

압전 트랜스포머형 액츄에이터를 사용한 고전압 계측 방법에 관한 연구

A Study on the high voltage measurement method using piezoelectric transformer type-actuator

이 용우, 윤 광희, 류 주현, 윤 현상, 김성구*

박 창엽**, 정 영호***, 하복남***

세명대학교, 평택전문대, 연세대학교, 전력연구원**

(Y-W Lee, K-H Yoon, J-H Yoo, H-S Yoon, S-K Kim**

C-Y Park**, Y-H Jung***, B-N Ha***)

Abstract

In this paper, we used the BaTiO₃ system ceramics with high temperature stability for high voltage deviation, and rosen type-piezoelectric transformer for high voltage measurement. when Line-high voltage is 13,200[V], Input voltage of piezoelectric transformer type-actuator is about 390[V], and output voltage of it is 26.5[V] on the no-load. And also, temperature stability from -25°C to 50°C is less than ±4.45%

Key words(중요용어):rosen type-piezoelectric transformer(로젠형 압전트랜스포머),high voltage deviation(고전압분배),temperature stability(온도안정성)

1. 서론

정보통신과 최첨단 전자분야로 산업의 발전과 전기에너지 수요 분포의 고밀화(국부적인 집중)에 따른 고품질 전력의 안정적인 공급은 국가산업과 전력산업의 경쟁력 확보를 위한 중요한 요소가 되고 있으며 전력수요에 대한 요구를 충족시키기 위하여 배전자동화 시스템(DAS)이 개발되어 시범계통으로 운용되고 있다. 이러한 배전자동화의 일환으로 배전선로 운전전압정보 취득 및 사고지점 파악과 신속한 사고복구를 위한 가스 개폐기 내장형 전압변성장치가 사용되고 있다. 가스 절연 개폐장치(GIS)는 1960년대 말 처음으로 소개되었다.¹⁾ 처음에는 비교적 낮은 전압 66kv~245kv급의 가스절연 개폐장치가 제작,

설치, 운전되었다. 1975년에 800kv급 GIS가 최초로 시험되었으며,1970년대 말에는 1200kv급 GIS의 시제품이 출시되기도 하였다. GIS는 Al 또는 Steel외함에 압축된 SF₆ 가스가 내장되어 있다. 이 가스절연 개폐장치에 내장하여 사용하는 개폐기 내장형 고전압 계측 장치로는 저항분압기, 용량성분압기, 스페이스분압기등으로 여러 방식으로 이용되고 있으나 전력기기중에 사용중에 발생하는 과도 전압과 충격전류는 진행파로서 작용하여 발생지점과 측정위치에 따라 달라질 수 있다.²⁾

따라서, 본 연구에서는 우수한 내전압특성 및 유전상수의 온도특성을 지닌 BaTiO₃계

세라믹을 고전압 분압용 소자와 에너지 변환 성능이 우수한 압전트랜스포머를 전압변성장치로 제작하여 고전압 계측 장치로의 응용 가능성을 고찰하고자한다.

2. BaTiO₃계 시편의 제작 및 특성측정

2-1 분압용 시편 제작

제조 조건에 따른 시편의 분류는 표1과 같다. 고전압 분압용으로 밀도가 우수한 시편을 제작하기 위해 CIP방법을 사용하였다. 소성은 1390℃, 1420℃, 1450℃로 변화를 주었다.

표1 소성온도에 따른 시편분류

Table1. Classification of specimens with sintering temperature

No.	Sintering temperature	Sintering Time	Forming
S1	1390℃	1hr,30min	CIP,2ton
S2	1420℃	1hr,30min	CIP,2ton
S3	1450℃	1hr,30min	CIP,2ton

2-2. 제반특성 측정

(1) 구조적 특성 측정

제작된 시편의 구조적 특성을 관찰하기 위하여 밀도, 결정구조, 미세구조를 관찰하였으며 방법은 다음과 같다.

밀도는 시편의 소결상태의 척도로 본실험에서는 다음식에 의해 시편의 밀도를 계산하였

$$\rho = \frac{A}{(A-B)} \times \rho_0 \quad \text{-- (1)}$$

ρ : 시편의 밀도 [g/cm³]

ρ_0 : 물의 밀도[g/cm³]

A: 시편의 공기중에서무게[g]

B: 시편의 물속에서 무게[g]

그리고, 소성온도(1390℃, 1420℃, 1450℃)에 따른 시편의 소결상태와 결정구조를 알기 위하여 XRD를 이용하여 분석하였다. 미세구조를 관찰하기 위하여 시편을 polishing하여

전자 현미경(SE M)으로 그레인 크기를 관찰하였다.

평균 입자의 크기는 Linear Intercept Technique에 의해 다음식으로 계산 되었다.

$$D = 1.56 \times \frac{C}{M \times N} \quad \text{--(2)}$$

C : 계산된 선의 길이 (mm)

M : 광학 현미경의 배율

N : 선에 의해 관통된 입자수

(2) 유전적 특성 측정

정전용량은 LCR meter (Ando)를 사용하여 항온조에서 -25℃~50℃까지 온도를 변화시키면서 측정하여 다음식을 이용하여 계산하였다.

$$\epsilon_r = \frac{C \cdot d}{\epsilon_0 \cdot S}$$

C : 정전용량

S,d : 시편의 면적, 두께

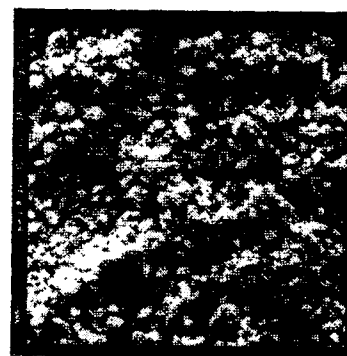
ϵ_0 : 공기중의 유전율

$$(8.854 \times 10^{-12} \text{ F/m})$$

3. 결과 및 고찰

3-1. 구조적 특성

표2는 소결 온도에 따른 시편의 밀도 변화이다.



1390℃

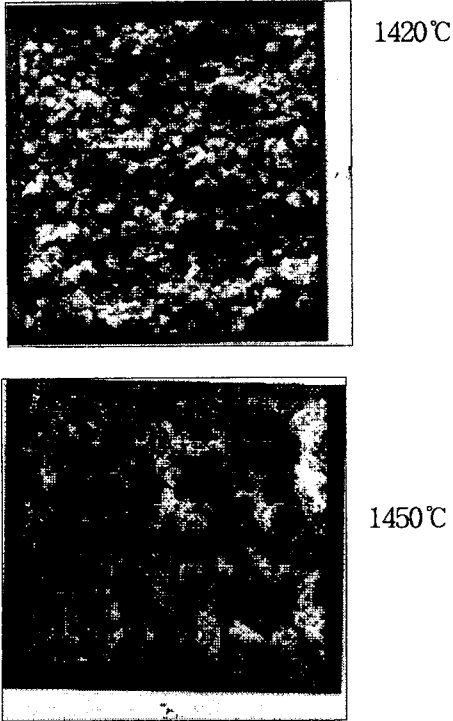


그림1. 소성 온도에 따른 SEM사진
Fig1. SEM photography with sintering temperature

표2. 소성온도에 따른 밀도의 변화
Table2. Variation of density with sintering temperature

No	소성온도[°C]	밀도
S1	1390	5.71
S2	1420	5.59
S3	1450	5.41

밀도는 소결온도가 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타내었으며, 소결온도 1390°C에서 5.71로 가장 큰 값을 나타내었다. 그림1은 소결온도에 따른 미세구조를 전자현미경으로

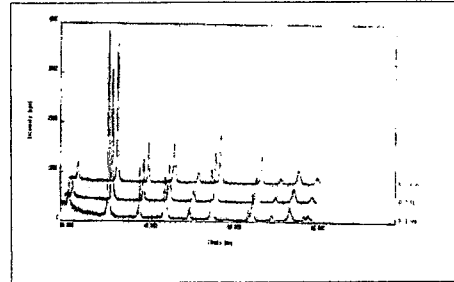


그림2. 소결온도에 따른 시편의 XRD
Fig2. XRD with sintering temperature 관찰한 것이다.

그림 2는 소결온도에 따른 시편의 XRD 이다. 모든 소결조건에서 이상이 나타나지 않았으며 분석결과 결정구조는 입방정계를 나타내었다.

3-2. 유전상수 측정

그림3은 소결온도에 따른 유전상수를 -25°C - 50°C로 온도를 변화시켜 가며 측정한 것이다.

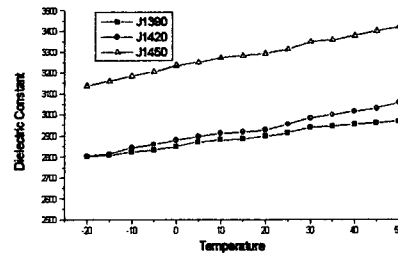


그림3. 소결 온도에 따른 유전상수변화
Fig3. Variation of dielectric constant with sintering temperature

유전상수의 변동폭, 즉 $\Delta \epsilon_r / \epsilon_r$ %는 소결온도 1450°C시편에서 4.64%, 1420°C에서 4.2%, 1390°C에서 3.24%로 1390°C로 소결된 시편에서 가장 안정된 값을 나타냈다. 또한 상온(실온)에서의 유전상수는 소결온도가 증가함에 따라 유전상수가

증가하였다. 1450℃에서 소결된 시편에서 상온에서의 유전상수가 3,291로 높은 값을 나타내었다. 본 연구에서는 유전상수의 온도 안정성이 중요한 요소가 되기 때문에 1390℃에서 소결한 시편이 전압 계측분압용 조성 세라믹으로 적합하리라 판단되며, 이에 따라 이 시편을 이용하여, device 제작 샘플로 사용하였다.

3-3. 압전트랜스형 액추에이터에 의한 전압 계측

권선형 트랜스포머의 전압변환과정이 1차측 전류 → 자계에너지 → 2차측전류인 것에 비해서, 압전세라믹을 이용한 트랜스포머는 1차측 교번전압 → 초음파 기계진동 → 2차측 전압발전의 과정을 경유한 감압/승압을 행한다.

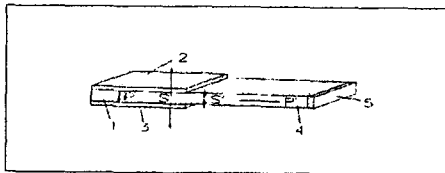


그림4. 압전트랜스형 액추에이터

Fig4. Piezoelectric type-actuator

압전트랜스의 구조는 구동부와 발전부로 구성되며 그림4에서처럼 좌반분 1은 입력전기 에너지를 기계적 진동에너지로 변환하는 구동부로 위,아래면에 입력 전극 2와 3이 있다. 우반분 4는 기계적 진동에너지를 전기적 출력에너지로 변환하는 발전부분이며 출력전극 5가 있다. 구동부에 전압을 인가하면 기계적 진동이 일어나며 이 기계적 진동은 발전부에 길이방향으로 전달되어 기계적 진동에 의한 압전효과가 발생하여 전압이 발생한다. 1차 입력전압과 2차 출력전압의 비는 압전트랜스의 구동부와 발전부의 형상에 의해 결정된다.

그림5는 압전트랜스형 액추에이터 전압계측 시스템으로 입력전압이 13,200 [V]일 때 압전트랜스(C3)에는 전압이 392 [V]가 걸리며

이 전압이 압전트랜스형 액추에이터의 입력부를 구동 발생하는 기계적인 진동에너지를 출력부로 전달시켜 압전효과에 의한 전압이 계측된다.

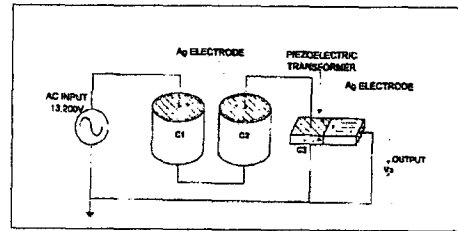


그림5. 압전트랜스형 액추에이터 전압 계측 시스템

Fig5. Voltage measurement system using piezoelectric transformer type-actuator

표 3 분압용 전압세라믹 시편 및 압전트랜스의 사양

Table3. specification of electrostrictive ceramics and piezoelectric transformer

	C1	C2	C3
material	BaTiO ₃	BaTiO ₃	PZT
dimension	∅ 30×20	∅ 30×20	80×24×3.0
Capacitance	240 [pF]	250 [pF]	4 [nF]
loaded V	6534[V]	6273[V]	392[V]

표4는 -25℃~50℃ 사이에서 출력전압의 온도특성을 측정한 결과이다. 이 경우에 C3의 정전용량이 4nF로 작고, 압전트랜스의 조성인 PZT의 온도특성이 우수한 ±4.45%의 정밀도를 나타내었다. 따라서 압전트랜스형 액추에이터에 의한 전압 방법은 압전트랜스형 액추에이터의 온도에 따른 유전상수 및 압전상수 변화폭이 작은 조성세라믹을 이용하면 오차한계 범위인 ±3% 이내의 전압계측 정밀도를 얻는 것이

가 가능하다. 또한 압전트랜스포머를 그림5 회로에서 별도로 추가하여 공진주파수로 구동하면 그 자체로 전류원 확보가 가능하기 때문에 이에 대한 연구 검토를 하면 좋은 결과가 있으리라 사료된다.

표4. 압전트랜스형 액츄에이터의 온도에 따른 출력전압

Table4. Output voltage of piezoelectric transformer type-actuators with temperature

temperature	Output[V]
-25	20.04
-20	19.87
-10	19.55
0	19.30
10	19.11
20	18.77
30	18.63
40	18.42
50	18.40

압전트랜스형 액츄에이터의 온도에 따른 출력 변화는 13,200V에서 1.64V 가 변화되었다.

표5. 온도에 따른 유전상수변화

Table5. Variation of dielectric constant with temperature

temp	-25	-20	-10	0	10	20	30	40	50
ϵ_r	1401	1416	1437	1471	1503	1544	1597	1628	1670

압전트랜스형 액츄에이터의 입력부에서 온도에 따른 유전상수를 측정한 결과 유전율의 변화가 크게 나타났다. 따라서 유전상수의 온도 특성을 개선하면 트랜스포머형 액츄에이터의 입력전압을 안정하게 하여 출력전압의 온도특성을 개선할 수 있다.

4. 결론

- (1) 밀도는 소결온도가 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타내었으며, 소결온도 1390℃에서 5.71로 가장 큰 값을 나타내어 적정 소결온도로 생각된다.
- (2) 시편의 XRD결과. 모든 소결조건에서 이상이 나타나지 않았으며 결정구조는 입방정계를 나타내었다.
- (3) 분압용 시편의 BaTiO₃계 시편의 온도 변화에 따른 유전상수의 변동폭, 즉 $\Delta\epsilon_r/\epsilon_r$ %는 소성온도 1450℃시편에서 4.64 %, 1420℃에서 4.2 %, 1390℃에서 3.24 %로 1390℃로 소결된 시편에서 가장 안정된 값을 나타냈다.
- (4) 출력전압의 온도 특성은 $\pm 4.45\%$ 로 오차 한계범위인 $\pm 3\%$ 에 도달하진 못 했지만 우수한 정밀도를 나타내었다.

- 참고문헌 -

- 1) 이 경행, “초고압 전력기기의 기술동향”, 대한전기학회지, vol.46, No.8, pp23~30, 1997.8
- 2) 길 경석, 이 복희, 하 성철, “고전압 측정기술”, 대한전기학회지, vol.46, No.8, pp 41~46, 1997.8
- 3) H.W.katz : “Solid State Magnetic and Dielectric Devices”, John Wiley and Sons, Chap5, pp 170~232, 1959
- 4) S.Kawashima, O.Ohnishi et al., “Third order longitudinal mode piezoelectric ceramic transformer and its application to high-voltage power inverter” Proc. 1994, IEEE Ultrason. Symp., pp.525~530, 1994