

열화상 분석을 통한 바리스터의 직렬과 병렬 조합의 안정성 평가

(Stability Evaluation of Series and Parallel Varistor Combination
Using Thermal Image Analysis)

엄주홍* · 조성철 · 이태형 · 한후석

(Ju-Hong Eom · Sung-Chul Cho · Tae-Hyung Lee · Hoo-Sek Han)

요 약

IEC 규격을 기반으로 최근에 개정된 KS 규격에 따라 등전위 접지시스템이 중요하게 자리매김 하였으며, 전원시스템의 안정성을 위해 서지보호소자의 사용이 급격히 증가하고 있다. 내재된 비선형 저항성분으로 뛰어난 V-I 특성을 가지는 ZnO 바리스터는 서지전압을 제한하여 서지전류로 환류시키기 위해 전원용 보호기로 주로 사용되고 있다. 이러한 ZnO 바리스터는 교류 전원선에 접속하기 위해서 몇 가지 회로조합 형태로 구성되어 사용되는데, 사용자는 바리스터를 직렬 혹은 병렬로 조합하여 사용함에 있어서 안전에 직접적으로 관련된 기능이나 열적 안정성을 포함한 많은 것들을 고려하여야 한다. 본 논문에서는 40[kA]의 전류용량을 가지는 단일 바리스터 소자와 직렬 혹은 병렬 회로조합의 바리스터에 대하여 잔류전압, 방전전류, 누설전류, 표면온도를 측정하여 각각의 조합형태에 따라 안정성을 비교하였다.

Abstract

According to the recent revision of KS on the basis of the IEC, equipotential grounding systems has been come into focus and the use of surge protective devices (SPD) has been increased radically in order to operate the power system stably. ZnO varistor with non-linear resistance, which has an outstanding voltage-current(V-I) characteristic, is mainly used in power system to limit surge voltage and divert surge current. ZnO varistors are packaged several types based on the circuit assembly to be connected to a.c. power line. When the user assemble the ZnO varistors into parallel or series circuit package, there are many things to be taken into consideration including functions and thermal stability because they are directly related to the safety. We compare stabilities of each assembly type by measuring residual voltage, discharge current, leakage current and surface temperature concerned to the protection performances between a single device with a 40[kA] of current capacity and parallel or series circuits type of varistor package.

Key Words : Varistor, SPD, Residual voltage, Leakage current, Thermal image

* 주저자 : 기초전력연구원 선임연구원
Tel : 02-885-9443, Fax : 02-883-0827

E-mail : eommas@snu.ac.kr

접수일자 : 2006년 3월 28일

1차심사 : 2006년 4월 3일, 2차심사 : 2006년 5월 29일

3차심사 : 2006년 6월 27일

심사완료 : 2006년 7월 20일

1. 서 론

초고속 정보화시대에 부응하여 전기·전자·통신

기기의 고기능화, 소형화를 위한 고밀도 집적회로의 사용이 증가하게 되었고 이들 기기는 과거와는 달리 낙뢰나 개폐기 조작에서 발생하는 서지전압에 매우 취약한 특성을 가진다. 서지전압에 대한 대책으로 전기·전자 기기의 전원 및 신호·통신회로에 가스 튜브, TVS(transient voltage suppressor) 다이오드, 바리스터 등 각종 보호소자들이 사용되고 있으며, 이들 보호소자의 적용으로 기기의 신뢰성은 한층 증가되었다[1]. 이 중에서 산화아연형 바리스터(ZnO varistor)는 양방향성 보호소자로 다른 보호소자에 비해 에너지 내량이 크고 동작속도가 빠르면서도 광범위한 잔류전압의 설정이 가능하며, 전압-전류의 비선형 저항특성이 우수하고 가격이 저렴하여 전원용 SPD(surge protective devices)의 주요소자로 널리 사용되고 있다[2]. 이와 같이 산화아연형 바리스터는 서지전압에 대해 보호소자가 갖추어야 하는 전기적 특성을 가지고 있지만, 반복되는 보호동작으로 열화가 진행되면 누설전류가 기기의 오동작, 감전, 화재 등 2차적인 사고를 유발시킬 수 있으므로 이에 대한 분석과 대책이 필요하다[3]. 또한 최근에 최대 연속동작 전압(U_c) 및 보호레벨에 적합하도록 바리스터를 직렬 연결하는 경우와 작은 전류내량을 가진 소자를 병렬 연결하여 최대방전전류를 크게 하는 경우가 있다.

본 연구에서는 전원용 서지보호기의 특성을 결정 짓는 중요소자인 바리스터를 직렬 혹은 병렬로 조합하여 사용할 때 나타나는 잔류전압특성, 열적안정성, 누설전류 특성시험을 수행하였으며, 이러한 특성연구를 통하여 서지보호기의 안전성평가 및 조합형 서지보호장치의 개발에 활용할 수 있는 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 본 론

2.1 바리스터의 동작 특성

바리스터의 특성을 나타내는 각각의 특성 값은 여러 가지가 있으나 본 연구와 관련된 중요한 특성은 다음의 4가지로 요약할 수 있다. 첫째, 최대 연속동작 전압(U_c , maximum continuous operating voltage)은

바리스터에 있어서 가할 수 있는 회로전압의 상한 값이다. 최대 허용회로전압 이상의 전압이 오랫동안 바리스터에 인가되면 바리스터는 열화되어 파괴된다. 둘째, 잔류전압(U_{res} , residual voltage)은 서지전류가 흘렀을 때 서지전압이 제한되어 단자간에 잔류하는 전압을 말하며 서지전류 파괴값에 따라 정해진다. 일반적으로 규정 파괴값을 갖는 임펄스 전류 $8/20[\mu s]$ 를 바리스터로 흘려보냈을 때의 전압을 잔류전압이라고 하며 최대값으로 규정한다. 잔류전압의 최대값은 측정된 잔류전압(measured limiting voltage)으로도 사용되며, 바리스터의 보호동작에 있어서 매우 중요한 특성이다. 셋째, 누설전류(leakage current)는 최대 연속동작 전압을 인가했을 때 바리스터에 유입되는 전류값으로 최대가 $100[\mu A]$ 정도로 작다. 최대 누설전류 값은 $1[mA]$ 의 누설전류가 흐를 때의 전압인 바리스터 전압 이하에서 소자의 각종 편차를 포함했을 때 바리스터로 유입되는 전류의 최대값을 나타내고 있다. 마지막으로 최대방전전류(I_{max} , maximum discharge current)는 IEC규정에서 Class II시험을 위한 $8/20[\mu s]$ 서지전류의 피크값이며 일반적으로 바리스터가 흘려줄 수 있는 방전전류의 최대값으로 결정된다.

2.2 실험장치 및 방법

ZnO 바리스터는 교류 과전압과 뇌서지 전류에 의해 열화가 시작된다. 이러한 바리스터의 열화과정은 뇌서지 전류에 의하여 1차적으로 열화가 시작되어 진행이 되면 교류 과전압뿐만 아니라 정격전압에서도 열화가 가속화되어 바리스터가 파괴되어질 수 있다. 따라서 본 논문에서는 뇌서지 전류와 교류 과전압을 순차적으로 인가하여 바리스터의 직렬 혹은 병렬 조합에 따른 잔류전압 특성, 열적특성, 누설전류 특성 등을 평가하였다.

실험에 사용된 바리스터는 다음과 같다. 직렬조합의 특성평가를 위하여 U_c 가 $275[V]$ 인 바리스터($431K$) 2개는 직렬 연결하여 U_c 가 $510[V]$ 인 바리스터($821K$)와 비교실험을 하였다. 각각의 전체 U_c 값은 $550[V]$ 와 $510[V]$ 로 비슷한 값의 바리스터를 선택했으며, $220[V]$ 라인에 주로 사용되는 소자로 최대방

열화상 분석을 통한 바리스터의 직렬과 병렬 조합의 안정성 평가

잔류전류(I_{max})는 40[kA]이다. 병렬조합의 특성평가에는 U_c 가 320[V], 최대방전전류 10[kA]인 소자(511K) 4개를 병렬로 연결하여 사용하였으며, 단일소자로 최대방전전류가 40[kA]인 소자와 비교하였다.

잔류전압 시험을 위한 뇌서지 인가장치는 국제규격의 조합형 서지발생장치(1.2/50[μ s], 20[kV])를 사용하였으며, 바리스터가 동작하였을 때 흐르는 서지전류는 8/20[μ s], 10[kA]가 되도록 출력저항을 2[Ω]으로 선정하였다. 또한 최대방전전류 시험을 위한 뇌서지 전류 인가장치는 8/20[μ s], 최대 150[kA]를 인가할 수 있으며, 누설전류 측정장치는 10[μ A] 및 10[mA]의 분해능을 가지는 CT 2개를 사용하여 측정하였다. 바리스터의 국부적인 발열이나 열적 폭주를 관측하기 위하여 NEC사의 열화상 카메라를 사용하였다. 열화상 카메라는 온도분해능이 0.03[$^{\circ}$ C]이며, 열화상으로부터 특정지점 또는 특정면적의 온도변화를 관측하였다.

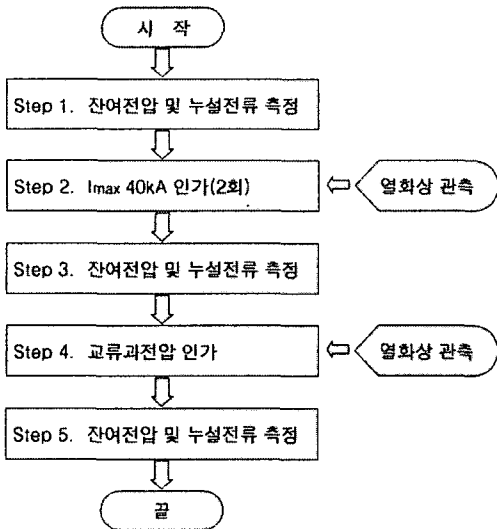


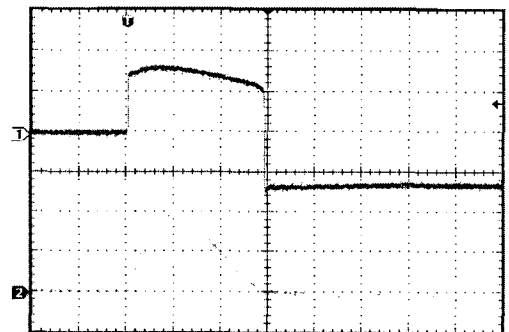
그림 1. 바리스터 시험 절차
Fig. 1. Test procedure of varistor

바리스터의 직렬 혹은 병렬조합의 특성평가를 위한 시험과정을 그림 1에 나타내었다. 그림 1에 나타난 순서도는 IEC규정을 토대로 하여 바리스터의 잔류전압, 열적안정성, 누설전류 특성시험을 효과적으로 수행할 수 있도록 재구성한 시험과정이다[4]. 시

험의 순서는 조합형 서지발생장치로 정상적인 바리스터의 잔류전압과 누설전류를 각각 측정한다. 그리고 2회의 8/20[μ s], I_{max} = 40[kA]의 뇌서지 전류를 인가한 후 다시 잔류전압과 누설전류를 측정하도록 구성되어 있다. 바리스터에 스트레스를 주는 서지전압과 교류 과전압을 차례로 인가할 때에 바리스터의 특성변화를 보기 위한 시험절차이다.

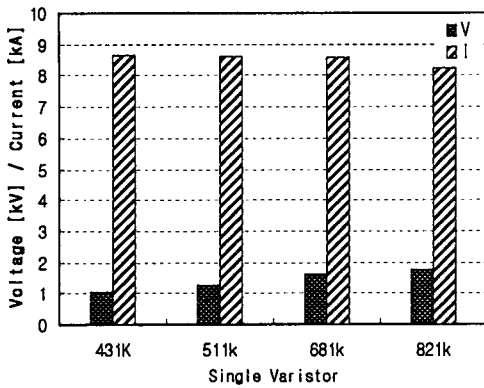
2.3 실험에 사용된 바리스터의 기초 특성

그림 1의 Step 1에서는 뇌서지 전류나 교류과전압을 인가하기 이전에 사용된 각각의 바리스터 특성을 평가하기 위하여 잔류전압과 누설전류를 측정하였다. 그림 2는 바리스터의 일반적인 특성을 나타낸 파형이며, 바리스터의 잔류전압과 서지전류로 바리스터의 동작특성이 결정된다. 바리스터의 조합에 있어서 최대 연속동작 전압(U_c)을 높이기 위해 두 개 또는 그 이상의 바리스터를 직렬로 연결하여 사용하기도 한다. 또한 전원계통에 따라서 상과 중성선 또는 상과 상 사이의 연결에 따라 바리스터가 직렬로 접속되는 경우가 있으며, 바리스터의 병렬접속은 최대방전전류를 높이기 위해 사용된다. 병렬접속시 각각의 소자에 분류되는 전류값이 열적 안정성에 영향을 미친다.

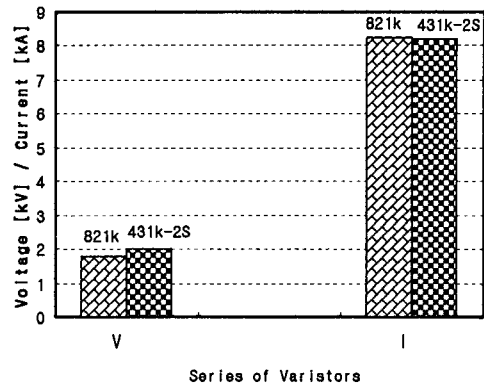


1. 잔류전압 파형: 500(V/div), 10(μ s/div)
2. 서지전류 파형: 2(kA/div), 10(μ s/div)

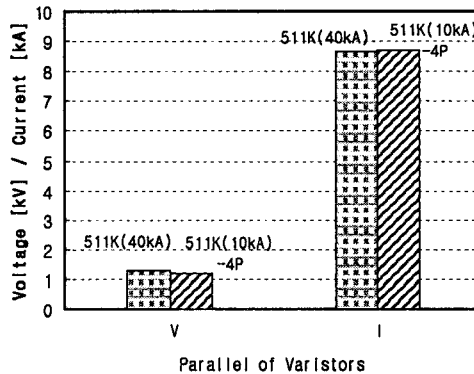
그림 2. 뇌서지 전류와 잔류전압 파형
Fig. 2. Waveforms of lightning surge current and residual voltage



(a) 단일소자의 잔류전압측정



(b) 직렬조합소자와 단일소자의 잔류전압 비교



(c) 병렬조합소자와 단일소자의 잔류전압 비교

- ① 431K : $U_c=275(V)$, $U_{res}=710(V)$, $I_{max}=40(KA)$
- ② 511K : $U_c=320(V)$, $U_{res}=845(V)$, $I_{max}=40(kA)$
- ③ 681K : $U_c=420(V)$, $U_{res}=1120(V)$, $I_{max}=40(kA)$
- ④ 821K : $U_c=510(V)$, $U_{res}=1355(V)$, $I_{max}=40(kA)$
- ⑤ 431K-2S : series of two 431(Ks)
- ⑥ 511K-2S : series of two 511(Ks)
- ⑦ 511K(10kA) : $U_c=320(V)$, $U_{res}=845(V)$, $I_{max}=10(kA)$
- ⑧ 511K(10kA)-4P : parallel of four 511(Ks)
- ⑨ 511K(40kA) : single 511K

그림 3. 단일소자와 조합소자의 잔류전압 비교

Fig. 3. Comparison of residual voltages between single and assembled devices

그림 3은 단독 또는 직렬과 병렬조합의 바리스터 각각의 특성을 파악하기 위해 뇌서지 전압을 인가하여 잔류전압과 방전전류를 측정된 결과이다. 그림 3(a)에 나타낸 단일소자의 특성에서는 바리스터의 최대연속동작전압(U_c)이 높을수록 잔류전압(U_{res})이 높아지며, 최대방전전류는 조금씩 감소하고 있다. 그

림 3(b)에는 431K 단일소자 2개를 직렬 연결하여 이와 잔류전압 특성이 유사한 821K 단일소자와 잔류전압 특성을 비교하였을 때 잔류전압은 제품의 규격과 일치하게 431K-2S가 821K보다 높은 것을 알 수 있다. 방전전류는 잔류전압이 높아질수록 줄어드는 것으로 나타났다.

열화상 분석을 통한 바리스터의 직렬과 병렬 조합의 안정성 평가

그림 3 (c)에는 I_{max} 가 10[kA]인 511K(10[kA]) 소자 4개를 병렬로 연결한 경우와 I_{max} 가 40[kA]인 511K 단일소자와의 잔류전압과 방전전류를 비교하여 나타내었다. 동일한 U_c 와 I_{max} 값을 가지도록 병렬 조합한 경우라도 그림에서 보는 바와 같이 잔류전압과 방전전류는 어느 정도 차이를 보인다. 특히 잔류전압은 전류용량이 작은 바리스터 4개를 병렬로 조합하는 경우가 전류용량이 큰 단일 바리스터에 비해 7.8[%] 정도 낮은 값으로 측정되었다.

2.4 뇌서지 전류에 의한 바리스터 특성

뇌서지 전류에 의한 바리스터 내성시험은 그림 1의 Step 2에 해당하는 시험으로서 정상상태의 바리스터 잔류전압을 측정후 뇌서지 전류에 의한 전계적 스트레스를 모의하는 것이다.

최대방전전류 40[kA]를 바리스터에 각각 2회씩 인가한 후에 열화상카메라로 온도변화를 측정하였다. 바리스터의 열화상 그래프는 바리스터 표면의 온도상승이 심한 부분에 대해 최고온도와 평균온도로 분석하였다. 이러한 온도변화는 바리스터의 열적 안정성을 나타내는 것 뿐만 아니라 바리스터의 수명과도 직결되는 중요한 파라미터이다. 또한 바리스터는 고장에 이르면 누설전류가 크게 증가하고 온도가 매우 급격히 상승하여 화재사고를 초래할 수도 있기 때문에 온도 변화의 관측은 매우 중요하다. 그림 4는 최대방전전류를 인가하였을 때 단일소자 바리스터와 직렬 또는 병렬로 연결된 바리스터와의 온도변화를 비교한 것이다.

그림 4 (a)는 최대방전전류 인가 후 821K 단일 바리스터의 열화상 사진과 그때의 잔류전압과 방전전류의 측정 그래프이다. 바리스터 중앙부의 4각형 영역에서 최고온도는 85.6[°C]이며, 평균온도는 84.2[°C]로 관측되었다. 그림 4 (b)는 431K 바리스터 2개를 직렬 연결하였을 때의 열화상 사진으로 최고온도 67.7[°C]이며, 온도상승이 보다 큰 쪽의 평균온도는 66.2[°C]로 관측되었다. 821K 단일인 경우에 비하여 431K 바리스터 2개를 직렬로 연결하여 사용하는 경우가 동일한 뇌서지 전류에 대하여 보다 넓은 표면적을 가지게 되어 열적안정성이 우수한 것으로 분석된다.

그림 4 (c)는 511K(40[kA]) 단일 바리스터의 열화상 사진으로 중앙부의 4각형 영역에서 최고온도는 75.8[°C]이며, 평균온도는 73.8[°C]로 관측 되었다. (d)는 511K(10[kA]) 바리스터 4개를 병렬로 연결하였을 때의 열화상을 관측한 결과를 나타낸 것이다. 단일 바리스터를 사용할 경우보다 4개의 바리스터를 병렬로 조합하여 사용하는 경우가 약 12[°C]정도 온도가 낮았다. 하지만 그림 4 (d)에서 보는 바와 같이 바리스터를 병렬로 연결하는 경우에 전류가 분류되는 비율이 서로 다르면 온도분포도 각각의 바리스터마다 차이를 보이게 되고 특정 바리스터에 과다한 전류가 흘러 열적폭주가 발생할 가능성도 존재한다.

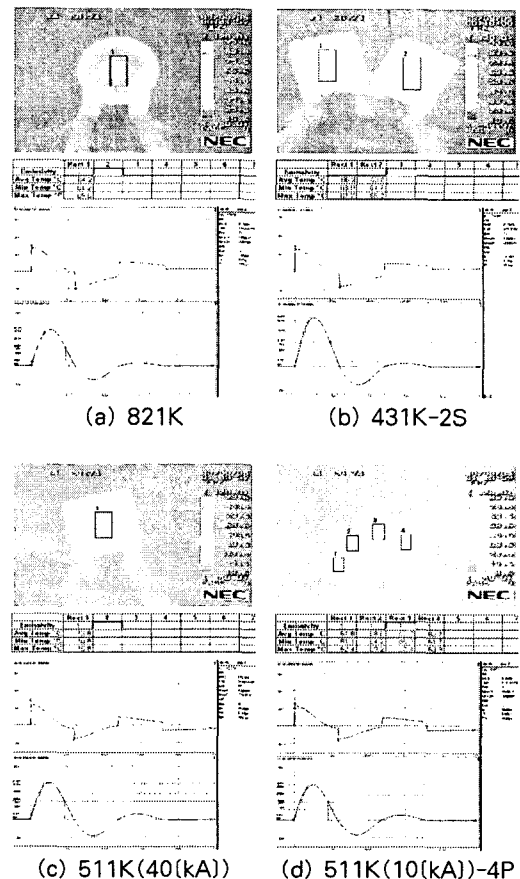


그림 4. 바리스터 표면온도와 잔류전압/방전전류 파형
Fig. 4. Surface temperature of SPD and residual voltage/discharge current waveforms

2.5 교류 과전압에 대한 바리스터 특성

뇌서지 전류에 1차적으로 열화된 바리스터는 교류 과전압 또는 정상전압에 의해서도 열화가 가속된다. 따라서 교류과전압 인가에 따른 바리스터 2차 열화를 모의하고 동시에 바리스터의 열적 안정성을 관찰하기 위하여 교류전압을 U_c 에서부터 서서히 높여가면서 누설전류와 온도변화를 관측하였다. 각각의 바리스터 조합에서 교류과전압에 대한 바리스터를 통해 흐르는 전류를 최대 1[A]까지 증가시키면서 실험을 진행하였다. 이때의 온도변화를 관측한 결과는 그림 5와 표 1에 나타내었다.

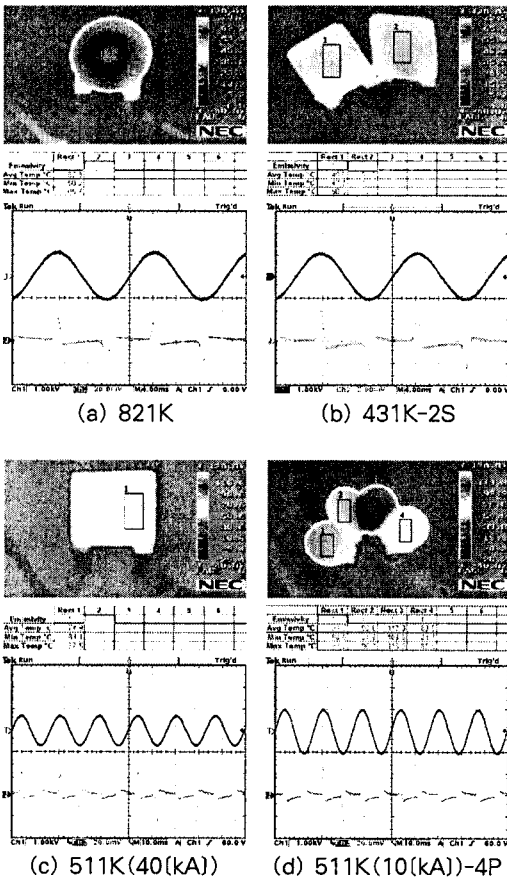


그림 5. 교류과전압에 대한 바리스터 표면온도와 전압/전류파형
 Fig. 5. Surface temperature of SPD and voltage /current waveforms under the condition of overvoltage

바리스터의 직렬조합에서 교류과전압에 의한 바리스터의 최고온도는 서지전압에 대한 최고온도와 비교할 때 약 12.4[°C] 낮게 측정되었다. 직렬조합의 경우가 단일 바리스터에 비하여 열적 안정성이 우수하게 나타나는 현상은 뇌서지전류에 대한 경우와 유사하게 나타났다.

표 1. 바리스터를 통해 흐르는 전류에 따라 측정된 표면온도
 Table 1. Measured surface temperature according to the current flowing through the varistor

바리스터		표면온도[°C]				
		0.1	0.25	0.5	0.75	1
431K-2S	max.	26.0	28.2	33.4	39.9	53.3
	avg.	25.8	27.8	32.4	38.2	50.4
821K	max.	32.3	35.2	43.0	50.9	65.7
	avg.	31.6	33.9	39.5	46.4	57.8
511K (10[kA])-4P	max.	35.9	55.0	74.0	118.0	121.6
	avg.	31.9	49.4	62.4	99.6	99.9
511K (40[kA])	max.	34.1	41.4	56.4	73.8	77.5
	avg.	32.4	37.0	48.2	61.0	68.3

표 1은 바리스터를 통해 흐르는 전류의 증가에 따라 측정된 바리스터의 표면온도를 나타낸다. 바리스터의 병렬조합에 대한 온도분석 결과, 단일 바리스터에 비하여 특정 바리스터로 전류가 편중되고 최고온도가 다른 바리스터에 비하여 약 20[%] 정도 상승하였다. 그 이유는 병렬로 접속된 바리스터가 직렬로 접속된 바리스터와는 다르게 각각의 바리스터 특성차이에 의하여 방전전류 또는 누설전류가 분류되어 흐르기 때문이다. 즉 미세구조의 복합적인 특성에 의하여 물리적, 화학적, 전기적 특성이 결정되어지는 바리스터의 특성상, 제조과정에서 완벽하게 동일한 특성을 가지기가 힘들다. 그로 인하여 전류의 증가에 따라 4개의 소자사이에 전류의 불균형을 이루어 특정 바리스터 소자에서 온도가 급격히 상승하는 현상이 발생하는 것으로 사료된다. 선택된 영역에서의 평균온도는 최고온도가 나타난 바리스터의 표면 영역을 선택하여 그 영역만의 평균치를 나타내

열악상 분석을 통한 바리스터의 직렬과 병렬 조합의 안정성 평가

었기 때문에 바리스터 전체의 평균치는 아니며 최고 온도가 나타난 근처영역의 평균온도를 확인하고자 했다.

그림 5 (d)에서 실제로 분류되는 전류를 측정해본 결과 온도상승이 높은 3번 바리스터에 다른 바리스터에 비하여 큰 전류가 흐름을 확인할 수 있었다. 결과적으로 바리스터를 병렬로 접속하는 경우에는 열이 복사되는 표면적의 증가로 열적안정성이 떨어질 수도 있지만 특정 바리스터로 열화가 급속히 진전되어 전체적인 열적 안정성을 저하시킬 수도 있으므로 사용에 주의하여야 한다.

표 2. Step 1, 3, 5에서 측정된 잔류전압과 누설전류
Table 2. Residual voltages and leakage currents measured at the Step 1, 3 and 5

Varistor	Step 1			Step 3			Step 5		
	U_{res} [kV]	I_d [kA]	I_L [mA]	U_{res} [kV]	I_d [kA]	I_L [mA]	U_{res} [kV]	I_d [kA]	I_L [mA]
431K-2S	2.00	8.32	0.14	2.02	8.42	0.16	2.00	8.38	0.14
821K	1.76	8.78	0.15	1.88	8.84	0.19	1.78	8.80	0.15
511K (10[kA])-4P	1.18	9.12	0.18	1.22	9.22	0.22	1.20	8.98	0.18
511K (40[kA])	1.28	8.96	0.14	1.24	9.14	0.16	1.28	8.82	0.14

- ① U_{res} : residual voltage
- ② I_d : discharge current
- ③ I_L : leakage current

표 2에서는 뇌서지 전류 및 교류과전압을 인가하기 전후에 각각의 바리스터 조합에 대하여 잔류전압과 누설전류를 관측한 결과이며, Step 1, 3, 5는 그림 1에서의 순서를 의미한다.

40[kA]의 최대방전전류가 바리스터의 특성변화에 영향을 미치는 정도를 파악하기 위해 서지전류 인가 전과 후에 각각 잔류전압과 누설전류를 측정하여 비교한 결과는 Step 1과 Step 3이다. 누설전류는 각각의 바리스터의 U_c 에서 측정하였다. 최대방전전류 I_{max} 는 IEC 61643-1의 II등급 시험에 의거하여 사용된 바리스터의 최대방전전류인 8/20[μ s], 40[kA]를 인가하였으며, 방전전류와 잔류전압의 측정은 등급

시험에 의거하여 1.2/50[μ s], 8/20[μ s]의 조합파를 20[kA]로 충전하여 인가하였다. 측정결과에 의하면 2회의 최대방전전류 인가시험이 바리스터의 열화를 순간적으로는 가속시키나 지속적인 열화는 유발하지 않았다. 이는 U_c 에서 측정된 누설전류의 값이 Step 3에서 조금 증가하기는 하였지만 다시 Step 5에서는 Step 1의 수준으로 떨어진 결과로 알 수 있다. 교류과전압과 최대방전전류와 같은 일시적인 스트레스로 인하여 바리스터의 온도가 상승하고 특성이 일시적으로 변동되어 Step3에서의 누설전류를 증가시킨 것으로 판단된다.

교류과전압 시험 후에 U_c 에서의 바리스터의 누설전류(Step 5)의 특성은 서지전류 인가후의 특성(Step 3)과 유사하게 측정되었다. Step 3와 Step 5의 스트레스 시험에서 바리스터의 열적 안정성은 어느 정도 차이를 보였지만 최대연속동작전압에서의 누설전류는 큰 변화를 나타내지는 않았다. 이에 반하여 잔류전압은 교류과전압 시험 후에 상당부분 감소하는 특성을 나타내었다.

3. 결 론

본 연구에서는 전원용 서지보호기의 특성을 결정 짓는 중요소자인 바리스터의 직렬 혹은 병렬 조합에서 나타나는 잔류전압특성, 열적안정성, 누설전류 특성시험을 수행하였다.

바리스터의 직렬조합은 적절한 잔류전압을 가지는 바리스터로 구성할 경우 단일 바리스터를 사용할 때와 비교하여 잔류전압이나 누설전류 측면에서는 큰 차이를 나타내지 않았지만, 열적 안정성 측면에서 직렬로 접속하는 경우가 열이 방사되는 표면적을 증가시키므로 보다 안정적인 것으로 나타났다. 바리스터의 병렬조합은 단일 바리스터와 비교할 때 열적 안정성 측면에서 특정 바리스터에 전류가 집중되어 표면온도가 급격히 증가하는 경우가 존재하였다.

따라서 바리스터의 조합특성을 고려하여 SPD에 적용한다면 SPD 성능의 향상으로 보호대상 기기의 신뢰성을 높일 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구는 산업자원부 지원에 의하여 한국전기안전공사
(과제번호: R-2005-C-069)주관으로 수행된 과제임.

References

- [1] Keith W. Eilers, Mark Wingate, and Eric Pham, "Application and Safety Issues for Transient Voltage Surge Suppressors", IEEE Tras. on IA, Vol. 36, No. 6, pp.1734~1740, 2000.
- [2] Roberto Siegert, Osama A. Mohammed, "Selection of Varistor for Gurge Protection Purpose based on their Voltage-Current Characteristic", IEEE Proc., pp.162~165, 2000.
- [3] Tom Mueller, David Graff, "The Use of Surge Protection Devices in the Petroleum/Petrochemical Industry", IEEE Trans. on IA, Vol. 34, No.6, pp.1351~1358, 1998.
- [4] IEC61643-1, Surge protective devices connected to low-voltage power distribution systems-Performance requirements and testing methods, pp.73~93, 2001.

◆ 저자소개 ◆

엄주홍 (嚴柱弘)

1972년 9월 5일생. 1998년 2월 인하대 공대 전기공학과 졸업. 2004년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 기초전력연구원 선임연구원.
Tel. (02)885-9443
E-mail : eommas@snu.ac.kr

조성철 (趙成哲)

1977년 12월 16일생. 2003년 2월 인하대 공대 전기공학과 졸업. 2005년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업. 현재 기초전력연구원 전임연구원.
Tel. (02)885-9443
E-mail : canfeel@snu.ac.kr.

이태형 (李泰炯)

1978년 6월 21일생. 2004년 2월 인하대 공대 전기공학과 졸업. 2006년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업. 현재 기초전력연구원 전임연구원.
Tel. (02)885-9443
E-mail : tanghi@snu.ac.kr.

한후석 (韓后錫)

1958년 10월 24일생. 1987년 전북대학교 전기공학과 졸업. 1989년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2000년 동 대학원 의용생체계측공학과 졸업(박사). 현재 기초전력연구원 책임연구원.
Tel. (02)885-9443
E-mail : hhs@snu.ac.kr