의 바깥부분과 안쪽의 온도구배는 심하다고 말할수 있다. 이로부터 온도가 높은 성형체의 바깥부분이 수축상태에 있을 때 온도가 낮은 안쪽부분은 팽창상태에 놓이게 된다.

성형체의 두께가 증가할수록 이 차이는 보다 커지며 따라서 큰 내부응력에 의하여 균열이 쉽게 발생한다.

PbO를 첨가하지 않은 성형체에서 도가니이동속도에 따르는 균열발생률은 그림 2와 같다.

그림 2에서 보는바와 같이 수직형턴넬로에서 도가니이동속도가 느릴수록 균열발생률은 감소하였다. 이것은 수직형턴넬로에서 도가니의 이동속도가 느릴 때 성형체내에서 온도구배가 작아진다는것을 보여준다.

또한 수평형턴넬로에서 소성하는 경우 균열발생률은 도가니이동속도에 거의나 무관계하다. 이로부터 소성균열현상은 도가니이동속도보다로안의 온도분포불균일성의 영향을 더 크게 받는다고 볼수 있다. 수직형턴넬로에서는 로심관안의 중심온도근방에서 온도구배가 심하므로 큰 성형품일수록 온도분포의 불균일성에 의한 내부응력이 크게 발생한다. 그러나 수평형턴넬로에서는 상대적으로 온도분포의 불균일성이 수직형턴넬로에 비해 작다. 따라서 소성과정에 성형품에 발생하는 내부응력도 크지 않게 된다.

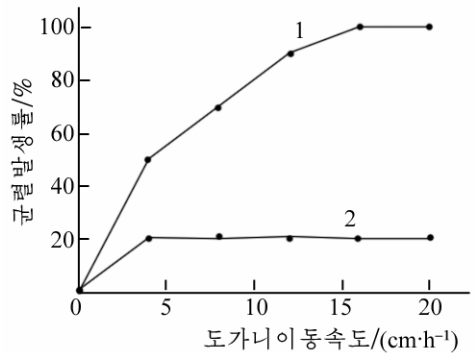


그림 2. PbO를 첨가하지 않은 성형체에서 도가니이동속도에 따르는 균열발생률  
1—수직형턴넬로, 2—수평형턴넬로

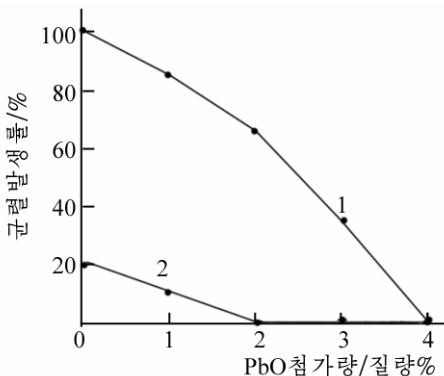


그림 3. PbO첨가량에 따르는 성형체의 균열발생률  
1, 2는 그림 2에서와 같음.

PbO첨가량에 따르는 성형체의 균열발생률은 그림 3과 같다.

그림 3에서 보는바와 같이 PbO첨가량이 증가할 때 균열발생률은 감소하였다. PbO를 첨가할 때 균열발생률이 감소하는것은 립계에 존재하는 과잉PbO가 소결보조제로 작용하기때문이라고 볼수 있다.

소결은 본질에 있어서 립자안의 원자들이 립계제로 이동하는 과정이다. 원자들의 립계제로의 이동이 잘 일어나자면 립계의 계면에에너지가 낮아야 한다. 저융점재료인 PbO를 첨가하면 립계의 계면에에너지가 낮아지므로 보다 낮은 온도에서도 소결이 일어난다.

따라서 팽창의 초기단계에서 소결수축이 동반

되어 급작스러운 팽창—수축이행에 의한 큰 내부응력의 발생을 방지한다고 볼수 있다.

PbO첨가량에 따르는 압전상수의 변화곡선은 그림 4와 같다.

그림 4에서 보는바와 같이 PbO첨가량이 증가함에 따라 압전상수는 감소하였다.

PbO첨가량에 따라 압전상수가 감소하는것은 과잉PbO가 립계에 존재하면서 압전변형을 억제하기때문이라고 볼수 있다.[2]

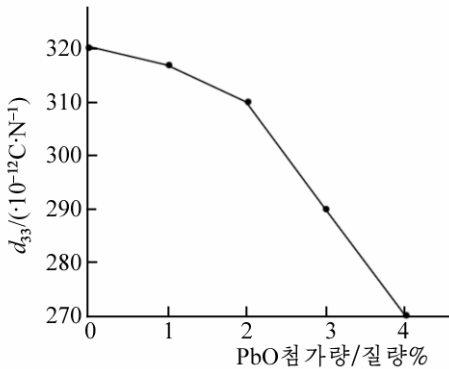


그림 4. PbO첨가량에 따르는 압전상수의 변화곡선

## 맺는 말

체적이 큰 압전분말성형체의 소성에서 균열이 일어나는 온도구간을 밝히고 연속생산용소성로에서 압전특성을 유지하면서 소성균열을 극복하기 위한 합리적인 PbO첨가량과 소성로조건을 확정하였다.

## 참고 문헌

[1] Y. Cheng; Journal of Sound and Vibration, 396, 69, 2017.

[2] C. Mielea; Journal of the European Ceramic Society, doi:10.1016/j.jeurceramsoc.2007.02.094.

주체109(2020)년 9월 5일 원고접수

## The Calcination Crack in PZT Piezoelectric Powder Compacts of Large Volume and the Ways of Overcoming It

*Ju Kwang Ho*

We found the rational PbO additive amount and the condition of furnace to overcome calcination crack in piezoelectric powder compacts of large volume.

Keywords: piezoelectric powder compact, calcination crack