

분압용 세라믹과 압전 액츄에이터를 이용한 고전압 계측에 관한 연구

논문
12-3-8

A Study on the High Voltage Measurement using Voltage Division Ceramic & Piezoelectric Actuator

류주현*, 이용우*, 윤현상*, 박창엽**, 정영호***, 하복남***

(J-H Yoo*, Y-W Lee*, H-S Yoon*, C-Y Park**, Y-H Jeong***, B-N Ha****)

Abstract

In order to accurately measure the high voltages of 22.9 kV(Y) power distribution lines for advanced power distribution, voltage measurement study was done with BaTiO₃ system ceramics and Rosen type-piezoelectric actuator. When line-voltage is 13,200[V] at the room temperature, input voltage of piezoelectric actuator is about 250[V], and output voltage of it was 31[V] without load. Temperature stability from -25℃ to 50℃ was less than ±3%.

Key Words(중요용어) : Rosen type-Piezoelectric Actuator(로젠형 압전 액츄에이터), Temperature Stability(온도안정성), Power distribution lines(배전 선로)

1. 서 론

현대 사회에서 고품질 전력의 안정적인 공급을 위해 배전자동화의 대한 필요성이 증대되고 있다. 배전자동화의 일환으로서 배전선로 운전전압정보 취득 및 사고지점파악과 신속한 사고복구를 위한 가스개폐기 내장형 전압변성장치가 사용되고 있다^{1,2)}. 기존의 배전선로 22.9kV 고전압계측 및 동작전류 공급장치는 고압측 콘덴서와 저압측 권선트랜스(CPT방식)로 구성되고 고압측 콘덴서에 고전압이 분압되고 저압측 권선 트랜스에 저전압이 분압되도록 하여 저압측 트랜스에서 전압정보와 개폐기의 개폐를 위한 동작전류를 공급토록 하였다.

이 방법은 산업체에서 선로전압 변동에 따라서 콘덴서의 정전용량이 -25℃~50℃사이에서 약 30%까지 변화하는 소자를 사용하여 고압측 콘덴서와

저압측 권선트랜스에서 분압되는 전압이 온도에 따라 크게 변화되어 선로전압의 계측전압 오차가 온도변화에 따라 크게 나타났다. 또한 배전제어 단말장치인 FRU(Feeder Remote Unit) 회로의 소비전력 차이에 따라라도 고압측 콘덴서와 저압측 트랜스의 전압분배가 일정치 않은 문제점이 있다. 따라서, 고압측 콘덴서와 저압측 콘덴서를 사용하는 방식(CPD방식)으로 하고, 동작전류는 외부 변압기를 달아서 외부 변압기에 연결되어 있는 축전지에서 공급하여 선로전압과 동작전원을 확보하는 방법으로 각 업체에서 널리 사용하게 되었다. 그러나, 이 방법에서도 고압측 콘덴서의 정전용량이 다르고 정전용량 변화가 큰 소자를 사용하여 전압오차가 크게 나타나게 된다. 최근들어서 개폐기의 외부 부상에 부상내부에 금속링을 설치하여 저유전을 재료인 에폭시를 충전시켜 capacitance를 형성하여 고전압 분압용 소자로 채용하는 연구가 활발히 진행되고 있으나 4정도의 유전상수를 갖는 저유전을 에폭시 재료를 사용하기 때문에 요구하는 정전용량을 만족하기 위해서는 부피를 크게해야 하는 단점을 가지고 있다. 따라서 고전압을 정확히 계측하고 FRU에 동작전류를 충분히 공급할 수 있는 고전압 변성장치 개발이 필요한 실정이다.

* : 세명대학 전기공학과(E-mail : juhyun57@chollian.net)

* : 경문대학 전기과

** : 연세대학교 전기공학과

*** : 한전 전력연구원 배전자동화그룹

1999년 1월 20일 접수, 1999년 3월 5일 심사완료

따라서, 본 연구에서는 FRU에 동작전류를 충분히 공급할 수 있는 시스템에 대해서는 후에 발표하기로 하고 먼저, 정밀한 배전선로 22.9kv 고전압계측을 위하여 우수한 내전압특성 및 유전상수의 온도특성을 지닌 BaTiO₃계 세라믹의 고전압 분압용 소자와 에너지 변환성능이 우수한 압전 액추에이터를 이용하여 고전압 측정시스템으로 구성하여 고전압 계측 특성을 조사하고자 한다.

2. 실험방법

2.1 고전압 분압용 소자 제작

본 연구에서 하고자 하는 고전압 계측 시스템은 분압용 세라믹스와 직렬로 연결된 압전액추에이터의 구조를 갖기 때문에 분압용 세라믹스의 온도특성이 매우 중요하다. 본 연구에서는 상용화된 BaTiO₃(BTM25K)계열 세라믹스가 온도에 따른 유전 특성이 매우 우수하므로 이를 분압용 세라믹스로 사용가능하나 밀도가 다소 떨어지는 관계로 이를 개선시키기 위하여 일단 가성형된 성형체를 다시 CIP(Cold Isostatic Pressing) 방법을 사용하여 2 ton으로 가압성형한 후 1390℃에서 1시간 30분 소성하였다.

2.2 압전 액추에이터 소자의 제작

압전 액추에이터는 항전계와 curie온도가 높은 EC-69 powder(Edo사)를 사용하였다. 이는

Impulse 내전압을 견디도록하고 장시간 사용하였을 때 소극되지 않도록 하기 위해서이다.

표 1은 EC-69의 물질 특성을 나타낸 것이다. 압전 액추에이터는 성형은 금형에 1ton/cm²의 압력으로 가한 후 1270℃에서 2시간 소성하여 제조한 다음 150℃에서 30분간 20kv/cm의 전계로 분극하였다. 장방형 크기 52×24×5mm의 전액추에이터에서 두께를 5mm로 상당히 크게 설계한 이유는 13,200V 고전압 분압시 압전액추에이터에 200 ~ 300V 정도가 인가될 때에 장기간 사용해도 소극에 의한 출력 전압 감소를 없애기 위했으며 또한, 뇌 썬지에 의한 절연파괴를 방지할 목적으로 150kv Impulse가 고전압 계측 시스템에 인가될 때에 충분한 내전압 확보를 할 목적으로 하였다.

2.3. 특성측정

분압용 소자와 압전 액추에이터의 온도에 따른 정전용량은 LCR meter(AG4304, Ando)를 사용하여 항온조에서 -25℃~50℃까지 온도를 변화시키면서 측정하였다. 또한, 압전 액추에이터의 온도에 따른 출력전압은 분압용소자와 압전 액추에이터를 직렬로 연결하여 항온조(Model : C - RHC2, 제일과학)에 넣은 다음 오실로스코프(Lecroy1015 400MHz)로 무부하에서 측정하였다.

또한, 고전압계측 시험은 고전압 발생기(type : SJ/A75, 신전사)로 고전압 Impulse시험은 고전압 발생기(Model : SGS 600-30, 스위스 Haefely)로 시험하였다.

표 1. 압전 액추에이터에 사용된 EC-69의 재료 특성

Table 1. Material properties of the EC-69 ceramic used in our piezoelectric actuator

Density(10kKg/m ³)	7.5
Young, s modulus(10 ¹⁰ N/m ²)	9.9
Curie point(℃)	300
Mechanical Q	960
Dielectric constant	1.050
Dielectric loss(1 kHz)	0.3
k ₃₁	0.31
k _p	0.52
d ₃₁ (10 ⁻¹² m/V)	-95
d ₃₃ (10 ⁻¹² m/V)	220

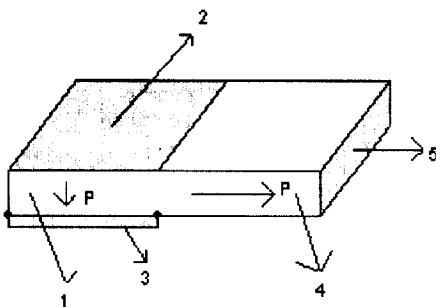


그림 1. 압전 액추에이터

Fig. 1. Piezoelectric actuator

3. 결과 및 고찰

BaTiO₃(BTM25K)계열 분압용 세라믹스의 소성 온도변화를 1350℃~1450℃까지, holding time은 1시간~2시간까지 변화시켜가며 실험을 하였다. 각각의 시료들을 밀도, 유전율, SEM, XRD등을 조사한 후에 최적의 소성조건을 선택한 것 결과 1390℃, 1시간 30분으로 제작한 시료가 밀도 5.71, 상온에서의 유전상수 3000로 나타났으며, 온도특성이 가장 우수하였다^[6]. 따라서, 본 실험에서 1시간 30분으로 분압용 세라믹스를 제작하였다. 그림 1은 본 연구에서 제작된 장방향 크기 52×24×5mm size의 압전 트랜스포머 형태의 액추에이터의 구조이다.

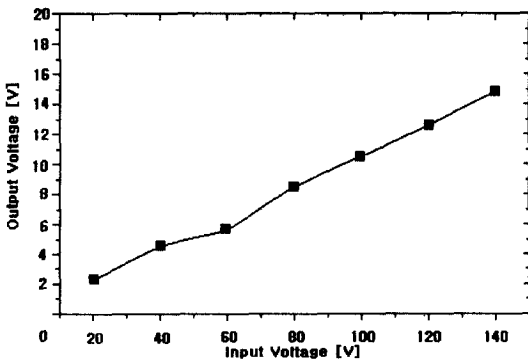


그림 2. 압전 액추에이터의 입·출력특성
Fig. 2. Input and output characteristics of piezoelectric actuator

권선형 트랜스포머의 전압변환과정이 1차측 전류 → 자계에너지 → 2차측 전류인 것에 비해서, 압전 세라믹스를 이용한 트랜스포머는^[4, 5, 6] 1차측 교번 전압 → 초음파 기계진동 → 2차측 전압발전의 과정을 경유한 감압/승압을 행한다. 압전트랜스포머의 구조는 구동부와 발전부로 구성되며 그림 1에서 처럼 좌반분 1은 입력 전기에너지를 기계적 진동에너지로 변환하는 구동부로 위,아래면에 입력 전극 2와 3이 있다. 우반분 4는 기계적 진동에너지를 전기적 출력에너지로 변환하는 발전 부분이며 출력 전극 5가 있다. 구동부에 전압을 인가하면 기계적 진동이 일어나며 이 기계적 진동은 발전부에 길이

방향으로 전달되어 기계적 진동에 의한 압전효과가 발생하여 전압이 발생한다. 1차 입력전압과 2차 출력전압의 비는 압전트랜스포머의 구동부와 발전부의 형상에 의해 결정된다. 이때, 압전트랜스포머의 구동주파수를 소자의 공진 주파수로 맞추면 트랜스포머로 작용가능하나 직류나 60Hz로 구동하면 단순한 액추에이터가 된다. 그림 2는 압전 액추에이터만의 인가전압변화에 따른 출력전압특성을 나타낸 것이다. 인가 전압이 증가함에 따라 출력 전압이 선형적으로 증가하고 있기 때문에 전압 계측 센서로 적용하기에 유효한 특징을 갖고 있다.

그림 3은 압전 액추에이터 전압계측시스템으로 22.9 kV(Y)배전선로의 한상간의 입력전압이 13,200 [V]일 때 압전트랜스(C2)에는 실온에서 전압이 250 [V]가 걸리며 이 전압이 압전트랜스포머 형태 액추에이터의 입력부를 구동 발생하는 기계적인 진동에너지를 출력부로 전달시켜 압전효과에 의한 전압이 계측된다. 따라서, 3상에 같은 시스템을 구성하면 선로전압을 모두 측정가능해진다.

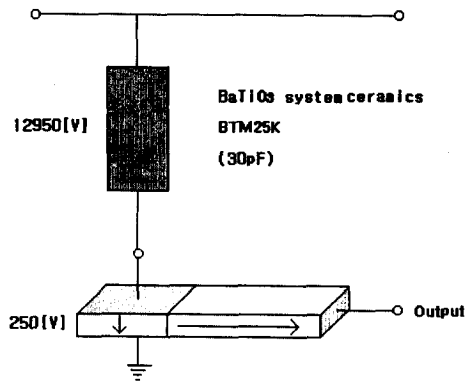


그림 3. 압전 액추에이터 전압 계측 시스템
Fig. 3. Voltage measurement system using piezoelectric actuator

그림 4는 분압용 세라믹스와 압전액추에이터의 온도에 따른 정전용량 변화이다. -25℃~ 50℃까지 정전용량 변화가 20℃를 기준으로 하여 -25℃에서 2.29%, 50℃ 3.2%로 나타났다. 압전액추에이터의 온도에 따른 정전용량 변화는 -25℃에서 2.3%, 50℃에서 4%로 나타났다.

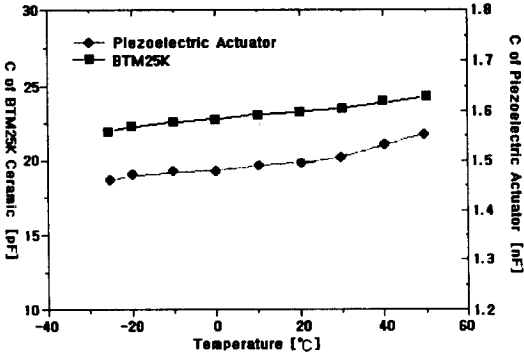


그림 4. 분압용 세라믹스와 압전 액츄에이터의 온도에 따른 정전용량의 변화

Fig. 4. Variation of capacitance as a function of temperature

표 2는 BaTiO₃세라믹스와 압전액츄에이터의 사양을 나타내었다.

표 2. BaTiO₃ 세라믹스 및 압전액츄에이터의 사양

Table 2. Specification of BaTiO₃ ceramics and piezoelectric actuator

	material	dimension [mm]	capacitance	loaded [V]
C1	BaTiO ₃ (BTM25K)	∅10×90	30[pF]	12,950
C2	EC-69	52×24×5	1.48[nF]	250

표 3은 -25℃~50℃ 사이에서 출력전압의 온도 특성을 측정한 결과이다. 압전액츄에이터의 출력전압의 온도특성이 ±2.94%의 정밀도를 나타내었다. 압전액츄에이터에 의한 전압계측 방법은 압전액츄에이터의 온도에 따른 유전상수 및 압전상수 변화폭이 작은 조성 세라믹을 사용하면 좋으나, 오히려 20℃ 이후에 다소 압전 액츄에이터의 유전상수 증가에 의한 압전 d상수 증가로 인해 출력 전압이 증가되기 때문에 압전 액츄에이터 정전용량이 분압용 소자보다 더욱 증가하여 압전 액츄에이터에 분압되는 전압이 감소하는 형태로 되어 20℃ 이후에도 거의 일정한 고전압 계측특성을 나타낸 것이라 생각된다.

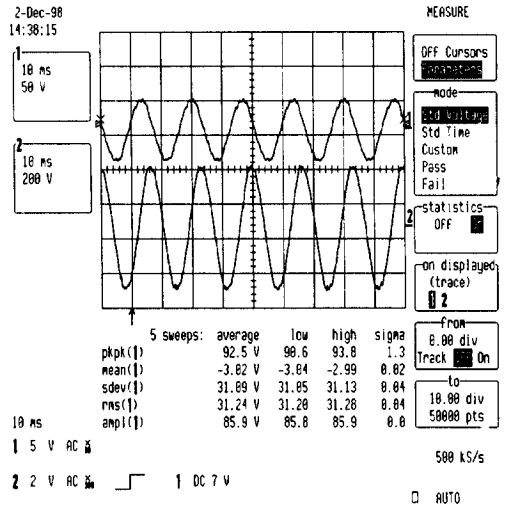


그림 5. 20℃에서의 압전트랜스형 액츄에이터의 입출력 특성(상부 : 출력, 하부 : 입력)

Fig. 5. Input and output voltagecharacteristic of piezoelectric actuators at 20℃

또한, 그림 5는 20℃에서의 액츄에이터의 입출력 특성을 나타낸 것이다(상부 : 출력, 하부 : 입력). 이상적인 정현파가 출력됨을 확인하였다.

표 3. 압전 액츄에이터의 온도에 따른 출력전압
Table 3. Output voltagechange of piezoelectric actuators with temperature

Temp [°C]	Input [V]	Output [V]
-25	239.4	31.09
-20	235.3	30.32
-10	241.0	30.65
0	244.7	30.98
10	247	30.89
20	250.2	31.24
30	247	31.62
40	244	31.98
50	235	31.65

표 4. 인가전압에 따른 압전 액추에이터의 출력 특성과 분압비

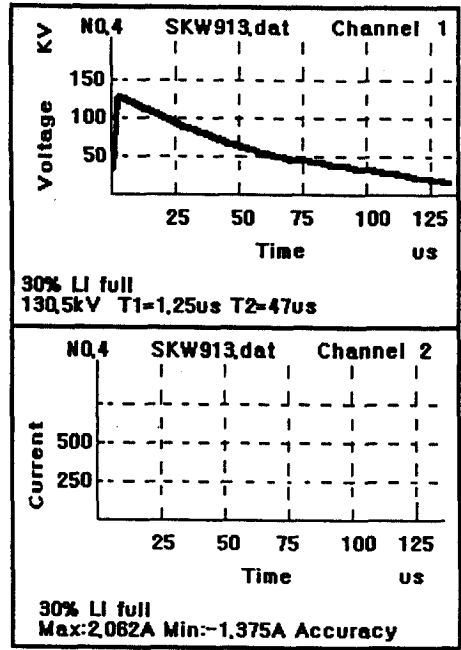
Table 4. Output voltage of piezoelectric actuator and division ratio with input voltage

Input [kV]	Trans input[V]	Trans output[V]	분압비
5	73.77	11.7	66.78
6	89.2	14.22	66.26
7	105.26	16.67	65.50
8	122.3	19.16	64.41
9	141.3	21.99	62.69
10	161.2	25.24	61.03
11	178.6	27.89	60.59
12	201.7	33.02	58.49
13	220.7	36.02	57.90
14	242.8	39.1	56.66
15	263.3	42.23	55.97

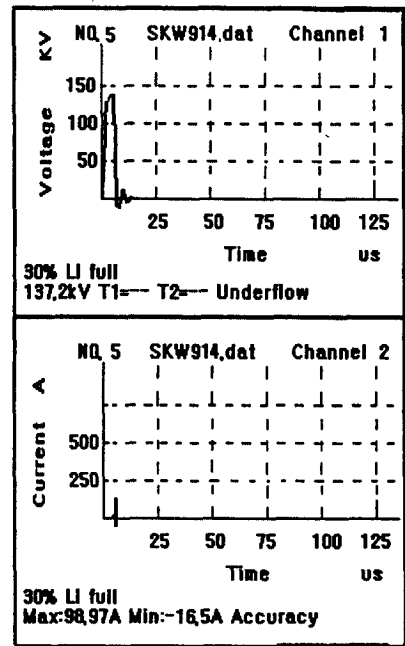
표 4는 고전압계측 시스템의 인가전압 변동에 따른 압전 액추에이터 출력 특성과 분압비를 나타낸 것이다. 여기서, 분압비란 압전 액추에이터와 분압용 세라믹스에 분압되는 비율을 말한다. 즉, 압전 액추에이터를 1로 했을 때 분압용 세라믹스에 걸리는 전압 비율이다. 인가전압이 증가함에 따라 압전액추에이터의 분압되는 전압이 감소됨을 알 수 있었다. 이는 전압이 증가함에 따라 분압용 세라믹스의 정전용량이 상대적으로 다소 감소되기 때문이다.

이러한 특성은 실제의 압전 액추에이터에서의 고전압계측과는 무관하기 때문에 상관이 없으며 이 data를 전압 표시회로 구성시에 이용하기만 하된다. 22.9kv 배전선로의 고전압 계측시스템에서 뇌 썬지등에 의한 절연파괴를 방지하기위해서 분압용 세라믹스와 압전 액추에이터의 내전압특성이 매우 중요하다. 150Kv의 impulse를 기준으로할 경우 분압용 세라믹스와 압전 액추에이터에 전압이 분압되어 약 2.8Kv의 전압이 순간적으로 인가되게 된다. 압전 액추에이터의 두께를 5mm로 했기 때문에 5.68Kv/Cm의 전계가 인가되게 되나 압전액추에이터의 항전계가 10Kv/Cm이므로 분극의 소극의 염려는 없게 된다.

그림 6은 임펄스 내전압 시험을 한 것이다. 이 data는 130.5KV에서 전류가 거의 0이고 이상이 없었으며 137.2KV되서야 전류가 나타남을 확인



(a) 130.5 [KV]



(b) 137.2 [KV]

그림 6. 고전압 측정 시스템의 임펄스 시험
Fig. 6. Impulse test data of high voltage measurement system

하였다. 이는 공기중에 방전으로 가스 개폐기 내에 실장되면 절연내력이 높아 이상이 없을 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 연구에서는 배전자동화의 일환으로서 배전선로 운전전압정보 취득 및 사고지점파악과 신속한 사고복구를 위한 가스개폐기 내장형 전압변성장치를 개발하기 위하여 먼저, 정밀한 배전선로 22.9kV 고전압계측을 위한 목적으로 우수한 내전압특성 및 유전상수의 온도특성을 지닌 BaTiO₃계 세라믹의 고전압 분압용 소자와 에너지 변환성능이 우수한 압전 액츄에이터를 이용하여 고전압 측정시스템으로 구성하여 고전압 계측 특성을 조사한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 분압용 세라믹스의 온도에 따른 정전용량변화를 측정해본 결과 20℃를 기준하여 -25℃에서 2.29%, 50℃에서 3.2%로 나타났다.
- (2) 압전액츄에이터의 온도에 따른 정전용량변화를 측정해 본 결과 25℃를 기준하여 -25℃에서 2.3%, 50℃에서 4%로 나타났다.
- (3) 고전압 계측 시스템에 인가전압 변화에 따른 압전액츄에이터의 출력전압의 선형성은 우수한 특성을 나타내었다.
- (4) 일정전압 13,200[V] 인가시에 온도에 따른 압전액츄에이터 출력전압을 조사한 결과 ± 2.94%의 전압계측오차를 갖는 우수한 정밀도를 나타내었다. 이는 분압용 소자와 압전액츄에이터의 분압이 20℃까지 온도가 증가함에 따라 압전액츄에이터의 걸리는 전압이 증가하고 그 이후에는 점차 감소하기 때문이며, 이는 온도에 따른 정전용량 변화가 서로 상호 보완되기 때문이다.

- (5) 임펄스 내전압 시험을 한 결과 130.5kV에서 전류가 거의 0에 가까와 이상이 없었으며 137.2kV되서야 전류가 나타남을 확인 하였다. 이는 공기중 옆면의 방전으로 가스개폐기 내에 실장되면 절연내력이 높아 이상이 없을 것으로 사료된다.

참고문헌

- 1) 이 경행, "초고압 전력기기의기술동향", 대한전기학회지, vol. 46, No. 8, pp. 23~30, 1997. 8.
- 2) 길 경석, 이 복희, 하 성철, "고전압 측정기술", 대한전기학회지, vol. 46, No. 8, pp. 41~46, 1997. 8.
- 3) 류주현외, "압전트랜스포머형 액츄에이터를 사용한 고전압계측방법에 관한 연구" 한국전기전자재료학회 춘계학술대회 논문집 pp. 177-182, 1998.
- 4) H. W. Katz : "Solid State Magnetic and Dielectric Devices", John Wiley and Sons, Chap 5, pp 170~232, 1959.
- 5) 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.
- 6) 류주현, 이용우, 윤광희, 정희승, 정영호, 박창엽, "집중등가회로를 사용한 압전변압기의 승압비 및 효율해석, 한국전기전자재료학회지, Vol. 11, No. 10, pp. 849-854, 1998. 10.