

PZN 치환에 따른 적층 압전변압기용 PMN-PZT 세라믹의 압전 및 유전 특성

이창배^a, 류주현, 백동수¹, 임인호²
 세명대학교, E2S¹, (주)삼화콘덴서²

Piezoelectric and dielectric properties of PMN-PZN ceramics for multilayer piezoelectric transformer with PZN substitution

Chang-Bae Lee^a, Ju-Hyun Yoo, Dong-Soo Paik¹ and In-Ho Im²
 Semyung Uni., E2S¹, Samwha capacitor²

Abstract : In this paper, in order to develop the low temperature sintering ceramics for multilayer piezoelectric transformer, $Pb[(Mn_{1/3}, Nb_{2/3})_{0.07}(Zn_{1/3}Nb_{2/3})_a(Zr_{0.48}Ti_{0.52})_{1-0.07-a}O_3]$ ceramics were manufactured with the variations of PZN from 2 to 14mol% and their dielectric and piezoelectric properties were investigated. Sintering temperature was varied from 910 to 1000°C. At 8mol% PZN substituted specimen sintered at 970°C, electromechanical coupling factor(kp), mechanical quality factor(Qm), dielectric constant and piezoelectric constant(d_{33}) showed the optimal values of 0.536, 1803, 1551 and 328[pC/N], respectively, for multilayer piezoelectric transformer application.

Key Words : Electromechanical coupling factor(kp), Mechanical quality factor(Qm), dielectric constant

1. 서 론

최근들어, 첨단 정보기기의 소형화, 경량화가 강력하게 요구됨에 따라 기존의 전력공급용 권선형 변압기를 대체하여 여러 가지 장점을 가지고있는 압전변압기가 여러 기업체 및 학교에서 실용화를 위해 활발히 연구되고 있다. 압전변압기는 기존의 권선형 변압기에 비하여 누설자속이 없어 노이즈 발생이 없고, 공진주파수만을 이용하므로 출력파형이 정현파에 가까워 고조파 잡음이 없으며, 세라믹 무기재료를 사용하므로 불연성의 장점을 갖고 있다. 특히 소형화, 슬림화, 경량화가 가능하고 90% 이상의 높은 효율을 얻을 수 있기 때문에 전력품질의 향상과 수요자의 경제성에 큰 혜택을 줄 수 있을것으로 기대된다.

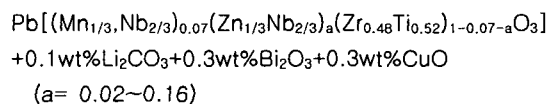
또한, 단판형 압전변압기의 출력한계를 개선하기 위해 높은 승압비와 고출력을 얻을 수 있는 적층 압전변압기가 제안되었다. 현재까지, $Pb(Ni_{1/2}W_{1/2})O_3-Pb(Mn_{1/3}Nb_{2/3})O_3-Pb(Zr,Ti)O_3$, $Pb(Mn_{1/3}Sb_{2/3})O_3-Pb(Zr,Ti)O_3$, $Pb(Ni_{1/3}Nb_{2/3})O_3-Pb(Zr,Ti)O_3$ 등과 같은 많은 상성분계 또는 사성분계 시스템이 압전변압기의 실용화를 위해 치환이나 여러 가지 소결첨가제를 사용하여 연구되어왔다. 압전변압기의 실용적인 사용을 위해서는 높은 기계적 품질계수(Qm)와 전기기계 결합계수(kp)가 필요하다. 기계적 품질계수(Qm)가 높지 않을경우 내부의 마찰효과에 의해 진동에너지의 감소가 나타나고, 이는 압전변압기의 온도상승을 초래할 뿐만 아니라 압전특성을 저하시키게 된다. $Pb(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O_3-Pb(Zr,Ti)O_3$ 시스템은 전기기계 결합계(kp)수가 높은

것으로 알려져 있으며, $Pb(Mn_{1/3}Nb_{2/3})O_3-Pb(Zr,Ti)O_3$ 시스템은 매우 높은 기계적 품질계수(Qm)를 나타내는 것으로 알려져 있다[1].

따라서, 본 연구에서는 적층 압전변압기용 조성을 개발하기 위해 높은 전기기계 품질계수와 기계적 품질계수가 나타날 것으로 기대되는 PMN-PZN-PZT 세라믹의 압전 및 유전특성에 관하여 조사하고자 한다.

2. 실험

본 실험에서는 일반적인 산화물 혼합법으로 시편을 제작하였으며, 실험에 사용된 조성식은 다음과 같다.



조성에 따른 시료의 정확한 물비를 10^{-4} 까지 평량하였고, 아세톤을 분산매로 볼밀을 사용하여 24시간동안 혼합 분쇄하였으며, 항온조에서 건조 후 850°C에서 2시간동안 하소하였다. 24시간동안 재혼합 분쇄 후 PVA(5wt% 수용액)를 5wt% 첨가하여 Kp mode로써 제작하기 위해 직경 21[mmφ] 물더로 1[ton/cm²]의 압력을 가하여 성형하였다. 성형한 시편을 600°C의 온도로 3시간동안 burn out 과정을 거치고, 1000°C, 970°C, 940°C, 910°C의 온도로 각각 소성하였다. 소결을 마친 후 특성 측정을 위해 1[mm] 두께로 연마하였고, 전극을 입혀 650°C에서 10분간 열처리하였다. 전극이 형성된 시편을 120°C 살리큰유

속에서 30[kV/cm]의 전계를 30분동안 인가하여 분극하였다. 24시간이 지난후에 공진 및 반공진법에 따라 impedance analyzer (Agilent 4294A)를 사용하여 유전 및 압전특성을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

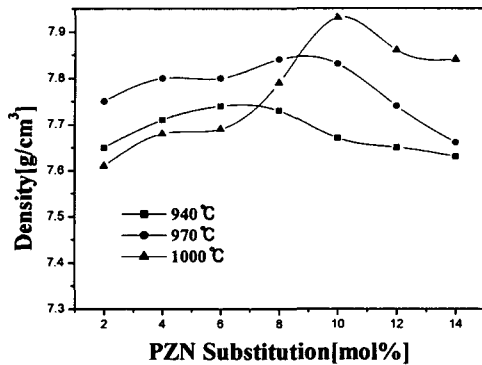


그림 1. PZN 치환량에 따른 밀도.

그림 1.은 PZN 치환량과 소성온도 변화에 따른 시편의 소결밀도를 나타낸 것이다. 940 °C의 소성온도에서는 6mol% PZN 치환시 7.78[g/cm³]의 최대값을 나타내었고, 970 °C의 소성온도에서는 8mol% PZN 치환시 7.84[g/cm³], 1000 °C의 소성온도에서는 10mol% PZN 치환시 7.93[g/cm³]의 최대밀도값을 나타내었다. 이와같이, 소성온도가 증가할수록 최대밀도를 나타내는 PZN 치환량도 증가하는 것을 볼 수 있는데, 이것은 소성온도가 증가하면서 PZN의 고용한계 또한 증가하여 소결밀도가 증가한 것으로 사료된다. 또한, 최대값 이후의 밀도 감소는 PZN의 과잉치환에 의한 것으로 보인다.

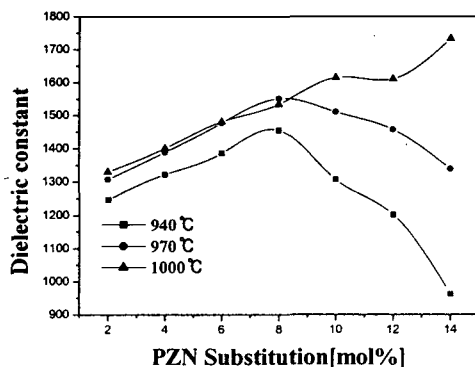


그림 2. PZN 치환량에 따른 유전상수.

그림 2.는 PZN 치환량과 소성온도 변화에 따른 유전상수의 변화를 나타낸 것이다. 940 °C와 970 °C의 소성온도에서는 8mol%의 PZN 치환시까지 증가하여 1455와 1551

의 최대 유전상수를 나타내었고, 10mol% 이상 치환시 점차 감소하였다. 1000 °C의 소성온도에서는 PZN 치환량 8mol%까지 970 °C에서 소성한 시편의 유전상수와 거의 일치하는 값을 나타내었지만, 그 후로 감소하지 않고 계속 증가하면서 14mol% 치환시 1733의 최대값을 나타내었다. 그림 3.은 PZN 치환량과 소성온도 변화에 따른 전

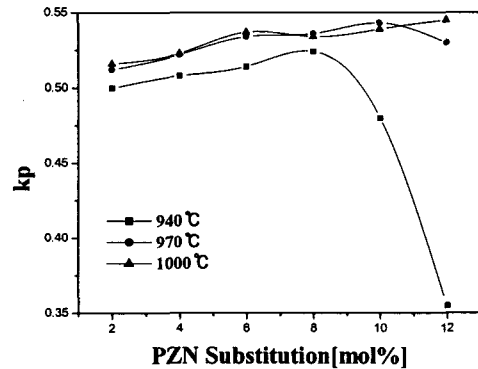


그림 3. PZN 치환량에 따른 전기기계 결합계수(kp).

기기계 결합계수를 나타낸 것이다. 전기기계 결합계수는 그림 1.의 밀도특성과 같은 경향을 나타내었다. 940 °C의 소성온도에서는 8mol% PZN 치환시 0.524의 최대값을, 970 °C의 소성온도에서는 10mol% 치환시 0.543, 1000 °C의 소성온도에서는 12mol% 치환시 0.545의 최대값을 각각 나타내었다. 이는, 삼방정계(Rhombohedral)상을 갖고 있는 PZN의 치환에 의해 정방성(Tetragonality)을 약화시켰기 때문인 것으로 생각된다.

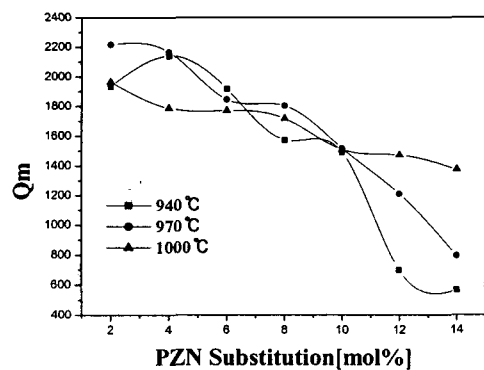


그림 4. PZN 치환량에 따른 기계적 품질계수(Qm).

그림 4.는 PZN 치환량과 소성온도 변화에 따른 기계적 품질계수를 나타낸 것이다. 940, 970, 1000 °C의 소성온도에서 4, 2, 2mol% 치환시 2139, 2217 그리고 1965의 최대값을 각각 나타내었고, PZN 치환량이 증가할수록 점차 감소하였다. 그림 5.는 PZN 치환량과 소성온도 변화에 따른 압전상수(d_{33})와 전압계수(q_{33})를 나타낸 것이다.

940, 970, 1000℃의 소성온도에서 각각 8, 10, 12mol% PZN 치환시 압전상수(d_{33})는 328, 337, 344[pC/N]으로 최대 값을 나타내었다. 이는 전기기계 결합계수와 유전상수의 경향과 일치한다. 표 1.에 PZN 치환량과 소성온도 변화에 따른 시편의 물성을 나타내었다.

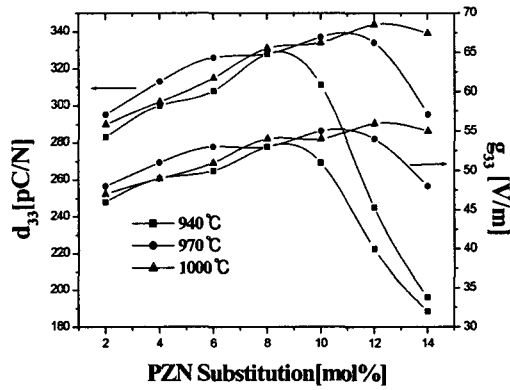


그림 5. PZN 치환량에 따른 압전상수(d_{33})와 전압계수(g_{33}).

4. 결론

본 연구에서는 적층 압전변압기용 조성을 개발하기 위해, 기계적 품질계수를 높여주는 것으로 알려진 Pb($Mn_{1/3}Nb_{2/3}$)-Pb(Zr,Ti)O₃ 와 전기기계 결합계수를 높여주는 것으로 알려진 Pb($Zn_{1/3}Nb_{2/3}$)-Pb(Zr,Ti)O₃를 혼합한 Pb[($Mn_{1/3}, Nb_{2/3}$)_{0.07}($Zn_{1/3}Nb_{2/3}$)_a($Zr_{0.48}Ti_{0.52}$)_{1-0.07-a}O₃] 사성분계 시스템의 PZN 치환량과 소성온도 변화에 따른 유전 및 압전 특성을 분석하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 소성온도가 증가할수록 PZN의 고용한계가 늘어나면서 최대 소결밀도가 PZN 치환량이 많은 곳으로 이동하였다.
2. 소결밀도의 증가와 함께 전기기계 결합계수(k_p)와 유전상수가 증가하였다.
3. 기계적 품질계수는 PZN 치환량에 따라 점차 감소하는 경향을 나타내었다.
4. 소성온도 970℃, 8mol%PZN 치환시 밀도 7.84 [g/cm³], 유전상수 1551, 전기기계 결합계수 0.536, 기계적 품질계수 1803, 압전상수 328을 나타냄으로써 적층 압전변압기로서의 응용가능성을 나타내었다.

감사의 글

본 연구는 2004년도 전력산업연구개발사업(과제번호:R-2004-0-114)으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

표. 1. PZN 치환량과 소성온도에 따른 시편의 물성

Sintering temp. [°C]	PZN [mol%]	Dielectric constant	k_p	Q_m	Density [g/cm ³]	d_{33} [pC/N]	g_{33} [V/m]
940°C	2	1247	0.500	1934	7.65	283	46
	4	1322	0.508	2139	7.71	300	49
	6	1386	0.514	1917	7.74	308	50
	8	1455	0.524	1573	7.73	328	53
	10	1307	0.480	1490	7.67	311	51
	12	1202	0.355	698	7.65	245	40
	14	962	0.238	565	7.63	196	32
970°C	2	1307	0.512	2217	7.75	295	48
	4	1389	0.522	2166	7.80	313	51
	6	1477	0.534	1845	7.80	326	53
	8	1551	0.536	1803	7.84	328	53
	10	1510	0.543	1517	7.83	337	55
	12	1457	0.530	1209	7.74	334	54
	14	1338	0.416	793	7.66	295	48
1000°C	2	1330	0.516	1965	7.61	290	47
	4	1401	0.523	1787	7.68	302	49
	6	1481	0.537	1771	7.69	315	51
	8	1534	0.534	1716	7.79	331	54
	10	1610	0.539	1509	7.93	334	54
	12	1617	0.545	1471	7.86	344	56
	14	1733	0.531	1374	7.84	339	55

참고 문헌

- [1] H. Y. Chen, X. B. Guo, Z. Y. Meng, Mater. Chem. Phys. Vol. 75, p. 202, 2002
- [2] J. Y. Yoo, C. B. Lee, Y. H. Jeong, K. H. Chung, D. C. Lee, D. S. Paik, Materials Chemistry and Physics. Vol. 90, p. 386, 2005