

무연 BNKT세라믹스를 이용한 危害전력설비 접근 직접감지용 압력센서에 관한 연구

論 文

55P-1-6

A Study on the Pressure Sensor for the Direct Detection of the Approach to the Dangerous Power Facilities Using Pb-free BNKT Ceramics

洪 在 一[†] · 柳 周 鉉^{*}
(Jae-Il Hong · Ju-Hyun Yoo)

Abstract - An infrared rays sensor or ultrasonic sensor can detect the object at the narrow area, however a pressure sensor can detect man and animal at the wide area. It is necessary to manufacture the sensor by using Pb-free ceramics in the respect of environmental protection. Piezoelectric properties of ceramics added 0.2wt% La_2O_3 into $0.96Bi_{0.5}(Na_{0.84}K_{0.16})_{0.5}+0.04SrTiO_3$ were 0.4 of kp, 31×10^{-3} Vm/N of g_{33} . The output voltage of the pressure sensor is 0.48 V at 20 inH₂O. The output voltage of the pressure sensor with driving circuit is 9.8 V, 37 ms width.

Key Words : BNKT Ceramics, Dangerous Power Facilities, Pb-free, Pressure Sensor

1. 서 론

오늘날 전기안전사고 예방을 위해 설치하는 장비에 대한 개발은 증가하는 전력수요와 전기사고에 비해 상당히 미비한 실정이다. 대부분 작업자가 전력설비에 접근하지 못하도록 울타리를 설치하는 등 원시적인 방법으로 사고예방을 실시하고 있는 상태이며, 일부에는 적외선 센서나 초음파 센서와 같은 장비를 설치하고 있다. 그러나 현재 사용되고 있는 적외선센서 및 초음파센서는 센서를 설치한 국부지역만 감지할 수 있으므로 보다 넓은 범위에서 사람과 동물 등을 직접 감지할 수 있는 센서가 필요하다. 이에 대한 대책은 危害 전력설비 주위에 고무투브를 설치하고 압력센서를 장착하여 사람과 동물 등의 압력에 의해 경보를 발하는 시스템이다.

또한 최근 들어 에너지절감과 환경오염에 대한 정부와 국민적 관심이 높아지면서 에너지를 적게 쓰고 환경오염물질을 적게 하고 고효율이며서 환경친화적인 제품을 사용하도록 법적인 규제가 강화될 전망이다. 이에 따라서 중금속인 납(Pb)성분이 없는 압전세라믹스를 이용하여 센서를 만드는 것은 무엇보다도 시급하며 이에 대한 연구개발이 정책적으로 필요하다.

오늘날 압전세라믹스 중에서 가장 많이 사용되는 $Pb(Zr,Ti)O_3$ 는 우수한 압전 특성을 가지고 있다. $PbTiO_3$ 와 $PbZrO_3$ 의 고용체에서 정방정계-삼방정계의 상경계(MPB)에서 강한 압전성을 가지며 390℃의 Curie 온도를 가지는 PZT 고용체[1]가 발견됨에 따라서 이 세라믹스를 이용해서

압전 정효과, 역효과를 이용한 압전액츄에이터, 압전트랜듀서, 센서, 레조네이터등의 활용에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다[2]. 그러나 압전성이 우수한 세라믹스들은 Pb가 포함되어 있기 때문에 1000℃이상에서 급격하게 PbO가 휘발되는 성질에 따라서 조성의 변동이 생겨 재현성이 어려우며 또한 이를 방지하기 위하여 과잉 PbO를 첨가시키기 때문에 환경오염뿐만 아니라, 경제적인 측면에서도 많은 문제점을 가지고 있어 최근에는 무연 세라믹스 조성에 대한 많은 연구가 진행되고 있다.

Smolenskii에 의해 알려진 perovskite형의 $(Bi_{1/2}Na_{1/2})TiO_3$ (BNT)는 무연 압전세라믹스에서 가장 좋은 압전 특성을 가지고 있다[3]. 강한 압전성과 320℃ 정도의 높은 상전이점, $38 \mu C/cm^2$ 의 잔류분극(Pr)특성을 가지고 있어서 납을 기본조성으로 하는 압전세라믹스를 대체할 수 있는 대표적인 물질중의 하나로 여겨지고 있다. 그러나 BNT세라믹스는 200℃ 부근에서 강유전체에서 반강유전체로의 전이, 73kV/cm의 항전계(Ec), 분극과정 중 높은 도전성으로 인한 분극처리의 어려움 등을 가지고 있어서 이 BNT세라믹스에 $BaTiO_3$, CeO_2 , Bi_2O_3 , ScO_2 등을 첨가 및 치환시키는 화학적 개량으로 무연 세라믹스의 압전특성을 향상시키는 연구가 활발히 수행되고 있다[4-7].

이중에서 $Bi_{0.5}(Na_{1-x}K_x)_{0.5}TiO_3$ (BNKT) 세라믹스에서 $x=0.16 \sim 0.2$ 부근에서 삼방정상인 $(Bi_{0.5}Na_{0.5})TiO_3$ 와 정방정상인 $(Bi_{0.5}K_{0.5})TiO_3$ 사이의 상경계가 존재하며, 이 상경계 부근에서 PZT의 상경계 특성과 유사한 높은 유전 및 압전 특성이 발견되었다[8].

따라서, 본 연구에서는 $Bi(Na,K)TiO_3$ 세라믹스에 압전특성을 향상시키는 것으로 알려진 알칼리 토금속인 Sr을 치환하고 불순물로서 La_2O_3 를 첨가시켜, 첨가량에 따라 제조된 시편의 압전 및 유전특성을 조사하고 압력센서를 제작하여 압력에 따른 출력전압을 측정하여 危害 전력설비 접근 직접 감지용 무연 압력센서로서의 응용가능성을 고찰하고자 한다.

[†] 교신저자, 正會員 : 東서울大學 電氣情報制御科 副教授 · 工博

E-mail : jihong@dsc.ac.kr

^{*} 正會員 : 世明大學校 電氣工學科 教授 · 工博

接受日字 : 2005年 11月 1日

最終完了 : 2005年 11月 29日

2. 실험

2.1 무연 BNKT 세라믹스 제조

본 실험의 기본조성식은 다음과 같으며 산화물 혼합법으로 시편을 제조하였다.

$0.96\text{Bi}_{0.5}(\text{Na}_{0.84}\text{K}_{0.16})_{0.5}\text{TiO}_3 + 0.04\text{SrTiO}_3 + x \text{ wt}\% \text{La}_2\text{O}_3$ 의 조성에서 Bi_2O_3 , Na_2CO_3 , TiO_2 , K_2CO_3 , SrCO_3 와 La_2O_3 를 출발 원료로 사용하였으며, $x=0\sim 1.2$ 로 변화를 주었다. 조성에 따른 시료는 10^{-4}g 까지 평량하여 아세톤을 분산매로 3mm 지르코니아 볼을 사용하여 24시간동안 혼합, 분쇄 후 건조한 뒤, 알루미늄 도가니에 넣고 800°C 에서 1시간 하소하였다.

하소된 파우더를 24시간동안 재 혼합, 분쇄 후 건조하여, PVA(5% 수용액) 5%를 첨가하고 21mmφ 몰드로 $1\text{ton}/\text{cm}^2$ 으로 단축 성형하였다. 이 성형된 시편을 600°C 에서 3시간 동안 결합제를 태워버린 뒤, 승하강온도 $5^\circ\text{C}/\text{min}$ 로 하여 1150°C 의 온도에서 2시간 소결하였다.

시편의 전기적 특성을 측정하기 위하여 1mm의 두께로 연마한 시편에 Ag전극을 도포한 뒤, 650°C 에서 10분간 열처리하고 25°C 의 절연유 속에서 $40\text{kV}/\text{cm}$ 의 직류전계를 15분간 인가하여 분극처리를 하였으며, 24시간 후에 제 특성을 측정하였다.

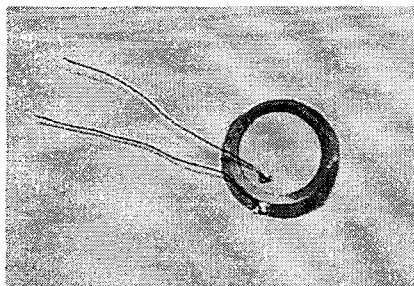
2.2 압력센서 제작 및 특성 측정

압력센서는 직경 24.73 mm, 두께 0.263 mm의 압전 세라믹과 직경 34.76 mm, 두께 0.25 mm의 황동판을 예폭시 접착제로 부착하여 그림 1(a)와 같은 압전부저형으로 만든 후에 그림 1(b)와 같은 구조의 케이스에 조립한다.

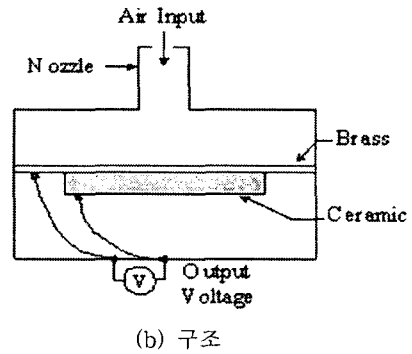
압력센서의 원리는 노즐로 들어온 공기가 진동판과 압전 세라믹스를 가압하여 전압이 발생하는 것이다.

그림 2는 압력센서 출력전압 측정장치로 디지털오실로스코프(Tektronix, TDS 524A)와 압력계(Taylor)가 달린 압력 펌프를 사용하여 20, 30, 40, 50, 60 inH₂O 압력에 따라 발생하는 출력 전압을 측정한 장치이다.

또한 압력센서에서 나오는 출력전압 파형이 진폭이 작은 임펄스 파형이므로 이를 부저와 같은 경보시스템에서 인식하도록 구형파로 만드는 구동회로를 부착하여 특성을 측정하였으며 장치는 그림 3과 같다.



(a) 세라믹스와 진동판



(b) 구조

그림 1 압력센서 구조

Fig. 1 Pressure sensor structure

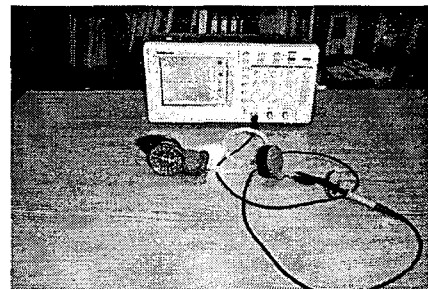


그림 2 압력센서 출력전압 측정장치

Fig. 2 measurement apparatus of the pressure sensor output voltage

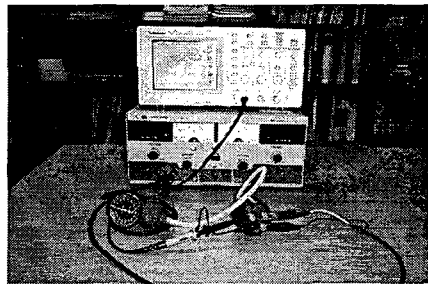


그림 3 압력센서 특성 측정장치

Fig. 3 measurement apparatus of the pressure sensor properties

3. 결과 및 고찰

3.1 La₂O₃ 첨가에 따른 시편의 물성

$0.96\text{Bi}_{0.5}(\text{Na}_{0.84}\text{K}_{0.16})_{0.5}\text{TiO}_3 + 0.04\text{SrTiO}_3 + x \text{ wt}\% \text{La}_2\text{O}_3$ 세라믹스의 특성을 측정 결과, La_2O_3 첨가에 따라 그래인 크기는 감소하고 밀도는 증가하였으며 La_2O_3 첨가량에 따른 시편의 결정구조는 정방정상의 상특성을 나타내었고 상전이는 나타나지 않았다[9].

La_2O_3 첨가량이 증가함에 따라 기계적품질계수는 감소하는 특성을 나타내었으며, 유전상수는 증가하는 특성을 보였다. 0.2wt%의 La_2O_3 첨가 시 전기기계결합계수는 0.40로 최대값을 나타내었으며, 압전상수 d_{33} 가 215 pC/N, g_{33} 가 $31 \times 10^{-3} \text{Vm}/\text{N}$ 으로서 압력센서로서 적합한 특성을 나타내었

다. 이러한 특성은 압력센서로서 적당한 특성으로 사료된다. 따라서 La₂O₃를 0.2wt% 첨가한 BNKT세라믹으로 압력센서를 제작하였다.

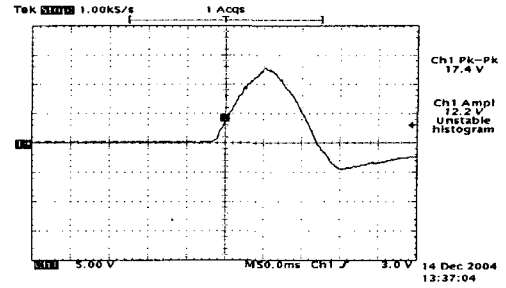
표 1 La₂O₃ 첨가에 따른 시편의 물성

Table 1 Physical properties of specimen with La₂O₃

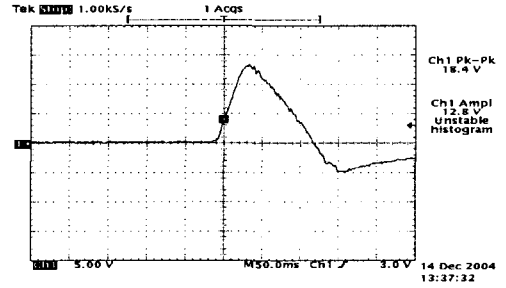
La ₂ O ₃ [wt.%]	밀도 [g/cm ³]	k _p	Q _m	ε _r	d ₃₃ [pC/N]	g ₃₃ ×10 ⁻³ [Vm/N]	T _c [°C]
0	5.71	0.38	129	696	205	33	314
0.2	5.75	0.40	128	768	215	31	320
0.3	5.75	0.37	109	795	210	29	317
0.6	5.79	0.31	88	948	172	20	300
0.9	5.83	0.19	68	1310	95	8	298
1.2	5.8	0.15	61	1281	53	4	274

3.2 압력센서의 출력전압 특성

압력튜브를 사용하여 압력을 20, 30, 40, 50, 60 inH₂O 단계별로 가압할 때 발생하는 압력센서의 기본 출력전압을 측정하여 그림 4에 나타내었으며 이를 종합적으로 그린 곡선을 그림 5에 나타내었다. 압력이 최소 20 inH₂O의 압력에서 0.48V가 출력되었으며 대체적으로 비례하여 증가하다가 60 inH₂O에서 12.8V로 증가율이 둔화되었다.



(d) 50 inH₂O



(e) 60 inH₂O

그림 4 압력에 따른 압력센서 출력전압

Fig. 4 Output voltage of pressure sensor with pressure

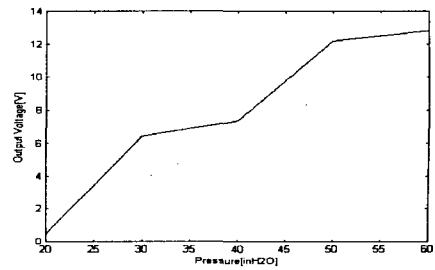
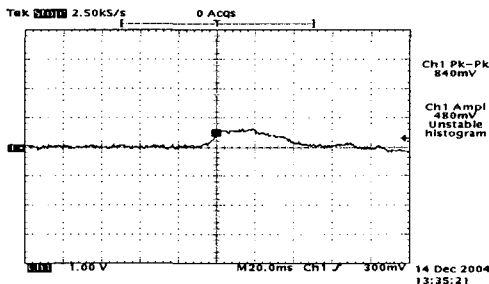
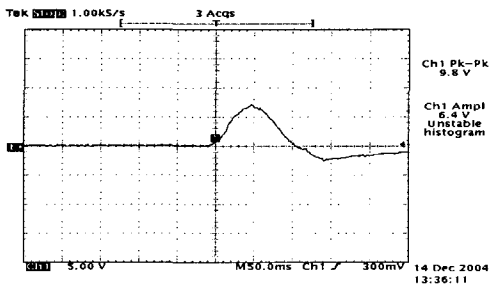


그림 5 압력에 따른 압력센서 출력전압곡선

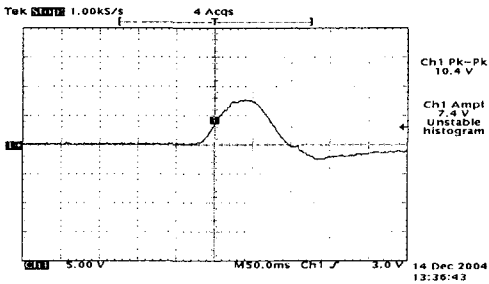
Fig. 5 Output voltage curve of pressure sensor with pressure



(a) 20 inH₂O



(b) 30 inH₂O



(c) 40 inH₂O

그림 6은 그림 4와 같은 임펄스 파형을 구형파로 만드는 회로를 연결하여 압력 인가 시 출력전압을 나타낸 것인데 압력에 관계없이 진폭 9.8V, 펄스폭 37ms의 일정한 구형파 전압이 출력되었다. 이 정도의 출력 전압은 부저나 각종 경보 장치에 연결하면 입력 신호로서 충분히 인식할 만한 값이었다.

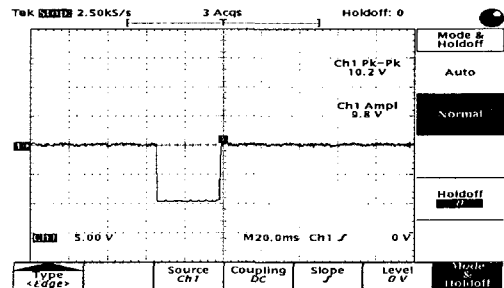


그림 6 구형회로를 부착한 압력센서의 출력전압

Fig. 6 Output voltage of pressure sensor with driving circuit

5. 결 론

본 연구에서는 조성 연구에서 얻은 납(Pb)이 포함되지 않고 압전상수가 우수한 $0.96\text{Bi}_{0.5}(\text{Na}_{0.84}\text{K}_{0.16})_{0.5}\text{TiO}_3 + 0.04\text{SrTiO}_3 + 0.2\text{wt}\%\text{La}_2\text{O}_3$ 세라믹스를 사용하였으며 직경 34.76 mm, 두께 0.25 mm의 금속판과 직경 24.73 mm, 두께 0.263 mm의 압전세라믹스를 접착하여 압력센서를 제작하고 구동회로를 연결하고 케이스에 넣어 특성을 측정한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 0.2wt% La_2O_3 첨가 시 전기기계결합계수 k_p 가 0.4, 압전상수 d_{33} 가 215×10^{-3} pC/N, g_{33} 가 31×10^{-3} Vm/N로서 압력센서로서 적합한 특성을 나타내었다.
2. 압력센서를 제작하여 압력에 따른 전기적 특성을 조사한 결과 최소 20 inH₂O의 압력에서 0.48V가 출력되었다.
3. 구동회로를 부착하여 압력에 따른 출력을 측정한 결과 압력의 크기에 관계없이 진폭 9.8V, 펄스폭 37ms의 일정한 구형파 전압을 얻을 수 있었다.

PZT계 압전세라믹 특성에 가까운 Pb-free 압전세라믹스인 $0.96\text{Bi}_{0.5}(\text{Na}_{0.84}\text{K}_{0.16})_{0.5}\text{TiO}_3 + 0.04\text{SrTiO}_3 + 0.2\text{wt}\%\text{La}_2\text{O}_3$ 세라믹스를 이용하여 압력센서를 제작하여 危害 전력소비 접근을 직접 감지할 수 있도록 하였으며 이러한 기술은 여러 분야에 활용할 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 2003년도 산업자원부 전력산업연구개발 사업(과제번호:R-2003-B-340)으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

[1] B. Jaffe, W. R. Cook and H. Jaffe, "Piezoelectric Ceramics", Academic Press London, p. 115, 1971.
 [2] 홍재일, "GIS 부분방전 검출용 결합진동모드 AE 센서의 특성", 전기학회 논문지, 제50P권, 제2호, pp.71-76, 2001.6
 [3] G. A. Smolenskii, V. A. Isupov, A. I. Agrano vskaya and N. N. Krainik, Sov. Phys.-Solid State(Eegl.Trasl.), Vol. 2, No. 11, p. 2651, 1961.
 [4] T. Takenaka, K. Maruyama and K. SaKata, "(Bi_{1/2}Na_{1/2})TiO₃-BaTiO₃ system for lead-free piezoelectric ceramics", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 30, No. 9B, p. 2236, 1991.
 [5] X. Wang, H. L. Chan and C. Choy, "piezoelectric and dielectric properties of CeO₂-added(Bi_{0.5}Na_{0.5})_{0.94}Ba_{0.06}TiO₃ lead-free ceramics", Solid State Communication. Vol. 125, p. 395, 2003.
 [6] T. Takenaka, United State Patent, 6004474, 1999.
 [7] H. Nagata and T. Takenaka, "Additive effects on electrical properties of (Bi_{1/2}Na_{1/2}) TiO₃ ferroelectric

ceramics", J. Euro. Ceram. Soc., Vol. 21, p. 1299, 2001.

[8] A. Sasaki, T. Chiba, Y. Mamiya and E. Otsuki, "Dielectric and piezoelectric properties of (Bi_{0.5}Na_{0.5})TiO₃ - (Bi_{0.5}K_{0.5})TiO₃ systems", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 38, No.9B, p. 5564, 1999.
 [9] 류주현, 이현석, 박창엽, 정광현, 이덕출, 정영호, 홍재일, "La₂O₃첨가에 따른 무연 Bi(Na,K)TiO₃ - SrTiO₃ 세라믹스의 압전특성", 전기전자재료학회 논문지, 제17권 제8호, pp.830-834, 2004. 8

저 자 소 개



홍재일 (洪在 一)

1958년 9월 26일생. 1982년 연세대 전기공학과 졸업. 1987년 연세대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1997년~1998년 미국 펜실바니아 주립대 MRL 연구소 Post-doc. 현재 동서울대학 전기정보제어

과 부교수

Tel : 031)720-2067

Fax : 031)720-2262

E-mail : jihong@dsc.ac.kr



류주현 (柳周鉉)

1957년 9월 26일생. 1984년 연세대 전기공학과 졸업. 1987년 연세대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 현재 세명대학교 전기공학과 교수

Tel : 043)648-1301

Fax : 043)648-0868

E-mail : juhyun57@semyung.ac.kr