

안정성 개선을 위해 열폭주 방지 기능을 내장한 배리스터 설계에 관한 연구

(A Study on the Design of Varistor Prevented from Thermal Runaway to Improve Safety)

정태훈* · 신희상 · 조성민 · 이희태 · 이준규 · 김재철**

(Tae-Hun Jung · Hee-Sang Shin · Sung-Min Cho · Hee-Tae Lee · Jun-Kyu Lee · Jae-Chul Kim)

요 약

본 논문은 SPD에 사용되는 배리스터에 대한 성능을 개선하기 위해 저압 배전계통에 사용하는 ZnO 배리스터의 소자 표면에 온도감응 소재를 도포한 것을 내장한 SPD의 신뢰성과 안정성을 개선하였다. '열폭주 방지 기능을 내장한 배리스터'설계를 통해 SPD내에 장착 시 열 보호기능의 단로기의 기능에 대한 trade-off 관계해석(trade-off: 단로기에 단일펄스피크전류(ITM), 다중펄스피크전류(ITSM)에 대한 신뢰성과 배리스터 소자의 열화 및 수명한계에 따른 열폭주 현상을 예방하기 위한 단로기의 안정성 확보를 위한 최적의 설계)을 통해 신뢰성과 안정성을 확보하였고 열 보호기능을 배리스터 내부에 적용하여 SPD제작 시 소형/경량화가 가능하도록 하였다.

Abstract

Recently, the natural environment changes drastically and the frequency of occurrence for lightning has gradually been increased. Such lightning delivers high volume of energy along the power line and communication line to the equipment in use. The high volume of energy arising from the lightning surge develops in fast velocity to destroy the facilities in power source and many other facilities in operation in sequential destruction with vast energy. This paper examines the characteristics of ZnO varistor to prevent from thermal runaway. We carry out performance evaluation of electrical characteristics on ZnO varistor. we will develop ZnO varistor Prevented from thermal explosion using test result of this paper.

Key Words : SPD, MOV, Disconnecter, ZnO, Thermal Runaway

* 주저자 : 숭실대학교 전기공학부 박사과정
** 교신저자 : 숭실대학교 전기공학부 교수
Tel : 02-817-7966, Fax : 02-817-0780
E-mail : jckim@ssu.ac.kr
접수일자 : 2009년 11월 23일
1차심사 : 2009년 11월 26일
심사완료 : 2009년 12월 22일

1. 서 론

저압배전계통 SPD(Surge Protective Device)에 사용되는 배리스터(MOV : Metal Oxide Varistor)는 낙

뢰에 의한 뇌방전 전류로부터 설비를 보호하기 위해 사용되고, ZnO 입자의 매우 높은 전기 전도도와 여러 가지 산화물(Bi, Co, Mn, Ni, Sb 등)에 의한 높은 저항성의 결합으로 대용량의 에너지 방출이 가능한 특성을 지니고 있다[1-3]. 그러나 대용량의 서지보호소자인 spark gap에 비해 정전용량이 높아 이로 인한 누설 전류가 비교적 크다는 단점이 있고, 제작과정에서 신뢰성 향상, 미세구조의 균질성, 내열화성 및 화학합성에 의한 분체의 균일화에 대해 최적화하여 제작하는 것이 어렵다. 또한 열화 고장 모드, 단락 고장 모드와 고클램핑 전압 고장 모드 등과 같이 여러 유형의 고장 모드가 발생한다[4]. 열화 고장 모드와 단락 고장 모드는 저압배전계통에 일종의 저항성 부하가 되어 단로기의 역할에 대한 안정성이 미확보 될 경우 화재의 위험이 발생한다. 이러한 상황으로부터 저압 배전 계통을 보호하기 위해 SPD 내부 또는 외부에 과전류 보호 기능과 열 보호 기능 등을 가진 하나 이상의 단로기를 사용하게 된다[5]. 본 논문에서는 열 보호 기능을 하는 단로 기능을 배리스터 제작 공정에서 배리스터 표면의 금속전극에 도포함으로써 SPD 제작 과정에서 사용되는 이중 단로기(과전류 보호기능과 열 보호 기능을 가지는 단로기)의 복잡한 구조를 간결화하고 열 보호 기능을 하는 퓨즈(fuse)의 최대방전전류(I_{max}) 내량시험에 대한 신뢰성을 높이는 설계 방안을 제시하였다. 본 연구를 통해 설계된 ‘열폭주 방지 기능을 내장한 배리스터’의 성능 및 열폭주 현상과 관련한 평가 및 검증은 위해 IEC 61643-331과 IEC 61643-1의 SPD에 사용되는 배리스터소자의 열폭주 현상에 대한 단로기의 특성 시험으로 성능을 검증하였다.

2. 배리스터 고장에 따른 SPD의 파괴 특성

배리스터 소자는 고유의 이름에서 알 수 있듯이 비선형 가변 저항과 같은 특성을 보이며, 양방향성의 우수한 배리스터 효과에 의해 교류와 직류 저압배전계통의 SPD를 제작하는데 많이 이용된다. 이러한 배리스터 소자를 이용하여 SPD를 제작할 때에는 높은 신뢰성과 안정성이 요구된다. SPD를 제작하는데 있어

안정성과 관련하여 배리스터 소자가 장시간 스트레스에 의한 열화가 발생하였거나 최대방전전류 내량 이상의 과도한 서지가 유입되어 소자가 파괴될 때 저압 배전계통으로부터 SPD를 분리하고 폭발이나 화재의 위험성을 제거하기 위해 퓨즈 및 단로기를 사용하게 된다[5]. 일반적으로 적절한 퓨즈의 사용이 되지 않은 SPD에 대한 고장에 있어 52개의 시편의 종류 중 무작위적으로 선정하여 120~3,600[V]사이의 SPD의 고장모드를 분석한 결과 그림 1에서 보는 바와 같이 개방형(open circuit) 고장 13건, 단락형(short circuit) 고장모드 28건, 파쇄형(blown apart) 고장모드 11건으로 나타났다. 아울러 SPD의 고장 모드에 있어 파쇄형 고장모드와 같이 배리스터 소자를 즉각적으로 파괴시키는 충분한 에너지가 공급되지 않는 경우에는 배리스터 소자는 단락형 고장모드가 되고 이로 인해 SPD 내부에는 저압배전계통과 연계하여 엄청난 크기의 에너지가 배리스터 소자에 의해 전달된다.

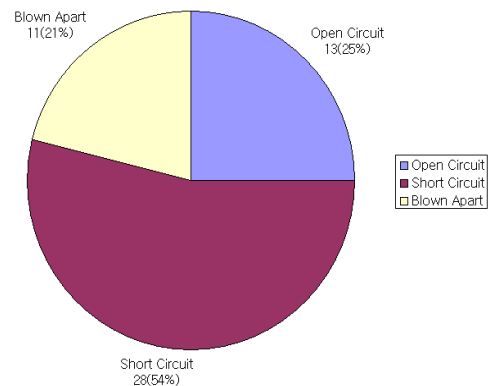


그림 1. 무작위 추출된 52개의 SPD 고장 모드
Fig. 1. SPD failure modes on 52 randomly selected devices

한 예로서 단락형 고장모드로 소손된 배리스터 소자에 120[Vrms], 60[Hz]를 인가하였을 때 소손된 소자를 통해 12[A]의 전류가 흘렀으며, 이를 통해 고장모드 SPD의 배리스터의 벌크 저항은 약 10[Ω]임을 확인하였다[6]. 120[Vrms] 전원계통에 연결된 20[mm] 배리스터 소자가 설치된 경우 정상상태소모전력(steady state power dissipation)은 1[W]에 가깝다[7].

상기 예를 통해 단락형 고장모드에 의한 배리스터

소자의 정상상태전력(steady state power)은 1440[W]이다. 아래 식 (1)은 정상상태전력을 구하는 식이다.

$$P_s = I^2 R = V^2 / R = 120^2 / 10 = 1440 [W] \quad (1)$$

여기서, P_s : 정상상태전력

또한 배리스터는 크기와 부피에 의존하여 위와 유사한 특성을 가지고 있다. 이러한 단락형 고장모드에 의한 과도한 에너지는 배리스터 소자에 급격하게 열폭주 현상을 초래하게 되고 SPD의 화재 및 파괴 특성을 야기하게 된다[6]. SPD는 다양한 업체들에 의해 제조 및 공급되고 있고, 수많은 제품들이 열폭주 및 파괴현상들에 노출되어 있다. 대표적인 열폭주 및 파괴현상을 그림 2와 그림 3에서 나타내었다. 이는 하나의 예시로 SPD의 제작사에 따른 단로기의 선택에 따라 과전류 보호기능과 열 보호기능 등의 하나 이상의 단로기능을 지닌 장치를 이용하여 보호할 수 있다.



그림 2. 열폭주(Thermal runaway)에 의한 SPD 화재사진
Fig. 2. SPD burn out in thermal runaway



그림 3. SPD의 고장과 SPD 단로기의 파괴사진
Fig. 3. Failed surge suppressor with ruptured SPD disconnect

2.1 SPD 고장에 따른 단로기의 적용

저압배전계통에 사용하는 SPD 내부의 배리스터 소자 열화 및 소손으로 인한 화재 및 파괴 특성으로부터 전원계통을 보호하거나 SPD 자체를 보호하기 위해 단락 보호용 및 열 보호용 장치와 같은 단로기를 사용하여야 하며 이는 하나 또는 그 이상의 단로 기능을 구현하는 장치를 사용하여 사고를 예방할 수 있다[5]. 이러한 단로장치(예를 들면 퓨즈, 차단기, RCD) 기능은 SPD를 제조하는 제조자에 의해 장치 내부 또는 외부에 설치하도록 하고 있다. SPD의 고장에 있어 내부의 배리스터 소자가 소손되면, 그 특성이 단락상태와 유사하나 각종 임피던스에 의해 단락전류보다는 작은 전류가 흐르게 된다. 그러나 일반적인 부하전류에 비해서는 크며, 손상된 배리스터를 화재로 이어지게 하는 위험성이 존재한다. 이러한 고장난 배리스터를 전원계통에서 분리하는 장치가 단로기이며, 계통에서 SPD만 분리시키는 중요한 역할을 담당하게 된다. SPD의 고장에 있어 앞서 언급한 열화 고장 모드와 단락 고장 모드는 배리스터의 상태에 따라 화재를 유발할 수 있는 위험 요소로 적용된 장치의 결선방법에 따라 고장난 배리스터에 흐를 수 있는 단락 전류의 양이 틀려 질 수 있다. 이를 테면, L-L모드에 연결된 배리스터 소자의 열화에 의한 고장 모드 발생으로 인한 단락전류는 단락에 가까운 과전류가 흐를 수 있는 상황이지만 이에 반해 L-G모드로 연결된 배리스터 소자의 열화에 의한 고장 모드 발생으로 인한 단락전류는 접지와 관련한 대지 저항값에 의해 L-L모드에 의한 고장에 비해 낮은 전류가 흘러 과전류 보호장치에 의한 보호를 받지 못하는 경우가 발생한다. 이러한 모드별 고장에 따른 임피던스 차이로 인해 단락보호 기능을 구현하는 과전류 보호용 퓨즈와 L-L모드보다 비교적 낮은 L-G모드의 고장에 의한 계통의 보호는 열 보호기능의 단로장치를 이중으로 사용하여 SPD의 고장보호를 효과적으로 할 수 있다[8][9]. 아울러 SPD의 각종 고장 모드로부터 전원계통을 보호하기 위한 단로장치는 안정성 뿐만 아니라 뇌방전에 의한 보호동작의 신뢰성 또한 반드시 확보되어야 한다. 단로기의 적용 예를 그림 4에서 1-port SPD의 보호모드 구성으로 나타내었다.

안정성 개선을 위해 열폭주 방지 기능을 내장한 배리스터 설계에 관한 연구

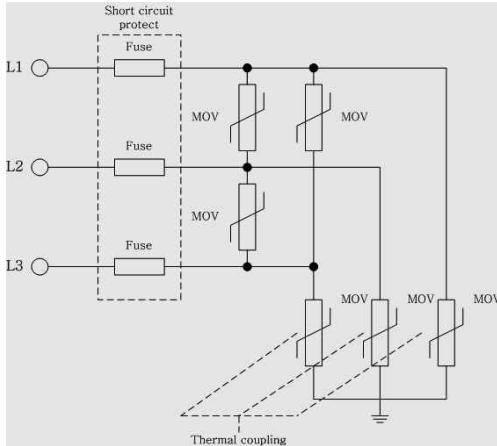


그림 4. SPD의 단로기 적용 예
Fig. 4. Apply for SPD disconnector

3. 배리스터 시편 제작

배리스터 소자의 절연과괴 기준은 KS C IEC 61643-331에서와 같이 배리스터 소자를 통해 1[mA] 이하는 누설영역, 1[mA] 이상의 구간을 소자의 동작 영역으로 구별할 수 있다. 배리스터 소자는 각종 전원 설비를 보호하기 위해 저압 배전계통의 전력선 인입구에 사용이 되며, 해당 서지보호소자는 KS C IEC 61643-1에서 정의하는 50/60[Hz]와 직류 전원 회로 및 1,000[Vrms] 또는 1,500[V] 직류 정격 전압에 연결된 SPD에 사용되는 소자이다. 동일한 최대연속동작 전압(Uc) 값을 가지는 배리스터 소자의 경우 전원선로에 유입되는 뇌서지 전류의 유입량에 따라 잔상전압(또는 제한전압 : 이하 제한전압)은 다르게 나타나게 된다. 이러한 제한전압은 KS C IEC61643-12(저전압 서지 보호 장치 - 제12부 : 저전압 배전 계통에 접속한 서지 보호 장치 - 선정 및 적용 지침)에 있어 피보호 대상 장비에 주어진 내성전압에 따라 영향을 미치게 된다. 만약 제한전압이 장비의 내성전압을 넘어서게 되면 보조회로를 이용하여 장비의 내성전압 이하로 제한전압을 낮추어 운용 장비의 피해를 최소화하는 방식으로 해당 배리스터 소자는 사용된다.

본 논문에서 사용한 ‘열폭주 방지 기능을 내장한 배리스터 설계’를 위한 시편은 우리나라의 저압 배전계통에서 가장 많이 사용되는 상용교류전원 220[V]에

사용할 목적으로 제작 하였고, 배리스터 소자의 전기적 특성은 IEC 61643-1에서 정의하는 II등급 SPD에 사용가능한 배리스터소자이며 표 1과 같다.

표 1. 배리스터 bare disc 시편의 전기적 특성
Table 1. Electrical Characteristic of Varistor bare disc

항 목	단 위	특성값
단일펄스피크전류(ITM)	[kA]	40
다중펄스피크전류(ITSM)	[kA]	20
클램핑 전압(VC)	[V]	1150
동작온도	[°C]	-20~+60
공칭배리스터전압(VN)	[V]	430±10[%]

3.1 변형된 배리스터의 금속 전극 접합

본 논문에서 사용한 시편의 외부전극 부착에 관한 방법은 배리스터 소자의 한 쪽면에 배리스터의 열화에 의한 열폭주 보호 기능을 내장하기 위해 금속전극을 외부로 노출시켜 일반적인 배리스터의 제작과는 변형된 형태의 전극구조를 가지도록 설계하였다.

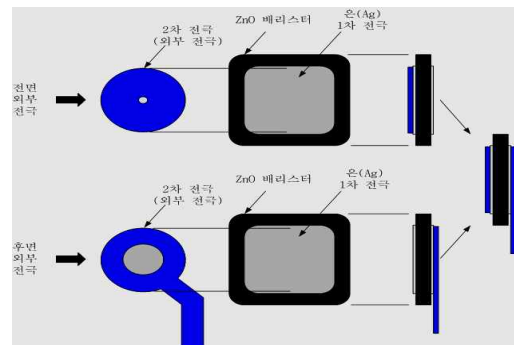


그림 5. 배리스터에 외부전극 부착을 위한 모식도
Fig. 5. External electrode contact of varistor

그림 5와 같이 배리스터 bare disc 표면에는 은(Ag)으로 표면 전극이 형성되어 있는 구조를 취하고 있다. 이러한 은(Ag)으로 코팅되어 있는 상태에서 일반적인 니켈(또는 주석) 도금된 금속전극을 접합하기 위해서는 접합 매질과 작업온도에 대한 프로파일을 추출하여야 안정적인 결합이 가능하다. 본 과정에서는 일반

적인 배리스터 소자의 금속전극 형성과는 달리 한쪽 전극의 표면이 외부로 노출되도록 하고 그 표면에 가용합금을 도포하여 일종의 SPD의 열화 시 발생하는 열폭주 현상을 방지하기 위해 열 보호 기능을 내장한 단로기의 역할을 할 수 있도록 2차 전극 표면위에 낮은 용점의 가용합금을 도포하여 인출단자를 형성함으로써 표면에 도포된 낮은 온도의 가용합금에 의한 이원화된 전극접합으로 열 보호 기능을 하는 하나의 단로기를 배리스터 bare disc 표면의 2차 전극에 도포하는 방식으로 제작하였다. 배리스터 bare disc 표면에 2차 금속전극을 접합하기 위해서 본 연구에서는 reflow 공정을 이용하였으며, 안정적인 접합을 위한 프로파일은 그림 6과 같다.

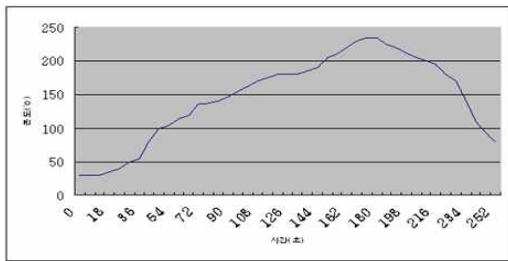


그림 6. 외부 전극 접합을 위한 온도 프로파일
Fig. 6. External electrode contact with temperature profile

Reflow 공정을 통해 은(Ag) 전극과 전/후면 외부 전극 접합을 위해 일종의 활성 물질로 플럭스(flux)를 사용하게 되는데 할로젠 또는 강산성을 가지는 플럭스는 배리스터 표면에 많은 양의 잔여물이 남아 전극 표면을 부식시키거나 배리스터 표면의 절연 저항을 악화시키는 문제점이 발생된다. 이를 해결하기 위해서는 여러 형태의 세척기들이 사용되는데 본 논문에서 사용된 시편은 초음파 세척을 통해 배리스터 표면에 남아 있는 플럭스를 제거하였다.

3.2 배리스터의 열폭주 방지 기능 구현을 위한 설계

배리스터의 열폭주 방지 기능을 구현하기 위해 본 논문에서는 배리스터의 열폭주 현상 발생 시 발생되

는 열을 감지하기 위해 배리스터의 외부 전극 접합에 있어 2차 전극을 접합하기 위한 제작과정에 사용되는 크립슬더를 이용한 작업온도와 전면의 2차 외부 전극 표면위에 이전의 전극접합과 다른 용점을 가지는 이원화된 낮은 온도의 가용합금을 표면에 도포함으로써 배리스터의 열폭주로부터 열 보호 기능을 구현 할 수 있도록 하였다.

열폭주 방지 기능을 구현하기 위한 가용합금의 용점을 결정하기 위해 사용된 배리스터의 고유의 특성인 단일펄스피크전류(I_{TM}) 인가에 따른 열적 안정성과 관련한 실험을 시행하였다. 이는 배리스터 소자가 뇌방전에 의한 단일펄스피크전류에 의해 배리스터 표면에 도포한 가용합금의 용점이 해당 배리스터 표면에서 발생한 열에 의해 용융되지 않게 하기 위한 기초데이터를 추출한 것으로 결과는 그림 7과 같다.

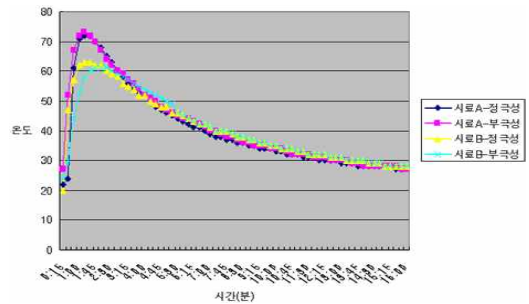


그림 7. 단일펄스피크전류(ITM) 시험에 따른 열적 안정성
Fig. 7. Thermal stability as single pulse peak current(ITM) test

KS C IEC 61643-331(저압 서지 보호 장치의 부품 - 제331부 : 산화금속 배리스터(MOV)에 대한 규정) 시험 중 단일펄스피크전류(40[kA]) 시험을 통해 배리스터 표면의 열은 최대 75[°C]가량 상승하는 것을 알 수 있으며, bare disc의 2차 전극을 접합하기 위한 reflow 공정에서 사용된 크립슬더의 용점 정보를 이용하여 75~190[°C]사이의 용점 특성을 가지는 가용합금으로 배리스터의 단자를 인출함으로써 최종적인 배리스터를 제작하였다. 제작된 시료에 가용합금으로 접합된 제2인출 단자판은 타 측면으로부터 멀어지려는 복원력을 갖는 탄성형 금속편(인칭동)을 이용하였다. 또한 제2인출 단자판과 배리스터 시편 사이에는 일정

안정성 개선을 위해 열폭주 방지 기능을 내장한 배리스터 설계에 관한 연구

한 공간을 유지하도록 접합하고 그 사이에 복원력을 갖는 스프링을 포함한 슬라이더를 삽입하여 제2인출 단자관이 배리스터의 타 측면과 분리될 때, 슬라이더가 스프링의 복원력에 의하여 회동되고 배리스터의 열폭주가 발생될 때 낮은 용점의 가용합금이 용융되어 각 부의 복원력을 갖는 탄성체와의 회동을 통해 배리스터가 계통으로부터 분리되도록 설계하였다. 본 열폭주 방지 기능을 내장한 배리스터에 대한 투시도를 그림 8에 나타내었다.

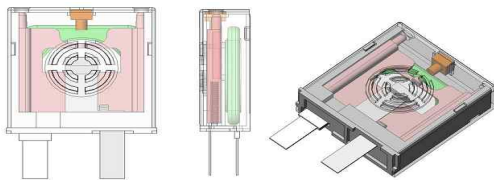


그림 8. 열폭주 방지 기능을 내장한 배리스터 투시도
Fig. 8. Perspective drawing of varistor prevented from thermal runaway

4. 배리스터의 평가 및 검토

‘열폭주 방지기능을 내장한 배리스터’에 대한 평가 표준은 ‘KS C IEC 61643-331에 관한 규정’을 기준으로 하였으며, 열폭주 및 열 보호기능과 관련한 특성 시험은 ‘KS C IEC 61643-1 성능 및 시험 방법에 관한 규격’의 열폭주와 관련한 단로기 특성 시험을 기준으로 평가하였다. 배리스터의 열폭주 방지 관련 시험 항목은 표 2와 같고 배리스터 소자의 성능 평가 시험조건에 따른 환경특성은 온도(25±10)[°C], 상대습도 85[%] 미만이며, 대기압은 86~106[kPa]의 조건에서 시험을 한다.

배리스터 소자의 평가 항목으로는 다음과 같다.

- 단일임펄스피크전류(I_{TM})
- 다중펄스피크전류(I_{TSM})
- 연속정격전압(V_M)
- 최대클램핑전압(V_C)
- 대기전류(I_D)
- 공칭배리스터전압(V_N)
- 정전용량(C_V)

표 2. KS C IEC 61643-1의 열폭주 방지 관련 시험 항목

Table 2. Test of KS C IEC 61643-1 thermal disconnect

시험시리즈	시험형식	항목	비고
1	식별과 표시	7.2	KS C IEC 61643-1
	단자와 연결	7.3	
	직접접 보호 시험	7.4	
2	측정 제한 전압	7.5.2	
	운전 예비 시험	7.6.2	
3	사전 적용	7.6.4	
	운전 효율 시험	7.6.5	
	2개 포트 SPD의 추가 시험	7.8	
4	정의된 전압 변동률 %	7.8.1	
	정격 부하 전류	7.8.2	
	단로기 시험	7.7	
5	운전 효율 시험	7.6	
	온도 내성	7.7.2.1	
	열적 안정성	7.7.2.2	
	단락 전류 내성	7.7.3	
	TOV 고장	7.7.4	
	TOV 특성	7.7.6	
	추가시험	9종	
6	추가시험	9종	

해당 규격에서 시험에 따른 함/불 판정은 단일임펄스피크전류 및 다중펄스피크전류시험에서 소자와 내장한 열 보호 기능 장치에 대한 파괴특성 시험을 통해 관별하며, 이외 항목의 경우 배리스터의 bare disc와의 비교를 통해 그 결과를 비교하였다. 배리스터의 열폭주 방지 기능에 대한 평가의 경우 KS C IEC 61643-1의 해당항목시험인 단로기 운전 효율 내력시험, 온도저항시험, 열적안정성시험을 하였다. 열폭주와 관련한 열 보호 동작의 안정성 확인을 위한 열적안정성시험은 시료를 전력 주파수 소스에 연결하고 전압은 배리스터 양단에 충분히 확보될 만큼 높아야 한다. 시험을 위한 전류값은 ±10% : 2, 5, 10, 20, 40, 80, 160, 320, 640, 1,000[mArms] 또는 해당 파고값에 정의된 값에 따라 증가된다. 각 단계는 열적 평형을 확보할 때까지 유지된다.(예를 들어, 10분 이내에 2[K] 이하의 온도 변화.) 시험도중 배리스터의 최고 열점에서 표면 온도와 배리스터를 통해 흐르는 전류를 지속적으로 모니터링 하였다. 본 시험은 열폭주 방지 기능을 내장한 배리스터의 내부 단로기가 동작하는 경우 중

단되며, 화재 및 섬광 등의 발생이 일어나지 않아야 한다. 열적안정성시험을 통해 배리스터에 흐르는 전류 값에 따라 발생하는 열에 의한 시간별 특성과 열 보호 기능을 내장한 단로기의 동작에 따른 온도 변화 특성을 그림 9에서 나타내었다.

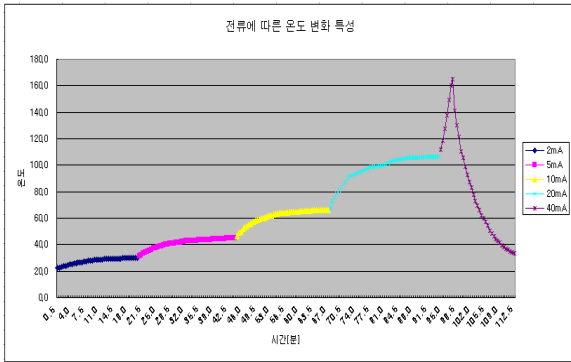


그림 9. IEC 61643-1 7.7.2.2 열적 안정성 시험에 따른 배리스터 표면 온도 변화 특성
 Fig. 9. Characteristic curve of Varistor surface temperature on IEC 61643-1 7.7.2.2 Thermal stability test result

그림 10은 배리스터 소자의 단일임펄스피크전류와 다중펄스피크전류를 통한 분석의 순서도이다. 본 논문에서는 단일임펄스피크전류의 크기를 40[kA]로 설정하였다.

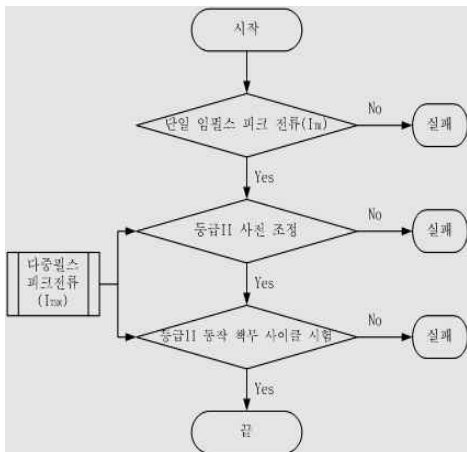


그림 10. 시료의 ITM과 ITSM 특성 시험을 통한 분석의 순서도
 Fig. 10. Flowchart of analysis for ITM and ITSM test

표 4는 앞서 언급한 KS C IEC 61643-331과 KS C IEC 61643-1에서 제시된 시험 항목을 전기연구원 시험평가원을 통하여 시험하였고 이에 관한 결과이다.

표 4. 열폭주 방지기능을 내장한 배리스터 시험결과
 Table 4. Test results of Varistor prevented from thermal runaway

	제작 시편	Bare disc
단일펄스피크전류(ITM)	양호(U _p =1.81[kV])	양호(U _p =1.65[kV])
다중펄스피크전류(ITSM)	양호	양호
연속정격전압(VM)	275	275
제한전압측정(VP)	1.10[kV](10[kA])	1.05[kV](10[kA])
대기전류측정(ID)	0.10[mA]	0.10[mA]
공칭배리스터전압(VN)	440[V]	430[V](±10%)
정전용량(CV)	3,090[pf]	2,700[pf]
단로기 운전효율 내력	양호	X
온도저항(+80℃±5K)	양호	X
열적안정성시험	양호	X
Abnormal Overvoltage	양호	X

5. 결론

본 논문에서 설계한 ‘열폭주 방지 기능을 내장한 배리스터’는 뇌방전에 의해 저압배전계통에서 발생할 수 있는 뇌방전전류로부터 부하장비를 보호할 목적으로 사용되는 대용량의 배리스터 중 KS C IEC 61643-311 규격에 있어 다음과 같은 식별 사항으로 분류된 제품군에 대한 특성을 지니는 배리스터를 이용하여 신뢰성 확보 및 열화에 의한 소자의 안정성 확보를 위한 방안을 제시하였다. 배리스터의 식별은 클램핑전압, 정격피크임펄스전류, 최대연속운전전압, 최대대기전류, 정전용량으로 구분할 수 있다. 본 시료는 식별은 클램핑전압 1,050[V] 10[kA], 정격피크임펄스전류(ITM) 40[kA], 최대연속운전전압(VN) 275[V], 최대대기 전류(ID) 0.1[mA], 정전용량(CV) 2,700[pf]을 가지는 배리스터를 이용하였다. 본 논문에서는 교류 1,000[V] 또는 직류1,500[V]의 전력계통에서 사용되는 SPD에 사용되는 부품 중 금속 산화물 배리스터(MOV)의 열화에 의한 열폭주 현상을 예방하기 위해 별도의 단로기(차단기 및 퓨즈)의 역할을 배리스터 부품에 내장하여 배리스터의 성능을 기존의 부품 성능

을 재현하고, 별도의 외부 단로기 사용을 제한하여 SPD 설계 시 적용면적을 최소화할 수 있도록 하였다. 또한 배리스터의 열화에 의한 열폭주 현상을 제거한 형태의 안정성을 극대화한 배리스터 모형을 제시하였다. 특성 시험을 위한 인용 규격은 “KS C IEC 61643-311 : 2006 저압 서지 보호 장치의 부품 - 제311부 : 산화 금속 배리스터(MOV)에 대한 규정”과 배리스터 열화에 따른 열폭주 방지를 위한 열 보호 기능 장치에 관한 성능 검사를 위해 “KS C IEC 61643 - 1 : 2007 저압 배전 계통의 서지 보호 장치 - 제1부 : 성능 및 시험 방법에 관한 규격”에 있어 ‘과응력 SPD의 SPD 단로기와 안전 성능 시험’ 중 SPD 단로기의 운전 효율 내력 시험 및 SPD의 열적 안정성 시험을 통해 열폭주 방지 기능에 대한 성능 검사를 실시하였다.

결론적으로, SPD에 사용되는 배리스터에 대한 성능을 개선하기 위해 저압 배전계통에 사용하는 ZnO 배리스터의 소자 표면에 온도감응 소재를 도포한 것을 내장한 SPD의 신뢰성과 안정성을 개선하였다. ‘열폭주 방지 기능을 내장한 배리스터’설계를 통해 SPD내에 장착 시 열 보호기능의 단로기의 기능에 대한 trade-off 관계해석(trade-off : 단로기에 단일펄스피크전류(ITM), 다중펄스피크전류(ITSM)에 대한 신뢰성과 배리스터 소자의 열화 및 수명한계에 따른 열폭주 현상을 예방하기 위한 단로기의 안정성 확보를 위한 최적의 설계)을 통해 신뢰성과 안정성을 확보하였고 열 보호기능을 배리스터 내부에 적용하여 SPD제작 시 소형/경량화가 가능하도록 하였다.

References

[1] L. M. Levinson and H. R. Philipp, “The Physics of Metal Oxide Varistors,” J. Appl. Phys., Vol.46, pp. 1332-1341, 1975.
 [2] L. M. Levinson and H. R. Philipp, “Zinc Oxide Varistors-A Review,” Am. Ceram. Soc. Bull., Vol. 65, pp. 639-636, 1986.
 [3] T. K. Gupta, “Application of Zinc Oxide Varistors,” J. Am. Ceram. Soc., Vol. 73, pp. 1817-1840, 1990.
 [4] IEC 61643-331, Components for low-voltage surge protective devices-Part 331:Specification for metal oxide varistors(MOV).
 [5] IEC 61643-1, Surge protective devices connected to low-voltage power distribution system-Part1 : Performance

requirements and testing methods.

[6] Keith W.Eilers, Mark Wingate, Eric Pham, “Application and Safety issues for Transient Voltage Surge Suppressors” IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS, VOL. 36, NO.6, Nov/Dec 2000.
 [7] “ZNR Transient/Surge Absorbers’96/’97,” Matsushita Electronic Components Co., Osaka, Japan, Doc.9 604 173S1, 1997.
 [8] Paul Traynham and Pat Bellew, Using Thermally Protected MOVs in TVSS or Power Supply Applications, Power Systems World, intertec Exhibition Proceedings, Sep 2001.
 [9] 이복희, 엄주홍 “건축물에 침입하는 뇌 서지 분류에 따른 서지보호 대책” 대한전기학회 전기저널. 통권제345호 (2005. 9), pp.10-15.

◇ 저자소개 ◇

정태훈(鄭兌勳)

1975년 2월 25일생. 2001년 동의대학교 전자공학과 졸업. 2003년 동의대학원 전자공학과 졸업(석사). 2007년 숭실대학교 전기공학과 박사수료. 현재 삼현CNS(주) 부설 연구소 수석연구원.

신희상(申熙尙)

1980년 9월 18일생. 2007년 숭실대 전기공학과 졸업. 2009년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 박사과정.

조성민(趙成旻)

1980년 10월 3일생. 2003년 숭실대 전기공학과 졸업. 2008년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 박사과정.

이희태(李羲泰)

1976년 4월 2일생. 2002년 숭실대 전기공학과 졸업. 2004년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 박사수료.

이준규(李俊圭)

1953년 3월 17일생. 1992년 서울산업대학교 전기공학과 졸업. 2005년 한양대학교 공학대학원 졸업(석사). 2007년 숭실대학교 대학원 박사수료. 현재 SH공사 환경에너지 사업단장.

김재철(金載哲)

1955년 7월 12일생. 1979년 숭실대학교 전기공학과 졸업. 1983년 서울대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 숭실대학교 전기공학부 교수.