

# 압전 액츄에이터에 활용할 저온소결 압전 세라믹스에 관한 연구

류성림, 이유형\*, 이상호\*, 류주현\*  
충주대학교, 세명대학교\*

## A Study on the Low Temperature Sintering Piezoelectric Ceramics for Piezoelectric Actuator Application

Sunglim Ryu, Yuhyung Lee\*, Sangho Lee\* and Juhyun Yoo\*  
Chungju Univ., Semyung Univ.\*

**Abstract :** In this study, in order to develop multilayer piezo-actuator, PMN-PNN-PZT ceramics were fabricated using  $\text{Li}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{ZnO}$  as sintering aids and their piezoelectric and dielectric properties were investigated according to the Bi substitution. Bi substitution enhanced electromechanical coupling factor ( $k_p$ ) and dielectric constant ( $\epsilon_r$ ). However, mechanical quality factor was deteriorated. At the sintering temperature of  $870^\circ\text{C}$  and Bi substitution of 1mol%, density, electromechanical coupling factor ( $k_p$ ), mechanical quality factor ( $Q_m$ ), Dielectric constant ( $\epsilon_r$ ) and piezoelectric constant ( $d_{33}$ ) of specimen showed the optimum value of  $7.878\text{g}/\text{cm}^3$ , 0.608, 835, 1603 and  $397\text{pC}/\text{N}$ , respectively.

**Key Words :** multilayer piezo-actuator, lectromechanical coupling factor ( $k_p$ ), mechanical quality factor ( $Q_m$ )

### 1. 서론

압전 액츄에이터는 기존의 액츄에이터에 비하여 변위가 작고, 빠른 응답속도 및  $\mu\text{m}$ 단위까지 미세제어가 가능한 장점이 있다. 또한, 전자 구동 액츄에이터에 비하여 소비전력, 발열량, 소음이 적고 소형의 장점이 있어 수요가 늘어나고 있는 추세이다 [1]. 압전 액츄에이터의 응용범위가 넓어짐에 따라 변위량이나 출력 등을 개선하기 위하여 전기기계결합계수( $k_p$ ) 및 압전 d상수가 큰 재료가 요구되고 있으며, 고전압에서 장시간 구동시 마찰에 의한 열손실을 감소시키기 위하여 높은 기계적 품질계수( $Q_m$ )를 가지는 저 손실 압전 액츄에이터 재료가 필요한 실정이다. 적층형 압전세라믹스는 제작 시 그 구조적 특성상 내부전극이 필요하게 되며, 높은 소결온도에서도 용해되지 않는 Pd나 Pt가 함유된 값비싼 전극을 사용하여야 한다. 비교적 값싼 Ag전극의 사용하기 위해서는 저온소결 기술개발이 필요한 실정이다 [2].

따라서 본 연구에서는 저손실 적층형 초음파 진동자를 개발하기 위하여 우수한 압전특성을 보이는 PMN-PNN-PZT 세라믹스에  $\text{Li}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{ZnO}$ 를 소결조제로 첨가하여 저온소결 하였으며, 압전 및 유전특성을 개선하기 위하여 Bi를 A-site에 치환하여 그 결과를 관찰하였다.

### 2. 실험

본 실험의 기본조성식은 다음과 같으며 산화물 혼합법으로 시편을 제조하였다.

$\text{Pb}_{1-3x/2}\text{Bi}_x(\text{Mn}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})_{0.02}(\text{Ni}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})_{0.12}(\text{Zr}_{0.49}\text{Ti}_{0.51})_{0.86}\text{O}_3$   
+addition( $\text{MnO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CuO}$ )+sintering aids( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{Li}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{ZnO}$ ) (  $x=0, 0.5, 1, 1.5, 2$  )

조성에 따른 시료는  $10^{-4}\text{g}$ 까지 평량하여 아세톤을 분산매로 3mm 지르코니아볼을 사용하여 24시간동안 혼합, 분쇄 후 건조한 뒤, 알루미늄 도가니에 넣고  $800^\circ\text{C}$ 에서 2시간 하소하였다. 하소된 파우더에  $\text{Li}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{ZnO}$ 를 소결조제로 첨가하여 24 재 혼합, 분쇄 후 건조하여, PVA(5% 수용액) 5%를 첨가하고 21 $\phi$  몰더로  $1\text{ton}/\text{cm}^2$ 으로 성형하였다. 이 성형된 시편을  $600^\circ\text{C}$ 에서 3시간동안 결합제를 태워버린 뒤, 승하강온도  $3^\circ\text{C}/\text{min}$ 로 하여  $900^\circ\text{C}$ 의 온도에서 2시간 소결하였다. 시편의 전기적 특성을 측정하기 위하여 1mm의 두께로 연마한 시편에 Ag전극을 도포한 뒤,  $650^\circ\text{C}$ 에서 10분간 열처리하고  $120^\circ\text{C}$ 의 절연유 속에서  $30\text{kV}/\text{cm}$ 의 직류전계를 30분간 인가하여 분극처리를 하였으며, 24시간 후에 제 특성을 측정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

그림 1에 Bi치환량에 따른 시편의 밀도를 나타내었다. 밀도는 Bi치환량에 따라 큰 변화를 보이지 않았다. 또한  $900^\circ\text{C}$ 의 낮은 소성온도에서도 모든 시편은 완전히 소성되었다. 이러한 결과는 약  $514^\circ\text{C}$ 의 낮은 융점을 가지는  $\text{Li}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 액상과  $\text{ZnO}$ 의 소결 촉진작용에 의한 결과로 사료된다.

그림 2는 Bi치환량에 따른 시편의 유전상수를 나타낸 것이다. 시편의 유전상수는 Bi치환량이 증가함에 따라 대체적으로 증가하는 특성을 나타내었다. 이러한 유전

상수 증가의 결과는  $\text{Bi}^{3+}$  이온이  $\text{Pb}^{2+}$  이온의 자리인 A-site에 치환되어 소프트너로 작용하기 때문으로 사료된다. 일반적인 소프트너의 치환의 작용은 항전계 및 기계적품질계수를 감소시키고, 전기기계결합계수 및 유전상수, 압전 $d_{33}$  상수를 증가시키는 작용을 한다고 알려져 있으며 이와 부합되는 결과로 사료된다. Bi치환에 따른 시편의 압전상수 $d_{33}$ 는 전기기계결합계수와 비슷한 경향을 나타내었으며, 870°C의 소성온도에서 Bi치환량이 1mol%일 때 397pC/N으로 최댓값을 보였다.

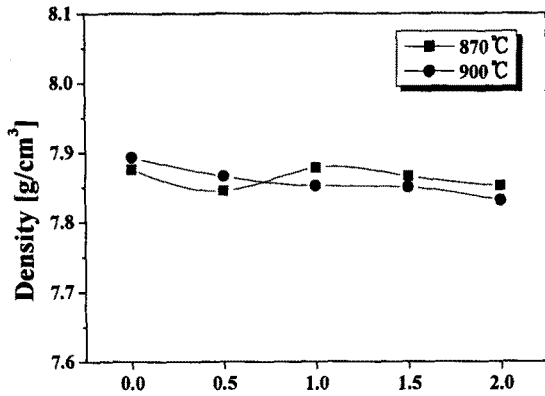


그림 1. Bi치환량에 따른 시편의 밀도.

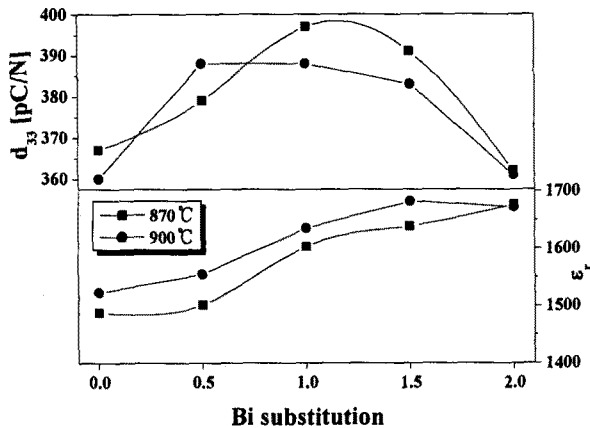


그림 2. Bi치환량에 따른 시편의 유전상수와 압전상수.

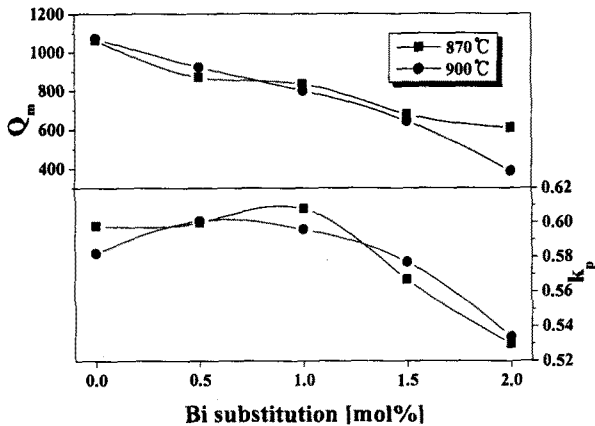


그림 3. Bi 치환량에 따른 시편의 전기기계결합계수와 기계적품질계수

그림 3은 Bi 치환량에 따른 시편의 전기기계결합계수와 기계적품질계수를 나타낸 것이다. 시편의 전기기계결합계수는 소성온도가 870°C이고 Bi치환량이 1mol%일 때 0.608로 최댓값을 보이고 이후에 감소하는 경향을 나타내었다. 기계적 품질계수는 Bi치환량이 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타내었다. 이러한 결과는 Bi치환량에 따른 소프트너 효과에 의한 결과로 사료된다.

표 1에 시편의 물성을 나타내었다.

표 1. 시편의 물성.

Sintering Temp. [°C]	Bi [mol%]	Density [g/cm <sup>3</sup> ]	$\epsilon_r$	$k_p$	$Q_m$	$d_{33}$ [pC/N]
870	0	7.876	1488	0.598	1064	367
	0.5	7.845	1502	0.600	870	379
	1	7.878	1603	0.608	835	397
	1.5	7.866	1639	0.567	680	391
	2	7.852	1677	0.530	612	362
900	0	7.893	1523	0.582	1073	360
	0.5	7.866	1555	0.601	923	388
	1	7.852	1635	0.596	801	388
	1.5	7.850	1682	0.577	645	383
	2	7.831	1672	0.534	389	361

#### 4. 결론

본 연구에서는 저손실 적층형 초음파 진동자를 개발하기 위하여 우수한 압전특성을 보이는 PMN-PNN-PZT 세라믹스에  $\text{Li}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{ZnO}$ 를 소결조제로 첨가하여 저온소결 하였으며, 압전 및 유전특성을 개선하기 위하여 Bi를 A-site에 치환하여 그 결과를 관찰하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 모든 시편은 870°C의 소성온도에서 7.8g/cm<sup>3</sup> 이상의 밀도를 나타내며 완전 소성 되었다.
- Bi의 치환은 시편의 결정격자내에 침투하여 소프트너로 작용하였다.
- Bi치환량이 1mol%이고 소성온도가 870°C일 때 밀도=7.878g/cm<sup>3</sup>, 유전상수=1603, 전기기계결합계수=0.608, 기계적품질계수=835, 압전상수  $d_{33}$ =397pC/N으로 최적의 결과를 얻었다.

#### 참고 문헌

- [1] 정광현, 이덕출, 이창배, 이상호, 류주현, 이형규, 강형원 "MnO<sub>2</sub> 첨가에 따른 저온소결PCW-PMN-PZT 세라믹스의 유전 및 압전특성" 전기전자재료학회 논문지 18권, 2호, 2005.
- [2] 류주현, 이상호, 백동수, "Pb(Ni<sub>1/3</sub>Nb<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub> 치환에 따른 저온소결 Pb(Mn<sub>1/3</sub>Nb<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub>-Pb(Ni<sub>1/3</sub>Nb<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub>-Pb(Zr,Ti)O<sub>3</sub> 세라믹스의 압전 및 유전 특성" 전기전자재료학회논문지 19권, 1호, p. 35, 2006