Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers (2011) 25(9) : 75~79
http://dx.doi.org/10.5207/JIEIE.2011.25.9.075
논문 25-9-11

인청동 스위칭 모듈을 이용한 전력계통 및 전자기기 내부회로의 MOV 열폭주 방지와 안전성 개선

(Thermal Runaway Prevention of MOV and Safety Improvement of Power Line System and Internal Electronic Device Circuit Using a Phosphorous Switching Module)

김주철* · 최경래 · 이상중**
(Ju-Chul Kim · Gyung-Ray Choi · Sang-Joong Lee)

Abstract

The MOV(Metal Oxide Varistor), a voltage limiting element, has been installed in the SPD(Surge Protective Device) or inside the internal circuit of an electronic appliance for protection of the electric power system and electronic device against electrical surge. Such an MOV is exposed, however, to the risk of the thermal runaway resulting from excessive voltage and deterioration. In this paper, a reciprocal action has been tested and analyzed using a phosphorus bronze switching module and the low-temperature solder. And a short current break characteristic test linked with the circuit breaker has been performed to limit the inrush current when the MOV breaks down.

It has been proven that the phosphorus bronze switching module installed inside the internal circuit can improve the safety of the power line system and the electronic device.

Key Words : MOV(Metal Oxide Varistor), SPD(Surge Protective Device), Thermal Runaway, Switching Module

1. 서 론

고전압 대전류의 전기적인 동요현상인 서지는 그 크기가 수만 볼트에 이르며 시스템이나 구성부품에 치명적인 손상과 전기적인 열화를 가져오기도 한다. 또한 마이크로프로세서를 채택한 장비들이 서지의 영향을 받아 데이터손실, 장비고장, 전원계통장치 이상 등 모든 장치의 오동작과 수명단축, 파괴를 수반하여 생산성 저하와 경제적 손실을 가져온다. MOV는 SPD나 전자기기의 회로에 연결하여 전원선 및 신호 선에 침입하는 각종 이상전압을 억제함으로써 부하기기에 안정된 전원 및 신호를 공급하도록 한다. 그러나 MOV는 용량을 초과하는 과도한 서지의 반복적인 유입, 누설전류에 의한 열화 및 일시적인 상용과전압 등의 원인으로 인하여 소자내부가 단락될 수 있다. 이러한 경우 폐회로의 구성으로 열폭주 현상을 발생시키게 되어 발화의 원인이 되거나 폭발을 일으키는 등의 심각

* 주저자 : 상도전기통신(주) 부설연구소 소장
** 교신저자 : 서울과학기술대학교 전기공학과 교수
Tel : 02-990-5539, Fax : 02-906-5824
E-mail : cjfwnxkq@hanmail.net
접수일자 : 2011년 7월 12일
1차심사 : 2011년 7월 20일
심사완료 : 2011년 8월 31일

한 문제를 발생시킨다. 따라서 열폭주 현상을 차단하기 위한 안전장치가 기기내부에 필요하다[1-2].

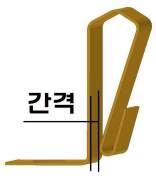
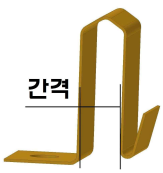
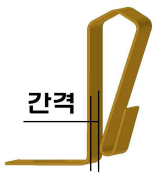
본 논문은 MOV의 단락에 따라 유입되는 전류를 차단하기 위하여 MOV 전단에 탄성력을 가진 인청동 스위칭 모듈과 저온 납을 이용하였고 이를 PCB(Printed Circuit Board) 기판에 설치, 시험전류를 인가하여 인청동 스위칭 모듈의 차단동작 소요시간을 측정하였다. 또한 인청동 스위칭 장치의 단락전류 차단 특성을 시험하고 배선용차단기와의 보호특성을 검토하였다.

2. 본 론

2.1 인청동 스위칭 모듈의 특성

전류제한용의 소재로 인청동 고유의 탄성력을 이용하여 과전류 발생에 따른 전원차단동작이 가능하도록 절곡각과 전류통과면적을 고려하였다. 인청동 스위칭 모듈의 탄성력이 부족한 경우 과전류 유입 시 차단기능을 수행하지 못하여 열폭주를 발생시킨다. 또한 특성 변화에 따른 회복전압이 불가능하게 되어 사고로 이어지게 된다. 표 1은 인청동 스위칭 모듈의 내열특성 시험결과이다.

표 1. 내열특성 시험결과
Table 1. Test results of heat resistance

측정부위와 내열성 시험간격		
내열시험 전 측정 부위	내열시험 조건 간격 5[㎜]이동	내열시험 완료 후 측정 부위
		

시료	내열온도 [℃]	시험 시간	내열시험 전 간격[㎜]	내열시험 완료 후 간격[㎜]
1	100	2시간	0.50	0.53
2	120		0.53	0.58
3	140		0.51	0.63

인청동(C 5210-SH)의 탄성력은 내열온도에 따라 변화되며 이러한 탄성력의 변화데이터를 반복적인 내열시험을 통하여 취득하였다. 시험전의 내측간격을 측정하고 내열시험 완료 후 복원이 된 상태에서의 내측간격을 측정하였다.

내열시험에 의한 인청동 스위칭 모듈의 탄성력 변화는 140[℃]에서 0.12[㎜]가 발생되었다. 인청동 스위칭 모듈의 전류통과면적은 3.6[㎟]로 탄성에 의한 복원력이 고려되었다.

2.2 저온 납

인청동 스위칭 모듈과 함께 전류제한의 소재로서 저온 납을 사용하였다. 저온 납(115A-1 #165)은 과전류 발생시 PCB 기판에 고정된 인청동의 열에 의해 가장 먼저 용융되어 전류의 이동경로를 차단한다. 저온 납은 일반 납에 비해 용융온도가 낮은 것이 특징이며 각각의 지점에 저온 납을 사용하여 솔더링을 하였다. 저온납의 사용량 증가는 동작속도 및 아크발생량을 증가시키기 때문에 시험조건을 만족할 수 있도록 1개소에 제한된 양을 사용하였다.

2.3 접촉면적

PCB 기판위의 저온 납과 인청동 스위칭 모듈의 전류통과 접촉면적은 KS C IEC 61643-1 표준에 의한 내열성 시험조건에 충분히 견디도록 면적을 고려하였다[3]. 또한 인청동 스위칭 모듈의 접촉면적과 제한전압을 고려한 최적화된 전류통과면적은 발열에 의한 차단시간을 빠르게 한다.

2.4 시험방법

전원공급용 변압기는 500[kVA]로서 부하설비를 조정하여 시제품에 단계별 시험전류를 공급하였다. 인청동 스위칭 모듈과 저온 납으로 연결된 PCB 기판은 시험전류에 견딜 수 있는 면적으로 설계되었다.

정격전압 AC 220[V], 60[Hz], 시험전류 60[A]부터

시험을 진행하고 20[A]씩 전류를 증가시키면서 최대 300[A]까지 PCB 기판에 전류를 공급하였다. 그림 1은 시험전류 인가방법의 개략도이다.

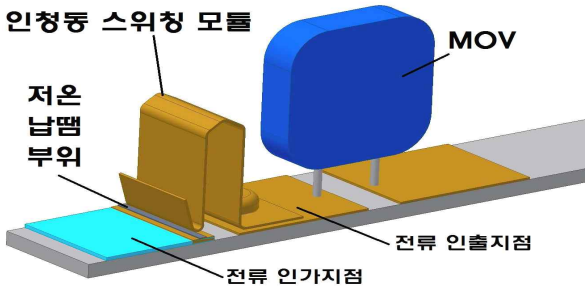


그림 1. 시험전류 인가방법의 개략도
Fig. 1. Schematic diagram for applying test current

인청동 스위칭 모듈은 MOV와 직렬로 배치되어 있으며 전류증가 시 저온납의 용융에 의하여 MOV에 유입되는 전류를 자동차단하는 방식이다. 또한 누설전류에 의한 발열로 MOV와 인청동 스위칭 모듈이 열적 평형을 이룰 수 있도록 인청동 스위칭 모듈의 위치와 크기를 설계하여 배치하였다.

2.5 시험전류별 동작시간

인청동 스위칭 모듈에 흐르는 시험전류를 증가시킨 경우 저온 납이 용융되면서 인청동 스위칭 모듈이 "OFF"하게 되는데, 이 때 전류차단에 소요되는 동작시간을 시험전류별로 측정하였다. 그림 2는 시험결과에 따른 인청동 스위칭 모듈의 전류-시간 특성곡선이다.

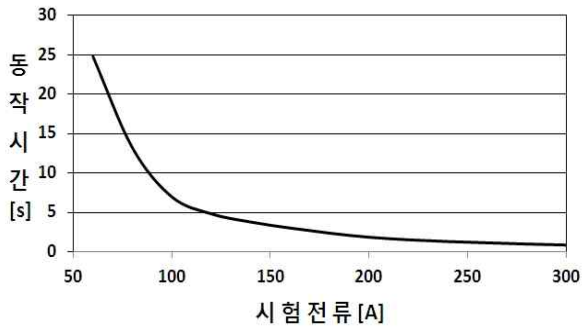


그림 2. 전류-시간 특성곡선
Fig. 2. Time-current characteristics

인청동 스위칭 모듈에 시험전류 200[A]를 인가한 경우 동작시간은 1.85초이고 시험전류 300[A]를 인가한 경우, 동작시간은 0.86초이다. 시험전류 및 동작시간에 의한 발생 열량은 전체 시험구간이 동일하게 나타났다.

2.6 시험결과 분석

시험전류 증가는 인청동 스위칭 모듈과 저온 납의 면적설계에 따른 저항에 의해 발열되어 온도를 증가시켰다. 이에 따라 저온 납이 빠르게 용융되었고 인청동 스위칭 모듈의 솔더링된 절곡부위가 탄성에 의해 솔더링 전의 원상태로 복원되면서 시험전류가 차단되었다. 그림 3은 인청동 스위칭 모듈이 시험전류에 의해 동작이 완료된 사진이다.

그림 3. 인청동 스위칭 모듈의 동작사진
Fig. 3. Activation of phosphor bronze switching module

동작시험에서 인청동 스위칭 모듈과 저온 납 연결전 PCB 기판 동박 면까지의 거리는 5.0[㎜]이고 과전류 차단동작 후의 거리는 4.3[㎜]로 나타났다. 이는 솔더링 작업 후 시험전류에 의해 인청동 스위칭 모듈의 절곡부가 분리되면서 탄성력이 0.7[㎜] 감소하였다. 또한 전류차단 시간을 빠르게 하기 위한 특성조건으로 인청동 스위칭 모듈의 전류통과면적 및 탄성력이 중요한 요소로 작용되었다.

2.7 배선용차단기와 인청동 스위칭 장치의 상호 보호협조 시험 및 분석

전원공급용 변압기는 500[kVA]로서 설비를 조정하여 시제품에 상용전원 AC 220[V], 60[Hz]를 인가하였다. 후비보호 배선용 차단기는 200[A], 25[kA] 제품을 설치하여 단락전류 조건하에 보호협조가 가능하도록 설치하였다.

보호협조 시험 및 분석용으로 선정된 배선용 차단기는 KS C 8321(2002) 표준의 인증제품으로 AC 220[V], 50AF(Ampere Frame), 정격단락차단용량 5[kA]로서 정격전류는 20[A]이다[4]. 배선용차단기 2차측(부하측)에 그림 1의 인청동 스위칭 모듈 전류인가 및 인출지점을 직접 연결하고 AC 220[V]를 배선용차단기 1차측에 연결하여 단락전류에 의한 상호차단조건(후비보호)을 시험하였다[5].

시험용으로 선정된 50AF 차단기의 제조사별 순시동작 범위는 정격전류의 9~14배이다. 트립방식은 완전전자식(ODP : Oil Dash Pot) 방식으로 각 상마다 순시 트립장치가 있다[6].

차단기의 순시범위를 정격전류의 11배로 적용하면

50[AF] 정격전류 20[A]×11배=220[A] (1)

50[AF] 정격전류 50[A]×11배=550[A] (2)

순시범위 내 전류 유입상태에서 식 (1)과 (2)의 전류를 비교하면 20[A] 차단기가 낮은 전류에 동작함을 알 수 있다[6].

PCB 기판위의 저온 납과 인청동 스위칭 장치의 전류통과 접촉면적은 4[㎟]이고 사용된 납은 0.04[g]이다. 인청동 스위칭 장치의 전류통과면적은 1.25[㎟]로서 배선용차단기 정격전류 20[A]와 순시동작 특성을 동일하게 하기 위한 조건을 고려하였다. 그림 4는 시험장치의 개략도이다.

배선용차단기 2차측은 단락상태이며 부하개폐기를 통하여 상용전원 AC 220[V]를 인가하였다. 상용전원 인가 결과 배선용차단기와 인청동 스위칭 장치가 아크발생과 함께 즉시 동작하였다. 그림 5는 단락전류 차단동작이 완료된 인청동 스위칭 장치의 사진이다.

그림 4. 시험장치의 개략도
Fig. 4. A schematic diagram of the test apparatus

그림 5. 단락전류 차단동작이 완료된 인청동 스위칭 장치
Fig. 5. Phosphorus bronze switching module after short current breaking

차단기 순시시험은 KS C 8321 표준에서 225AF이상만 적용하고 있고 배선용차단기 프레임(AF) 및 정격전류에 따른 순시동작은 다르게 나타난다[4]. 따라서 인청동 스위칭 모듈과 장치는 선택차단(후비보호)이 가능한 범위의 순시특성 및 단락차단용량을 견딜 수 있는 면적을 고려, 신뢰성 확보 후 제작하는 것이 안전을 향상시킬 수 있다. 또한 일반적으로 사용되는 서지보호기(SPD)도 동일한 특성기준을 고려하여 제작하는 것이 사고의 파급효과를 줄일 수 있을 것으로 사료된다.

3. 결 론

본 논문은 SPD 및 전자기기내에 사용되는 MOV의 열폭주 현상을 방지하기 위해 인청동 스위칭 모듈과 저온 납을 사용하여 PCB 기판에 고정한 뒤 시험전류를 증가시키면서 동작시간을 측정하였다. 또한 배선용차단기와의 보호협조 가능여부를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, PCB 기판내의 전류증가는 저온납의 용융속도를 증가시켜 빠른 시간 내에 MOV로부터 회로를 분리할 수 있다.

둘째, 과전류 보호 안전장치는 일반퓨즈에 비해 접촉 및 내부면적이 크므로 제한전압을 고려한 안전장치가 가능하다.

셋째, 과전류 보호 안전장치는 서지용량 초과로 인한 파손을 최소화 할 수 있고 과전류를 최대한 제한할 수 있다.

넷째, 과전류 보호 안전장치는 배선용차단기와 연계하여 사용할 경우 계통의 안전성을 증대시킬 수 있다.

다섯째, 인청동 스위칭 장치는 단락전류 차단에 따른 내부 절연공간을 확보하는 것이 안전성을 증대시킨다. 또한 충분한 단락차단용량 및 선택차단(후비보호)이 가능하도록 설계가 되는 경우 더욱 향상된 안전성을 기대할 수 있다.

이와 같이 최적화 설계된 인청동 스위칭 장치 및 저온납 솔더링을 적용한 과전류 보호 안전장치는 PCB 기판 내에서 MOV 열화 및 과전압, 서지용량 초과로 인한 열폭주 현상을 제거하고 제한전압을 낮게 설계할 수 있어 안전성을 증대시킨다.

References

[1] 김주철, 전주술, 기채옥, 최경래, 이상중 “내장 순시 트립 장치를 이용한 MOV의 열폭주 보호와 SPD의 안전성 개선”, 한국조명·전기설비학회 논문지, Vol.25, No.2, pp.120-124, 2011.

[2] 심해섭, 전태현 “MOV 기반 서지보호기의 일시과전압특성에 대한 실험적 연구”, 한국조명·전기설비학회 논문지, Vol.24, No.1, pp.71-77, 2010.

[3] KS C IEC 61643-1 : 저전압 배전계통의 서지보호장치-제1부 : 성능 및 시험방법, 한국표준협회, 2007.

[4] KS C 8321 : 배선용차단기, 한국표준협회, 2002.

[5] KS C IEC 60947-2 : 저전압 개폐장치 및 제어장치-제2부 : 차단기, 한국표준협회, 2009.

[6] 김주철, 임정균, 이상중 “30AF 차단기 순시 Trip 동작 특성분석을 통한 저압차단기의 안전성 개선방안”, 한국조명·전기설비학회 논문지, Vol.24, No.12, pp.78-81, 2010.

◇ 저자소개 ◇

김주철 (金柱鐵)
1974년 1월 20일생. 서울과학기술대학교 전기공학과 졸업. 2009년 서울과학기술대학교 산업대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년 서울특별시 지방기능경기대회 옥내배선 입상. 1991년 전국기능경기대회 옥내배선 입상. 중소기업우수기능인. 직업능력개발훈련교사. 품질경영시스템 인증심사원. 1998년 호서교육문화 서울공과 전기학원 강사. 2002년~현재 상도전기통신(주) 부설연구소 소장.

최경래 (崔慶來)
1957년 10월 9일생. 서울성동공업고등학교 전자과 졸업. 서울과학기술대학교 전자공학과 졸업. 2005년 경북대학교 과학기술대학원 기계공학과 졸업(석사). 2011년 공주대학교 대학원 농공학과 과정(박사). 2000년 전기, 전자 분야 기술지도사(E3625). 2000년 TL9000 인증심사원. 2003년 PL 수준평가사. 2005년~현재 에이스특허정보주식회사 대표이사. 에이스국제특허법률 부소장.

이상중 (李尙中)
1955년 1월 10일생. 부산공업고등전문학교 전기과 5년 졸업. 성균관대학교 전기공학과 졸업. 1988년 GE PSEC 수료. 충남대학교대학원 졸업(박사). 1995년 한국전력공사 전력연구원 부장. 1996년 한국전력공사 보령화력본부 부장. 1998년~현재 서울과학기술대학교 전기공학과 교수.