

전철 탐재 피뢰기용 MOV 소자의 임펄스 특성

한 세 원, 조 한 구, 이 형 구*
한국전기연구소, *삼흥중전기(주)

Impulse Characteristics of MOV Elements for Railroad Vehicle Arrester

S. W. Han, H. G. Cho, H. G. Lee*
KERI, *SAMHEUNG Electric. Co. Ltd.

Abstract - The main functions of AC railroad vehicles arresters is to protect the main transformer from lightning impulse or switching impulse surge, then the MOV(metal oxide varistor) elements rated of 10kA is applied. The residual voltage and surge energy absorption are important parameters in designing arrester, these must be carefully decided with considering protecting level of impulse environment of system. The purpose of this study is to discuss the residual voltages and the energy absorption capability by impulse currents on MOV elements for railroad vehicles, and to introduce design factors which act as optimal protecting condition against impulse currents.

한 내구성을 개선시키는 첨가물을 선택하여 제조하였다. 그림 1은 제조된 시편의 미세 조직 사진을 나타낸 것이다. ZnO 입자의 평균 입자 크기는 약 8 μ m로 기존 바리스터 소자의 평균 입자 크기보다 작게 제조된 것을 알 수 있다. 열처리 이후 최종 시편의 직경은 65mm, 두께는 25mm의 디스크 형태로 만들어지는데 이는 전철 탐재 피뢰기의 정격을 고려하여 설계된 것이다. 전기적 특성 시험을 하기 위해 소자 양면은 프라즈마 용사 건(gun) 방식으로 알루미늄 전극을 증착하여 시험하였다.

1. 서 론

AC 전철 탐재형 피뢰기(arrester)는 뇌 또는 개폐 서지로 부터 주변압기를 보호하는 공칭방전전류 10kA급의 ZnO 바리스터 소자가 사용된다. 피뢰기를 설계하는데 있어서 가장 중요한 요소 중 하나는 임펄스 서지에 대한 적절한 제한전압과 서지 에너지 내량을 갖고 상시 과전 상태에서 안전하게 동작되도록 최적의 바리스터 소자를 설계, 제작하는 것이다. 이를 위해서는 피뢰기 시험규격(IEC, JIS, ANSI 등)에서 제시하는 주요한 임펄스 시험을 실시하여 그 특성을 평가하게 된다.[1,2]

본 논문에서는 먼저 EMTF 해석을 이용하여 시스템 급전전압 25kV인 전철에 대한 서지 환경을 조사한 후 피뢰기의 적용에 따른 제한전압과 방전 에너지 내량 특성 등 소자 및 피뢰기의 전기적 주요 설계 요소를 시뮬레이션하였다. 공칭방전전류 10kA급, 직경 65mm로 설계된 ZnO 바리스터 소자를 제작하여, 피뢰기 적용 시 요구되는 주요 임펄스 특성 시험을 실시하였으며 전철 탐재형 피뢰기의 ZnO 소자 적용을 위한 최적의 설계 기술을 확보하고자 하였다.

2. 실험 방법

2.1 MOV 소자 제조

전철용 피뢰기에 적용된 MOV 소자는 ZnO가 주성분인 ZnO-Bi₂O₃계 바리스터로 제조되었다. 에너지 흡수 내량이 크고 제한전압 특성이 우수한 고성능 바리스터를 얻기 위해 초기 입자의 미세화 및 균일화를 기한 공정을 추가하였다. 또한 계면 특성을 안정시키고 임펄스에 대

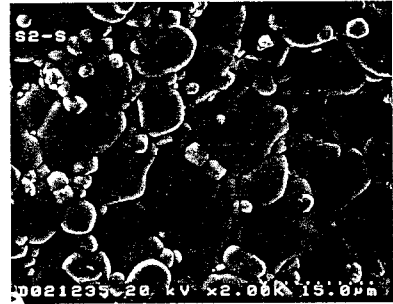


그림 1 제조된 MOV 시편의 SEM 조직 사진

2.2 전기적 특성 시험

표 1은 전철 탐재 피뢰기의 전기적 특성의 기본 사양을 정리한 것이다.

표 1. 전철 탐재 피뢰기 기본 사양

사양	특성값	
공칭방전전류	10kA(8/20 μ s)	
정격전압[kVrms]	38.5	
동작개시전압(최저)[kVrms]	34.65	
제한전압[kV]	5kA	100 이하
	10kA	110 이하
	20kA	120 이하
방전내량	총격대전류	100kA(4/10 μ s), 2회
	구형파전류	400A, 20회
뇌서지동작책부	10kA(8/20 μ s), 10회	
개폐서지동작책부	50 μ F/14kVrms	
다중동작전류(100A)	연속25회(5사이클)	
진동성능	JIS E 4031	
방압성능	6,000A	
중량	<20kg	

MOV 소자를 피뢰기에 적용하기 위한 특성 시험 항목은 IEC, ANSI 등 규격에 잘 정의되어있다.[3] 일반적으로 기본 물성은 I-V 특성 시험을 실시하여 소자의 정격 전압, 제한 전압 및 상시 과전 특성 등을 선택하게

된다. 그림 2는 전형적인 I-V 특성 곡선으로 항복 전압 영역을 전후로 하여 상시 과전 부분과 임펄스 영역으로 나누어 소자 및 피뢰기의 전기적 특성을 평가한다. 이 실험에서는 항복 전압 영역 이전(1mA/cm²)은 DC I-V 특성 시험을 실시하여 소자의 정격전압 및 MCOV 값을 구하였다. 임펄스 특성으로 전형적인 뇌 임펄스 제한 전압은 8/20μs, 10kA, 스위칭 임펄스 제한 전압은 30/60 μs, 500A의 임펄스 전류를 인가하여 실험을 실시하였다. 또한 급준파 시험은 1/2.5μs, 10kA의 임펄스 전류에 대한 제한 전압을 측정하였다.

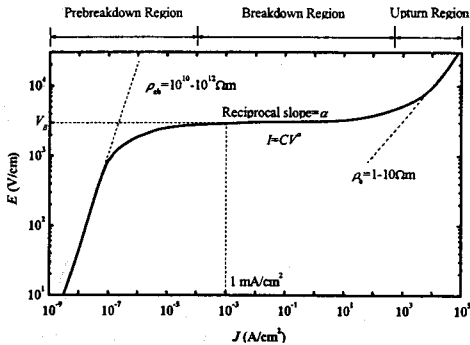


그림 2 전형적 I-V 특성

2.3 임펄스 서지 시뮬레이션 환경

현재 국내의 AC 전철 시스템은 그림 3과 같은 내용으로 구성되어 있다. 급전 전압 교류 25kV로 전철에 탑재되는 피뢰기는 차량 내의 변압기를 보호하는 것이 주목적으로 정격 전압은 38.5kV로 설정되어 있다.

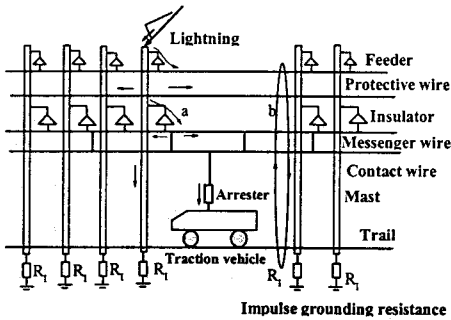


그림 3. 전철 시스템 구성도

피뢰기를 통과하는 뇌 임펄스 전류는 매우 중요한 파라미터이며, 파형과 일정 크기로 분석된다. 만약 필드온 전에서 실제의 뇌방전 전류의 크기가 허용된 최대 임펄스 전류의 크기를 초과하게 되면 피뢰기는 파손된다. 현재 구성된 AC 차량의 가선 시스템을 모델로 임펄스의 형태와 이때 피뢰기에 가해지는 임펄스 크기를 EMTP 방법을 이용하여 모의 계산할 수 있다. 여기서는 전형적인 몇 가지 결과를 제시하였다. 차량이 직접적으로 뇌 격접에 있고 가선 시스템의 접지 저항이 60Ω일 때, 피뢰기에 유기되는 전압 파형은 그림 5와 같이 나타났다. 최대 임펄스에 도달하는 시간 주기는 약 6.8μs이며 크기가 반으로 감소하는 시간은 약 30μs이며, 피뢰기를 통한

전류 파형의 시간 주기는 약 75μs이다. 따라서 전철용 피뢰기의 경우, 최대 임펄스 전류 내구성을 시험하기 위해 8/20μs 임펄스 전류를 사용하는 것은 피뢰기의 실제 펄드 상태에 적합한 것으로 판단된다.

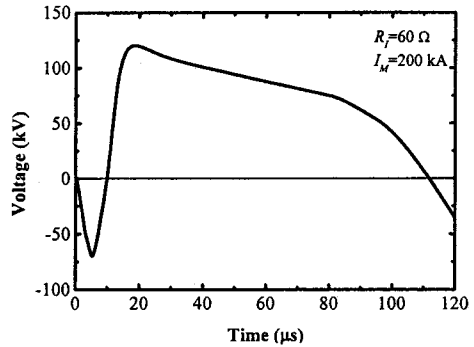


그림 4. 임펄스 전압 특성

3. 결과 및 고찰

3.1 서지 임펄스 시뮬레이션

그림 5와 6은 전철 시스템의 서지 조건 즉, 임피던스, 뇌 임펄스 전류 크기를 달리할 때 피뢰기 소자에 유기되는 임펄스 방전 전류와 서지 에너지를 EMTP로 모의하여 분석한 결과이다. 실제적으로 전차 시스템에서의 접지 저항은 수십Ω 이하로 알려져 있다.[4]

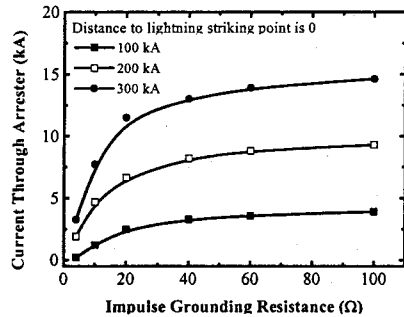


그림 5. 전철용 피뢰기의 임펄스 전류

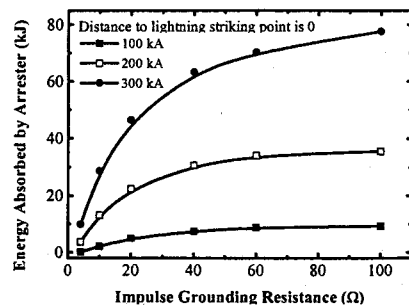


그림 6. 전철용 피뢰기의 서지 에너지 내량

3.2 MOV 소자의 I-V 특성

그림 7은 MOV 소자의 I-V 특성 곡선이다. 소자의 정격 전압의 설계 기준은 물리적으로 항복(breakdown)에 이르는 범위(\sim mA/cm²)의 전압을 근거로 정격과 MCOV를 설정하게 된다.

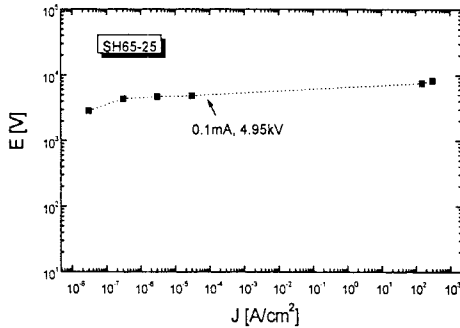


그림 7. MOV 소자의 I-V 특성

3.3 임펄스 제한 전압 특성

8/20 μ s의 파형과 10kA의 뇌 임펄스 시험 전류를 MOV 소자에 인가할 때 나타나는 제한 전압 파형 특성을 그림 8에 나타낸 것이다. 이때 제한 전압 값은 약 8.2 kV, 스위칭 임펄스 제한 전압 값은 약 6.5kV로 의 값을 갖는 것으로 측정되었다. 이러한 제한 전압 특성은 피뢰기의 정격 제한 전압(여기서는 110kV 미만)을 고려하여 소자의 제한 전압 값을 설계하게 된다.

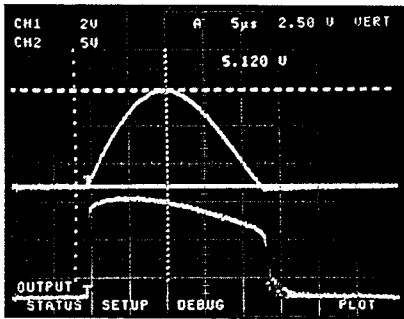


그림 8. MOV 소자의 임펄스 시험 파형(8/20 μ s)

그림 9는 뇌 임펄스, 스위칭 임펄스 그리고 급준파 임펄스 전류에 대한 MOV 소자의 제한 전압 특성의 변화비를 실험한 결과이다. 임펄스 전류의 세기가 증가함에 따라 제한 전압은 점차 증가하여 50kA의 임펄스 전류의 제한 전압은 10kA 보다 약 1.7배의 제한 전압을 갖는 것으로 나타났다.

임펄스 전류에 따른 제한 전압 값은 MOV 소자 및 피뢰기 설계 시 방전 에너지 등급을 결정하는 주요 파라미터이다. 따라서 정확한 서지 에너지 흡수 내량을 계산하기 위해서는 시험 파형을 정확히 조절할 수 있는 기술이 요구된다. 일반적으로 피뢰기의 경우 서지 에너지 방전 등급 설정은 IEC 99.4에서 제시한 방법에 의해 크게 5등급으로 나누어 적용 개소를 선택하게 된다.

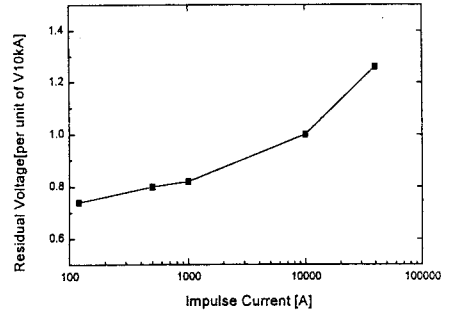


그림 9. 임펄스 전류에 따른 제한 전압 특성

3.4 보호 레벨 설계

MOV 소자를 피뢰기에 적용 시 주요한 고려 사항으로 보호 레벨(protecting level)을 설정하는 일이다. 보호 레벨을 낮추어 설계하는 것도 중요하지만 이런 경우 과전압이 증가하여 장기 내구성이 저하하게 된다.(그림 10) 따라서 안정된 내구성을 유지하면서 임펄스 서지 보호 레벨을 낮추기 위해서는 흡수 에너지 내량이 우수한 MOV 바리스터 소자를 사용하는 것이 필요하다.

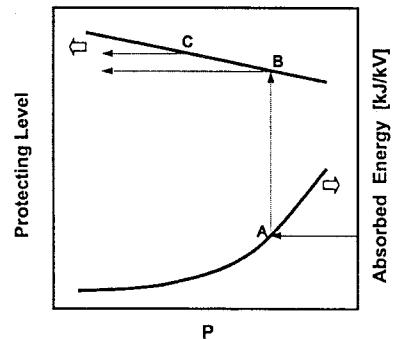


그림 10. 피뢰기 보호 레벨 설계

4. 결 론

- 1) EMTP 해석을 이용하여 시스템 급전전압 25kV인 전철에 대한 임펄스 서지 환경을 조사한 후 피뢰기의 적용에 따른 제한 전압과 방전 에너지 내량 특성 등 소자 및 피뢰기의 전기적 주요 설계 요소를 시뮬레이션하였다.
- 2) 공칭방전전류 10kA급, 직경 65mm로 설계된 ZnO 바리스터 소자를 제작하여, 피뢰기 적용 시 요구되는 주요 임펄스 특성 시험을 실시하였다.
- 3) 전철 탑재형 피뢰기의 ZnO 소자 적용을 위한 최적의 설계 기술을 확보하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] 일본전기학회기술보고 579, 1996 "산화아연소자 적용기술 동향"
- [2] IEC 99-4, 1991 "Metal oxide surge arresters without gaps for a.c. systems"
- [3] IEEE Std C62.11, 1993 "Surge arresters for Alternating Current Power Circuits"
- [4] 일본전기학회기술보고 610, 1996 "교류전기철도보호기술"