

철도 차량용 피뢰기의 뇌 충격전류에 의한 열화 특성

Deterioration Characteristics of a Railway Arrester by Lightning Impulse Current

박경수*, 김선재*, 왕국명*, 황성철*, 길경석*†

Kyoung-Soo Park*, Sun-Jae Kim*, Guoming Wang*, Seong-Cheol Hwang*, and Gyung-Suk Kil*†

Abstract A railway arrester consisting of ZnO varistors for railway vehicles is deteriorated by repeated protection operation against impulse voltage. A line to ground fault may occur if the deteriorated arrester is not removed. It is therefore essential to analyze the deterioration condition of arrester to evaluate its integrity assessment and residual life. This paper described the deterioration process of arrester by lightning impulse current in order to ensure the criterion of integrity assessment. An accelerated aging test was carried out by standard lightning impulse current of 8/20 μ s. The changes of leakage current and reference voltage with applied times were analyzed.

Keywords : Arrester, Lightning impulse current, Deterioration characteristics, Leakage current, Reference voltage

초 록 산화아연형 바리스터를 소자로 하는 철도 차량용 피뢰기는 충격전압에 대한 반복되는 보호동작으로 열화가 진전된다. 열화된 피뢰기는 제거되지 않으면 지락 사고를 유발시키게 되므로, 피뢰기의 열화 상태를 분석하여 건전성과 잔여 수명에 대한 검증이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 피뢰기의 건전성 기준을 확보할 목적으로 뇌 충격전류에 의한 열화 진전에 대해 연구하였다. 표준 뇌 충격전류(8/20 μ s)에 의한 가속열화 실험을 수행하였으며, 인가 횟수에 따른 누설전류와 기준전압의 변화를 분석하였다.

주요어 : 피뢰기, 뇌 충격전류, 열화 특성, 누설전류, 기준전압

1. 서론

철도를 운영하기 위한 전기철도용 변전소, 급전계통 및 전동차 등의 전력설비는 낙뢰(Lightning) 및 개폐기의 조작으로 발생하는 과도전압(Transient voltage)으로부터 노출되어있다. 과도전압은 전력설비 및 통신 기기의 절연 열화의 원인이 된다. 전력설비를 보호하기 위한 대책은 산화아연형 피뢰기를 기기 및 선로에 설치한다.

피뢰기는 전력 계통에 이상전압이 발생하면 전력 설비를 절연내력 이하로 보호하지만, 반복적인 보호 동작으로 열화가 진전된다[1-3]. 열화된 피뢰기를 제거하지 않으면 열폭주로 지락 사고가 발생하므로 이를 예방하기 위해 피뢰기의 열화 상태를 분석하여 건전성과 잔여 수명에 대한 검증이 필요하다[4-5].

† 교신저자: 한국해양대학교 공과대학 전자전기정보공학부(kilgs@kmou.ac.kr)

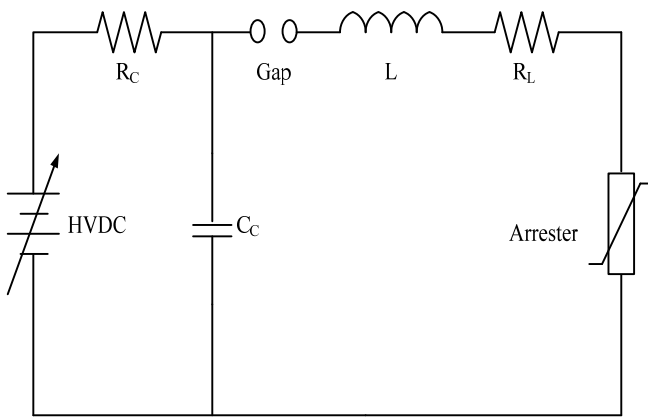
* 한국해양대학교 공과대학 전기전자공학과

본 논문에서는 철도 차량용 피뢰기의 견전성 기준을 확보하기 위해 열화 진전에 관한 연구를 수행하였다. 가속열화 실험으로 표준 뇌 충격전류 인가 횟수에 따른 누설전류와 기준 전압의 전기적 특성 변화를 분석하였다.

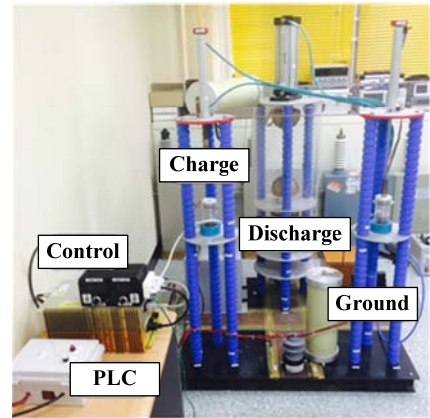
2. 본 론

2.1 가속열화 실험

열화 진전 특성을 분석하기 위하여 Table 1의 피뢰기를 사용하여 가속열화 실험하였다. 표준 뇌 충격전류를 인가하기 위하여 Fig. 1과 같은 뇌 충격전류 발생장치를 설계 및 제작하였다. 직류 고전압 발생장치(40kV, 5mA), 충전용 저항(R_C), 충전용 캐패시터(C_C), 및 인덕터(L)로 구성되었고, 충전전압에 따라 전류 크기를 조절 할 수 있다.



(a) Configuration




(b) Photograph

Fig. 1 Surge generator

가속열화 실험은 표준 뇌 충격전류(8/20 μ s, 5kA)를 1분 간격으로 100회씩 총 1,000회 인가하였다. 실온에서 1시간동안 자연냉각 시킨 후, 누설전류 및 기준전압을 측정하여 특성을 분석하였다[6].

Table 1 Specification of the arrester

	Rated voltage (U_r)	2,000V _{DC}
	Reference voltage (U_{ref})	2,500V _{DC}
	MCOV (U_c)	1,650V _{DC}
	Nominal discharge current (I_n)	8/20 μ s, 10kA

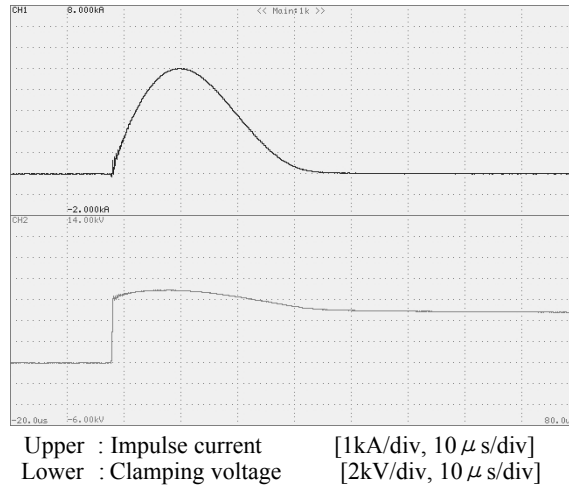


Fig. 2 Impulse current and clamping voltage

피뢰기에 인가된 충격전류와 제한전압의 파형은 Fig. 2와 같다. 소자에 흡수되는 에너지는 식 1과 같이 시간에 대한 적분함수로 나타낼 수 있다. v 는 단자전압, i 는 방전전류, W 는 뇌 충격전류 1회 인가 시, 흡수되는 에너지량이다. 뇌 충격전류가 흐를 때, 피뢰기에 가해지는 에너지는 684.7J 이다.

$$W = \int v i dt \text{ [J]} \tag{1}$$

2.2 전기적 특성

2.2.1 측정 시스템

열화 진전에 따른 전기적 특성을 분석하기 Fig. 3에 제시한 시스템으로 구성하였다. 직류 고전압 발생장치, 데이터 수집 모듈 및 출력부로 구성된다. 인가되는 전압에 따른 누설전류를 동시에 검출할 수 있도록 설계하였다[7].

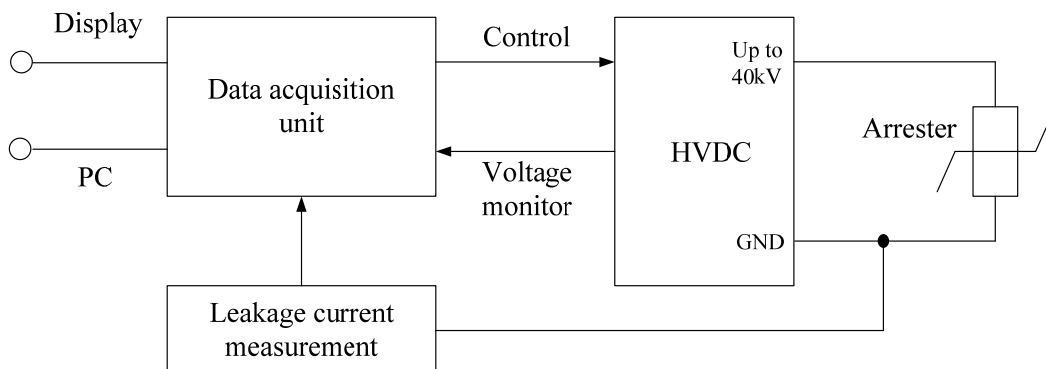


Fig. 3 Block diagram

누설전류는 동작개시전압 이하에서 흐르는 전류로, 급전계통의 정격전압(1.5kV)에서 피뢰기에 흐르는 전류를 측정하였다. 기준전압은 누설전류 1mA가 흐르는 직류 전압으로, 직류 고전압 발생장치로 전압을 증가시켜 1mA가 흐를 때 전압을 측정하였다.

2.2.2 열화 특성

뇌 충격전류의 인가 횟수에 따른 누설전류 및 기준전압의 추이를 Fig. 4와 Table 2에 나타내었다. 누설전류는 열화가 진전됨에 따라 선형적으로 증가하는 경향이 나타났다. 초기값은 44.11 μ A이고, 1,000회 인가 후 57.91 μ A로 31.28% 증가하였다. 하지만 기준전압은 뇌 충격전류 인가 횟수에 따라 낮은 변화율로 감소하였다. 초기값 및 1,000회 인가 후 측정값은 각각 3.65kV, 3.61kV로 감소율은 1.09% 이다.

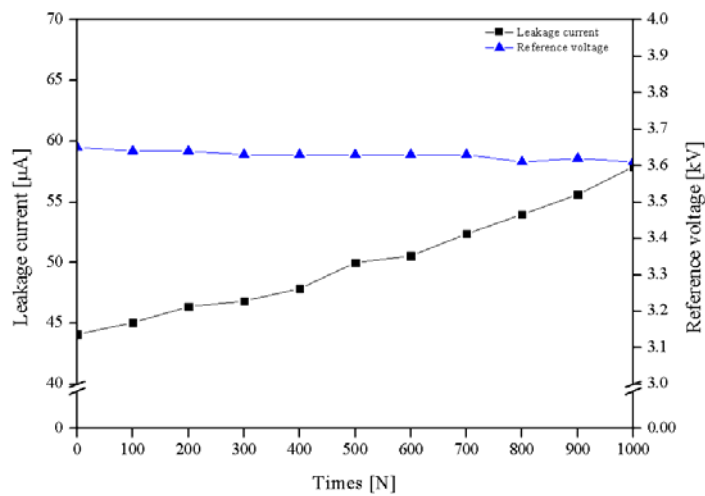


Fig. 4 Variation of leakage current and reference voltage

Table 2 Measurement values of leakage current and reference voltage

Times	Leakage current		Reference voltage	
	Value [μ A]	Increasing rate [%]	Value [kV]	Decreasing rate [%]
0	44.11	-	3.65	-
100	45.07	2.17	3.64	0.27
200	46.37	5.12		
300	47.86	6.18	3.63	0.55
400	80.01	8.51		
500	50.01	13.38		
600	50.57	14.64		
700	52.38	18.75	3.61	1.09
800	53.98	22.38		
900	55.61	26.07	3.62	0.82
1,000	57.91	31.28	3.61	1.09

열화 진전에 따라 저항분 누설전류는 증가하고, 산화아연 소자의 비선형 저항특성이 저하되어 기준전압이 낮아졌다.

3. 결 론

본 논문에서는 철도 차량용 피뢰기의 건전성 기준을 확보하기 위하여 뇌 충격전류에 의한 열화 진전 특성에 관하여 분석하였다. 피뢰기의 열화 특성을 관찰하기 위하여 8/20 μ s, 5kA의 표준 뇌 충격전류를 1분간격으로 인가하여 가속열화 실험을 수행하였다. 기준전압은 초기값 대비 1.09% 감소, 저항분 누설전류는 31.28% 증가하였다. 기준전압 및 누설전류 변화로 피뢰기의 상태 진단이 가능하며 향후 가속열화 실험을 통한 열화 특성 분석은 피뢰기의 건전성 기준 및 잔여 수명 예측을 위한 기초자료로 활용 될 것이다.

후 기

본 연구는 2015년 미래창조과학부 및 연구개발특구진흥재단의 기술이전화 사업 지원으로 수행되었음.

참고문헌

- [1] G.S. Kil, J.S. Han, M.S. Han (2004) A study on the deterioration progress of railway arresters, *Journal of the Korean Society for Railway*, 7(4), pp.93-97.
- [2] G.S. Kil, J.Y. Song, I.K. Kim, S.B. Moon, et al. (2006) Diagnostic techniques of lightning arresters for DC electric traction vehicles, *Journal of the Korean Society for Railway*, 9(4), pp.357-361.
- [3] Credson de Salles, Manuel L.B. Martinez, Alvaro Antonio Alencar de Queiroz (2011) Ageing of metal oxide varistors due to surges, *International Symposium on Lightning Protection*, Fortaleza, Brazil, pp.171-176.
- [4] V.S. Brito, G.R.S. Lira, E.G. Costa (2013) Methodology for decomposition of the leakage current in metal oxide surge arresters, *International Symposium on High Voltage Engineering*, Seoul, Korea, pp.2156-2161.
- [5] E.T. Wanderley Neto, E.G. da Costa, T.V. Ferreira, M.J.A. Maia (2006) Failure analysis in ZnO arresters using thermal images, *IEEE/PES Transmission & Distribution Conference and Exposition : Latin America*, Caracas, Venezuela, pp.1-5.
- [6] H.K. Lee, J.J. Kim, S.W. Chang, K.D. Kwack (2006) Accelerated life test for ZnO varistor, *Autumn Conference of the Korean Society of Mechanical Engineers*, pp.13-18.
- [7] G.W. Jeong, S.J. Kim, G.S. Kil, H.C. Park (2013) I-V characteristic analyzer of lightning arresters based on LabVIEW, *Autumn Conference of the Korean Society for Railway*, Changwon, Korea, pp.465-469.