

초음파 용착기용 압전 세라믹스의 전기적 특성

Electrical Properties of Piezoelectric Ceramics for Ultrasonic Welder

이 수 호*

Su-Ho Lee*

Abstract

We know that the piezoelectric constant d , the dielectric constant, and the electric-mechanical coupling coefficient affect the output for piezoelectric ceramics used in ultrasonic welders. Therefore, in this study, the characteristics of ceramics according to the changes of additives to the components of PZT-PMN-PZW were examined. When the addition amount of MnO_2 was 2 wt%, the most excellent properties were shown, which suggested the applicability as a material for fusion welding.

요 약

압전 상수 d 의 값과 유전 상수 및 전기 기계적 결합 계수가 초음파 용접기에 사용되는 압전 세라믹의 출력에 영향을 주고 있습니다. 따라서 본 연구에서는 초음파 용착기의 진동 소자로 사용할 압전 세라믹 PZT-PMN-PZW의 MnO_2 첨가량에 따른 세라믹의 특성을 조사 하였으며, MnO_2 의 첨가량을 2 wt.%로 한 경우, 가장 우수한 특성을 얻을 수 있었으며, 이는 초음파 용착기용 진동소자로서의 적용 가능성을 시사하였다.

Key words : Piezoelectric Constant, Ultrasonic Welder, MnO_2 , Electric-mechanical coupling coefficient

I. 서론

* Dept. of Electronics Engineering, Donga University

★ Corresponding author

E-mail: leesuho@dau.ac.kr, Tel.: +82-51-200-7741

※ Acknowledgment

This research has been supported by the Donga university

Manuscript received Mar. 12, 2018; revised Mar. 20, 2018 ;
accepted Mar. 26, 2018

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

초음파 진동자에는 초음파를 발생시키는 음원에 따라서 자왜형, 압전·전왜형 및 전자형 진동자 등이 있으며, 현재 압전·전왜형 중 볼트 체결형 란슈반진동자(Bolt-clamped Langevin Transducer : BLT)를 가장 많이 사용하고 있다. 공진 주파수에 따라서도 28kHz, 40kHz, 50kHz, 60kHz 등으로 구분된다. 28kHz 및 40kHz 단주파 진동자의 경우 Ring Type의 압전소자 2매를 서로 마주보도록 설치한 후 전기적으로 병렬로 연결하고 상단 및 하단에 금속 block을 부착하여 전체를 볼트로 조인 구조를 갖는다.

압전소자는 구동회로부터 구동 신호를 인가 받아 기계적인 진동으로 변환시켜주는 역할을 하며 이때 구동주파수는 압전 시편의 공진 주파수가 아니라 조립된 상태에서의 공진 주파수로 인가 되므로 양자 사이에는 상당한 차이가 있다. 실제로 28kHz 및 40kHz 진동자에 있어 압전 시편 자체는 동일한 물성 및 크기를 가지며 주파수의 차이는 금속 block부위의 형상에 의해 좌우된다. 압전 시편 하부의 금속 block은 mass로서 압전 시편에서 두께모드로 발생한 미소 진동의 진폭을 증폭시키는 역할과 진동자에서 발생한 열을 흡수, 냉각시키는 역할을 한다.

압전 소자 상부의 금속 block은 압전소자에 비해 현저히 낮은 음향 Impedance를 지니며, 압전 소자에 의해 상하 양방향으로 발생하는 초음파중 상방향으로 wave를 반사시켜 하방향으로 합산 되도록 하는 역할을 한다. 이러한 구조적인 측면에서의 출력 특성의 향상도 중요하지만 우선 기본적으로 압전 세라믹스의 압전 및 유전 특성이 기계적 출력에 많은 영향을 미친다.

따라서 본 연구에서 초음파 용착기용으로 요구되는 전기적 특성이 우수한 압전 세라믹스의 개발을 위하여 세라믹의 제조 시에 첨가물의 변화에 따른 세라믹스의 전기적 특성을 검토하여 초음파 용착기용으로의 응용 가능성을 제시하고자 하였다.[1-3]

II. 실험방법

본 연구에 사용된 시편은 가장 널리 사용되어지는 PZT의 일반적인 조성인 PZW와 PMN을 치환시킨 3성분계 조성으로 준비하였다.[5-8] 또한 압전 세라믹스의 저온 소결을 위하여 MnO_2 를 첨가하였으며, 첨가물의 변화에 따른 특성의 변화를 검토하기 위하여 아래와 같은 조성식을 사용하였다.

$Pb(Zn_{1/2}W_{1/2})_{0.02}(Mn_{1/3}Nb_{2/3})_{0.07}(Zr_{0.48}Ti_{0.52})_{0.91}O_3 + Xwt\%MnO_2 + Sintering\ aids(Li_2CO_3, Bi_2O_3)$ system 세라믹스에 MnO_2 의 양 X를 (x = 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4)로 변화시켰다.

세라믹을 제조시에 정확한 반응을 가져올 수 있도록 시편을 2단계 하소법으로 제작하였으며,

이를 위해 PbO를 제외한 조성에 따른 정확한 시료의 몰비를 10^{-4} 까지 평량하여 24시간동안 아세톤을 분산매로 혼합분쇄 후, 80°C의 항온조에서 12시간 이상 건조하였다. 건조가 끝난 시료를 750°C에서 4시간동안 하소하였다. 또한 하소후 PbO를 첨가하여 2차 밀링 하였으며 건조된 시료를 800°C에서 2시간 2차 하소하였다. 하소가 끝난 시료에 소결조제로 $Bi_2O_3-Li_2CO_3$ 를 첨가하여 24시간동안 재 혼합분쇄 하였다.

건조된 시료에 PVA(5wt% 수용액)를 5wt% 첨가하여 k_p mode로써 제작하기 위하여 직경 21 mm의 몰더로 1 ton/cm²의 압력을 가하여 성형하였다. 성형한 시편은 600°C에서 3시간동안 burn out 과정을 거치고, 승·하강 온도구배를 3°C/min로 900, 930°C에서 2시간동안 소결하였다. 소결된 시편을 1 mm의 두께로 연마하고 Ag전극을 스크린프린트법으로 도포한 후 600°C에서 10분간 열처리하였다. 전극이 형성된 시편을 120°C의 실리콘 유속에서 30kV/cm의 전계를 30분 동안 인가하여 분극하였다. 분극된 시편을 24시간 경과 후 Impedance analyzer를 사용하여 주파수 및 Impedance 특성을 측정하였고, LCR meter를 사용하여 유전특성을 측정하였다. 시편의 압전 및 유전특성은 공진 및 반공진법을 이용하여 계산하였다.[4]

III. 결과 및 고찰

초음파 용착기의 경우 아래의 식 (1)과 같은 출력을 얻을 수 있다. 여기에 영율인 Y값과 압전상수 d의 값의 곱에 비례하는 것을 알 수 있어 영율의 크기에 영향을 미치는 유전상수와 전기기계결합계수 및 압전상수의 변화를 MnO_2 의 첨가량에 따라 살펴보았다.

$$F = N \left(\frac{S}{t} \right) Y_{33}^E d_{33} V \quad (1)$$

여기서 N는 진동자의 적층수, S는 단면적, t는 두께를 의미하며, Y는 세라믹의 영율, d는 압전상수, V는 인가전압을 의미한다.

MnO_2 첨가량에 따른 시편의 밀도를 그림 1에 나타내었다. MnO_2 첨가량이 증가함에 따라 밀도는 선형적으로 감소하였으나 930°C의 소결온도에서 모든 시편의 밀도는 7.80 g/cm³이상으로 높은 값을 보이고 있어 모두

페로브스카이트형 구조의 소결이 이루어졌음을 알 수 있다. 따라서 930°C의 소결온도가 적절 소결온도임을 알 수 있으며 첨가물의 증가에 따라 다소 감소하는 것은 첨가물이 소결시에 반응 매개체로 작용하여 입자의 성장을 다소 크게 하는 것으로 생각된다.

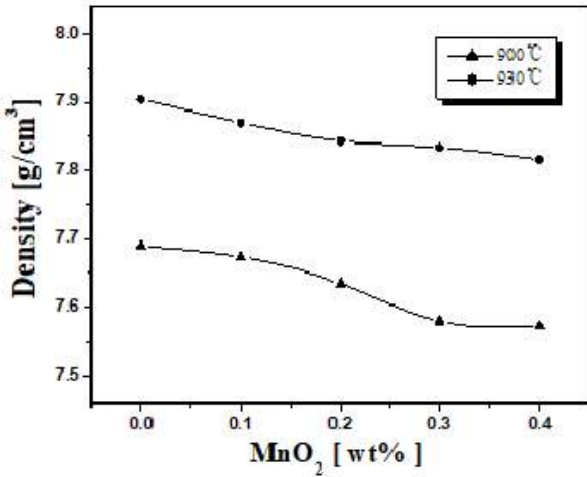


Fig. 1. Density of the MnO2
그림 1. MnO2 첨가량에 따른 밀도

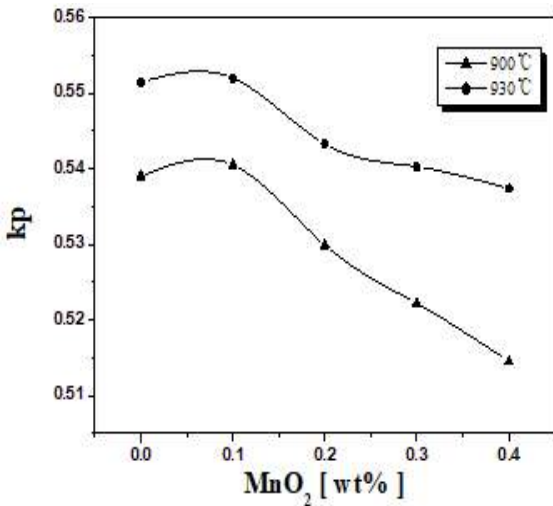


Fig. 2. Electric-mechanical coupling coefficient kp of the MnO2
그림 2. MnO2 첨가량에 따른 전기기계결합계수

그림 2에 MnO₂ 첨가량에 따른 전기기계결합계수를 나타낸 것이다. MnO₂ 첨가량이 증가하면서 k_p값은 0.1wt% 이후에 감소하였다. 이는 밀도의 변화에서도 알 수 있었듯이 MnO₂의 첨가물이 소결시에 치환되면서 소결 촉진제로 작용하여 입자의 성장을 초래하였으며, 또한 Mn이온이 B-site에 치환되면서 생성된 산소공공

이 도메인 벽의 움직임을 억제하기 때문으로 생각된다. 그림 3는 MnO₂ 첨가량에 따른 압전 d₃₃상수를 나타낸 것이다. 압전 d₃₃상수는 전기기계결합계수와 비슷하게 MnO₂ 첨가량의 증가와 함께 감소하였다. 이 또한 밀도의 저하에 따른 입자 성장으로 사료된다.

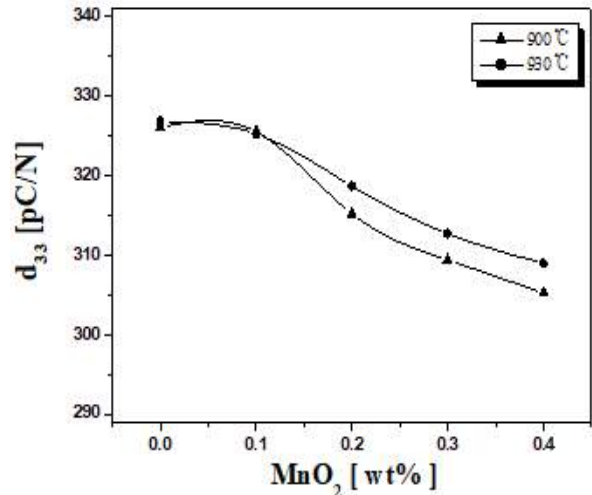


Fig. 3. Piezoelectric constant d33 of the MnO2
그림 3. MnO2 첨가량에 따른 압전 d33상수.

그림 4는 MnO₂ 첨가량에 따른 유전상수를 나타낸 것이다. 시편의 유전상수 또한 MnO₂ 첨가량의 증가와 함께 조금씩 감소하였다. 이러한 결과 역시 MnO₂ 첨가에 따른 하드너 효과에 의한 결과이다.

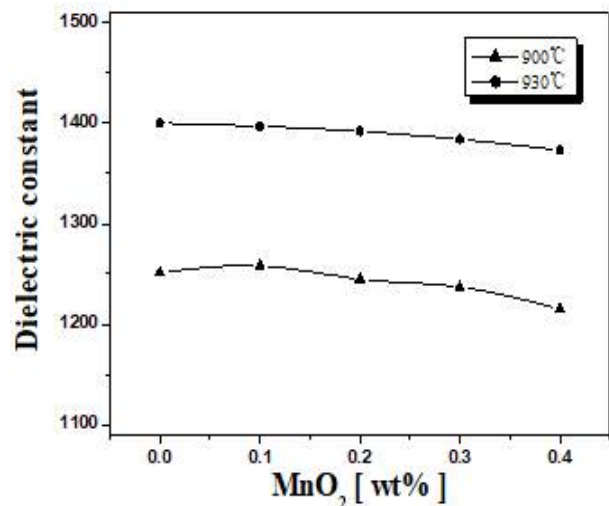


Fig. 4. Dielectric constant of the MnO2
그림 4. MnO2 첨가량에 따른 유전상수

IV. 결론

초음파 용착기용 압전 세라믹 진동자로 사용을 위한 PZW-PMN-PZT 삼성분계 시스템을 기반으로 MnO_2 첨가량의 변화를 주어 2단 하소법으로 제작한 시편의 유전 및 압전특성을 관찰하여 다음과 같은 특성을 얻었다.

1. 전기기계결합계수, 유전상수 및 압전 d_{33} 상수는 MnO_2 첨가량의 증가함에 따라 점차 감소하는 경향을 나타냈다.
2. 930°C의 낮은 소결온도에서도 우수한 밀도특성을 나타내었으며, MnO_2 첨가량이 2wt%일 때, 전기기계결합계수, 기계적품질계수, 유전상수, 압전 d_{33} 상수는 각각 0.543, 1,536, 1,392, 318.7 pC/N으로 최적의 값을 보였다.

이상의 결과로 미루어 본 연구에서 개발된 PNN 9 mol% 치환된 조성은 d_{33} 가 높아 고전력으로 구동 시 열발생이 크게 생기지 않고, 변위가 높게 발생하게 되어 저손실 저온소결 적층형 압전 액츄에이터 및 초음파 진동자용으로의 응용 가능성을 확인하였다.

PZT-PMS-PZN ceramics for high power piezoelectric transformer," *J. of the Materials Science and Engineering B*, vol.130, no.1, pp.288-294, 2006.DOI: 10.1016/j.mseb.2006.02.061

[7] X. Zonh, Z. Yang, H. Li and m. Yuan, "Effects of WO_3 addition on the structure and electrical properties of Pb_3O_4 modified PZT-PFW-PMN piezoelectric ceramics," *J of Materials Research Bulletin*, vol.41, no.8, pp.1447-1454, 2006.DOI:10.1016/j.materresbull.2006.02.002

[8] B. Li, G. Li, W. Zhang and A. Ding, "Influence of particle size on the sintering behavior and high-power piezoelectric properties of PMN-PZT ceramics," *J. of Materials Science and Engineering B*, vol. 121, no.1-2, pp.92-97, 2005.DOI:10.1016/j.mseb.2005.03.007

References

- [1] S.H. Lee, H.G. Kim, H. I. Cho, S.D. Sea, G. Sa-gong "Synthesis of Pizoceramic (PZT) Powder by Wet-direct Process," *kiee*, pp.265-268, 1990.
- [2] H.I. Choi, J.H. Lee, G.Sa-gong. "Study on the Poling Conditions of PZT Ceramics with MnO_2 additive." *22th KIEE Summer Conference Proceeding*, pp247-25, 1991.
- [3] S. Roberts, "Dielectric and Piezoelectric Properties of Barium Titanate," *Phys. Rev.*, pp.890-895, 1947.DOI:10.1103/PhysRev.71.890
- [4] K. Uchino, "Ceramic actuator Review," *Electronic Ceramics*, 1987
- [5] Kenji Uchino, "Piezoelectric/electrostrictive actuator," *Mori Kita Publishing*, 1986
- [6] H. Li, Z. yanh, X. Zong Y. chang, "High electrical properties of W-additive Mn-modified