

분압용 적층형 소자를 이용한 고전압 계측에 관한 연구 A Study on the High Voltage Measurement using Stack element for Voltage Division

윤광희*, 이용우*, 류주현*, 박창엽**, 하복남***

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

* 세명대학교 전기공학과, ** 연세대학교 전기공학과, *** 한전 전력연구원

Abstract

In order to accurately measure the high voltage of 22.9[kV] power distribution lines, we investigated the temperature dependence of measuring voltage for single element and stack elements(22, 44, 66 layers, respectively). When one line voltage is 13,200[V], the error of measuring voltage with temperature(-25 [°C]~50[°C]) was decreased with increasing of stack number and stack element with 66 layers was the least error of $\pm 0.87\%$.

Key Words(중요 용어) : Power distribution lines(배전 선로), Stack element(적층형 소자), Temperature dependence(온도 의존성),

1. 서 론

첨단의 산업 설비와 산업의 고도화로 인해 전력의 안정적인 공급을 위해 전력 공급 설비인 배전 선로 운영의 신뢰성 향상 및 자동화가 요구됨에 따라, 배전 선로의 운전 전압의 상태에 따라 선로를 개폐하는 가스 개폐기의 경우 배전 선로의 운전 전압을 정확하게 계측할 수 있어야 한다^{1,2)}. 현재 배전 선로의 22.9[kV] 고전압을 계측하기 위한 방법으로는 변압기를 이용한 분압, 콘덴서 분압, 저항 분압 및 저항과 콘덴서 혼용 기법 등이 사용될 수 있으나³⁾, 배전 자동화 개폐기 시스템의 경우 개폐기 함내에 내장이 가능한 고전압 계측 방법이 요구되어 세라믹 콘덴서를 직렬로 연결한 콘덴서 분압(CPD) 방식을 사용하고 있다. 그러나 기존의 배전 선로 22.9[kV] 고전압 계측 방식에서 사용되는 콘덴서 분압 방식은 정전용량이 작은 고압측 콘덴서에 고전압이 분압되고 직렬로 연결된 정전용량이 큰 저압측 콘덴서에서 출력 전압을 측정하는 것이다. 고압용 콘덴서는 고유전율 세라믹스 재료를 사용하고 있

어 주변 온도의 변화에 따라 유전율의 변화가 심하여 이에 따른 정전용량의 변화로 전압 계측에 큰 오차를 발생시켜 신뢰성이 떨어지는 문제가 나타났다. 또한 고압용 콘덴서와 저압용 콘덴서 재료의 유전율이 다를 뿐 아니라, 소자들의 단면적이나 두께가 다르기 때문에 유전율 변화에 의한 정전용량의 변화가 커서 계측 전압의 오차가 크게 나타난다.

따라서 본 연구에서는 기본적으로 콘덴서 분압 방식을 채택하여 배전 선로의 전압을 정밀하게 계측할 수 있는 시스템을 구현하기 위해, 유전율의 온도특성이 우수하고 내전압 특성이 좋은 BaTiO₃계 세라믹스를 사용하고자 한다⁴⁾. 분압용 세라믹 콘덴서 소자들의 단면적과 두께를 일정하게 하여 정전용량의 크기가 온도에 따른 유전율의 변화에 의해서만 영향을 받도록 하고, 자동화 개폐기 함내에 내장이 가능하도록 적층형 소자를 제작하여 주변온도 -25~50[°C] 사이에서 적층형 소자의 최종단 콘덴서에서 분압되는 계측 전압의 정밀도를 높여 배전 자동화 개폐기 시스템의 요구 조건에 부합되는 신뢰성있는 고전압 계측 시스템을 구현하고자 한다.

2. 실 험

2.1 분압용 적층형 소자의 설계

기존의 고전압 계측을 위한 콘덴서 분압 방식은 두께가 큰 원통형의 정전용량이 작은 고압측 콘덴서와 계측 전압을 얻기 위한 원판형의 정전용량이 큰 저압측 콘덴서로 이루어져 있다. 정전용량을 나타내는 수식을 보면,

$$C = \epsilon_r \epsilon_0 \frac{A}{d} \quad (2.1)$$

여기서 ϵ_r : 유전율, ϵ_0 : 8.854×10^{-12} [F/m], A : 소자의 단면적, d : 소자의 두께이다.

이때, 주변 온도에 따라 유전율이 변화하면 정전용량이 그에 비례하여 변하게 된다. 그러나 기존의 콘덴서 분압 방식에서 고압용 콘덴서와 저압용 콘덴서의 유전율의 온도 의존성이 다르고, 단면적과 두께가 다르므로 온도변화에 따른 정전용량의 변화가 커서 분압비가 일정하지 않아 상당한 계측 전압의 오차가 발생할 수 있다.

따라서 정전용량의 크기를 결정하는 세가지 파라미터인 유전율 ϵ_r , 단면적 A, 두께 d 중에서 단면적과 두께를 일정하게 만들어 정전용량의 크기가 유전율의 변화에 의해서만 변하도록 한다. 이러한 크기가 같은 소자들을 직렬로 적층하면 각 층에서 분배되는 전압이 거의 일정하게 되고, 주변 온도에 의한 유전율의 변화에 의한 정전용량의 크기가 거의 일정하게 변하므로 최종 출력단에서의 분압비가 거의 일정하여 계측 전압의 오차를 줄일 수 있을 것이다. 또한 적층수에 따른 계측 전압의 오차를 비교하기 위해 22층, 44층, 66층으로 적층수를 변화시키고, 적층형 소자의 크기가 같도록 22층, 44층, 66층 소자들의 한 층의 두께를 각각 3, 1.5, 1[mm]로 하면 총 두께가 66[mm]가 되므로 개폐기 함내에 실장이 가능할 것이다. 제작된 적층형 소자의 형상 및 치수는 그림 2.1과 같다.

2.2 적층형 소자의 제작

고전압 계측 시스템을 위한 세라믹 콘덴서 조성으로는 우수한 온도 특성을 갖는 BaTiO₃계 세라믹스를 분말을 이용하여 원판형으로 성형한 후, 1360 [°C]에서 90분간 소성하였다. 직경이 18.2[mm]로 일정한 소성된 시편들은 1, 1.5, 3[mm]의 두께로 각각

정밀하게 가공한 후 Ag 페이스트를 도포한 후 600 [°C]에서 10분간 열처리하여 전극을 형성시켰다. 적층형 소자를 제작하기 위해 전극이 형성된 소자들을 다시 Ag 페이스트를 도포하여 적층한 후 열처리하여 제작하였다.

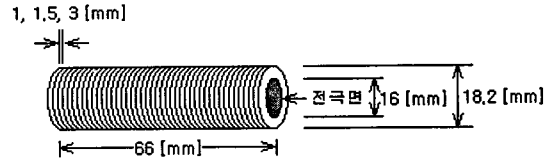


그림 2.1 분압용 적층형 소자의 구조

Fig. 2.1 Structure of stacking element for voltage division

2.3 유전 특성 측정 및 고전압 계측 시스템

분압용 세라믹 소자의 온도에 따른 정전용량은 LCR meter(AG4304, ANDO)로 항온조에서 -25~50[°C]로 온도를 변화시켜 가면서 측정하여 유전율을 구하였다. 전압 계측을 위해 고전압 발생기(SJ/A75 type, 신전사)로 배전 선로 한상의 전압인 13,200[V]를 적층형 소자에 인가하였고, 항온조내에서 -25~50[°C]로 온도를 변화시키면서 그림 2.2와 같은 고전압 계측 시스템으로 최종단의 분압용 소자에서 출력전압을 오실로스코프(Lecroy 9310A)로 무부하에서 측정하였다. 또한 임펄스 내전압 시험을 위해 임펄스 발생기(SJ-300kV, 신전사)를 이용하여 150[kV] 이상의 임펄스를 15회 이상 인가하여 적층형 소자의 절연에 대한 이상 유무를 관측하였다.

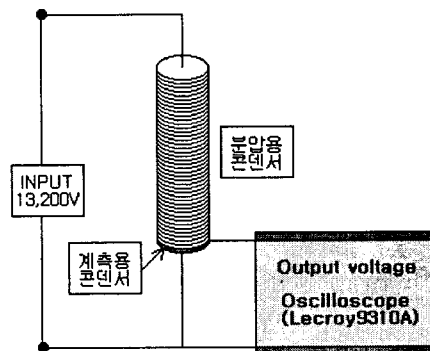


그림 2.2 고전압 계측 시스템

Fig. 2.2 High voltage measurement system

3. 결과 및 고찰

BaTiO₃계 분압용 세라믹스의 밀도는 5.6[kg/cm³], 상온에서 정전용량은 2719이었다. 원판형 소자의 온도에 따른 유전율의 변화를 그림 3.1에 나타내었다. -25~50[°C]의 온도 범위에서 온도에 따른 유전율의 변화가 20[°C] 기준으로 저온쪽으로 -2.28%, 고온쪽으로 +1.69% 정도이므로 유전율의 온도 특성을 우수하게 나타났음을 알 수 있다.

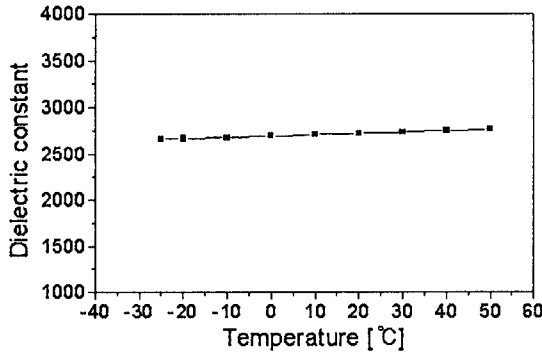


그림 3.1 온도 변화에 따른 유전율

Fig. 3.1 Dielectric constant with temperature

위와 같은 유전 특성을 갖는 시편을 이용하여 고압용 콘덴서와 전압 계측을 위한 저압용 콘덴서를 직렬로 연결한 기존의 콘덴서 분압 방식과 같은 단층 소자와 적층형 소자의 인가전압에 따른 계측 전압의 선형성을 조사하기 위해 저압용 콘덴서에서의 출력전압과 적층형 소자들의 최종단 콘덴서에서의 출력전압을 측정하여 표 3.2에 나타내었다. 또한 인가전압의 변화에 따른 출력전압의 선형성을 비교하기 위해 그림 3.2에 나타내었는데, 인가전압의 변화에 따라 모든 소자들에서 거의 선형적인 출력전압이 나타남을 알 수 있다. 인가전압에 따른 출력전압의 작은 오차는 고전압 발생기로 인가하는 전압값의 오차에 의해 발생하는 것으로 볼 수 있으며, 그 오차가 크지 않아 계측 전압의 선형성을 고려할 때 큰 문제가 없을 것으로 판단된다.

그리고 고압용 콘덴서와 계측 전압을 위한 저압용 콘덴서로 구성된 단층 소자와 22층, 44층, 66층으로 한 적층형 소자들의 적층수에 따른 계측 전압을 -25~50[°C]의 온도 범위에서 측정하여 표 3.3에 나타내었다. 단층 소자의 저압용 콘덴서에 분압된 출력전압과 적층형 소자의 최종단 계측용 소자에서

표 3.2 인가전압 변화에 따른 출력 전압

Table 3.2 Output voltage with input voltage

인가전압 [kV]	단층 소자의 출력전압[V]	적층형 소자의 출력전압[V]		
		22층	44층	66층
2	29.2	83.1	44.2	28.4
3	43.3	122.5	64.9	42.5
4	57.9	164.4	85.4	56.6
5	72.0	206.6	107.0	70.4
6	86.2	249.5	128.0	84.4
7	100.6	291.3	149.5	98.5
8	115.1	333.5	171.3	112.2
9	129.3	374.1	192.8	126.3
10	143.6	416.2	214.0	140.5
11	157.6	458.1	235.6	154.6
12	172.0	500.6	255.7	168.4
13	186.1	543.5	277.2	182.0
14	200.6	586.5	298.5	195.8
15	214.7	629.8	320.1	209.7

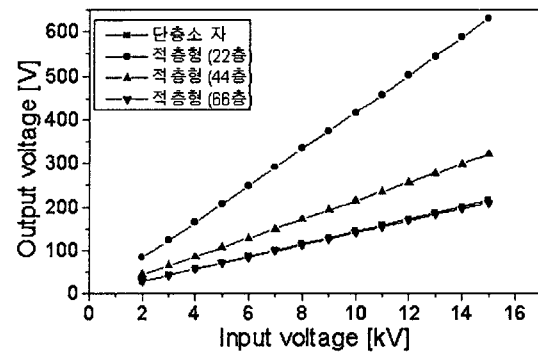


그림 3.2 인가전압 변화에 따른 출력 전압

Fig. 3.2 Output voltage with input voltage

표 3.2 온도 변화에 따른 출력 전압

Table 3.2 Output voltage with temperature

온도 [°C]	단층 소자의 출력전압[V]	적층형 소자 출력전압[V]		
		22층	44층	66층
-25	189.0	546.8	274.8	184.3
-20	189.3	547.0	274.9	184.3
-10	190.1	547.6	275.6	184.5
0	189.5	547.8	275.5	184.8
10	188.1	548.7	275.9	184.4
20	188.4	549.5	276.2	184.8
30	189.1	551.8	276.8	185.1
40	190.4	553.4	277.6	185.6
50	191.8	555.6	278.8	186.4

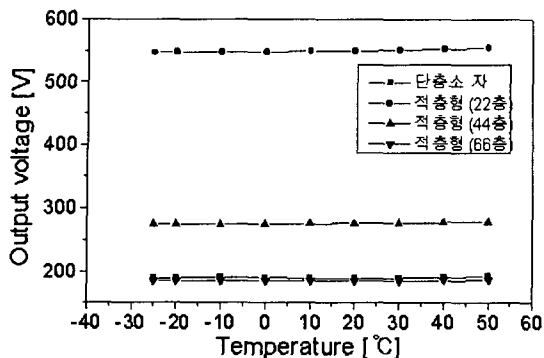


그림 3.3 온도 변화에 따른 출력 전압
Fig. 3.3 Output voltage with temperature

분압되는 출력전압을 측정하였을 때 온도에 따른 계측 오차가 상온 20[°C]를 기준으로 할 때 단층 소자는 저온쪽으로 -0.9%, 고온쪽으로 +1.8%이었고, 22층, 44층, 66층 적층형 소자의 경우 저온쪽으로 각각 -0.49%, -0.5%, -0.27%, 고온쪽으로 각각 +1.11%, +0.94%, +0.87%로 적층수가 증가할수록 온도에 따른 계측 전압 오차가 줄어들음을 알 수 있다.

이는 적층형 소자의 각 층의 소자들이 온도에 따른 유전율 변화에 의해 정전용량이 변하여 분압비가 달라지더라도, 적층수가 증가할수록 각 층 소자들의 온도에 따른 정전용량이 변화를 전체적으로 평균을 취하면 최종단 계측용 소자의 온도 변화에 따른 정전용량의 변화와 거의 같아져서 최종 출력단에서의 계측 전압의 오차가 작아지기 때문이다.

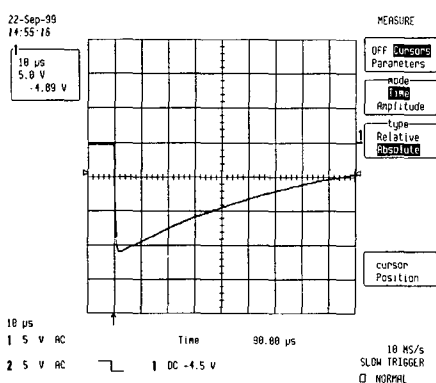


그림 3.4 150[kV] 임펄스 내전압 시험
Fig. 3.4 Impulse test of 150[kV] high voltage

이러한 적층형 소자를 실장시 22.9[kV] 배전선로의 고전압 계측 시스템에서 뇌서지 등에 의한 절연 파괴가 일어나지 않아야 하므로 적층형 소자의 내전압 특성을 측정하기 위해 실시한 임펄스 내전압 시험의 결과를 그림 3.4에 나타내었다. 임펄스 내전압 시험의 일반적인 규격대로 150[kV] 이상의 임펄스를 15회 이상 연속적으로 인가하였을 때, 적층형 소자가 손상되지 않고 정상적인 전압 계측이 이루어지는 것을 확인하였다

4. 결 론

본 연구에서는 배전선로의 운전 전압을 정밀하게 계측하기 위해 기존의 콘덴서 분압 방식을 개선한 BaTiO₃계 세라믹스를 이용한 분압용 적층형 소자를 제작하고 고전압 계측 시스템을 구성하여 계측 전압을 측정하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 분압용 세라믹스 소자의 온도에 따른 정전용량의 변화를 측정한 결과 20[°C]를 기준으로 할 때 -25[°C]에서 -2.28%, 50[°C]에서 +1.69%로 나타났다.
2. 인가전압의 변화에 따른 출력 전압을 측정한 결과 선형성이 있는 것으로 나타났다.
3. 적층수에 따른 계측 전압의 오차는 적층수가 증가할수록 오차가 줄어들었으며, 66층 소자의 경우 20[°C]를 기준으로 할 때 계측 오차가 -0.27%, +0.87%로 나타났다.
4. 임펄스 내전압 시험을 한 결과 150[kV] 이상에서도 절연파괴가 일어나지 않았고, 정상적인 전압 계측이 가능하였다.

참 고 문 헌

1. 이경행, "초고압 전력기기의 기술 동향", 대한전기학회지, Vol. 46, No. 8, pp. 23~30, 1997. 8.
2. 길경석, 이복희, 하성철, "고전압 측정 기술", 대한전기학회지, Vol. 46, No. 8, pp. 41~46, 1997. 8.
3. 정성규, 이덕출, 고전압공학, 문운당, pp. 285~292, 1989.
4. 류주현 외, "분압용 세라믹과 압전 액츄에이터를 이용한 고전압 계측에 관한 연구", 한국전기전자재료학회지, Vol. 12, No. 3, pp. 242~247, 1999. 3.