

직류전동차 탑재용 피뢰기의 최적선택에 관한 연구

차명수, 송재용, 김일권, 길경석, 이대성*, 박재규*
한국해양대학교, (주) 로템*

A Study on the Best Selection of Lightning Arrester for DC Electric Traction Vehicles

Myung-Soo Cha, Jae-Yong Song, Il-Kwon Kim, Gyung-Suk Kil, Dae-Sung Lee*, Jae-Kyu Park
Korea Maritime University, Rotem co.*

Abstract - This paper describes a selection and application recommendations of ZnO arresters on DC electric traction vehicles. We measured and analyzed the system voltages applied to arresters and the surge currents flowing arresters on DC electric traction vehicles under operation to decide the Continuous Operating Voltage(Uc), the Rated Voltage(U_R), and the Nominal Discharge Current(I_n). System voltages measured up to 1,800 V during anti-breaking in 1,500 V-system, and surge currents were recorded up to 3 times per running-service-route and their magnitudes were ranges of 150 A ~ 2 kA.

From these results and the standard EN50163, we proposed the Continuous Operating Voltage(Uc) the Rated Voltage(U_R) for the 1,500 V_{dc} electric traction vehicles.

정도이고, 이를 연간으로 환산하면 최소 1,000회 이상 서지에 대한 피뢰기의 보호동작이 이루어지는 것으로 추정된다. 또한 1.5 kA 이상의 전동차 설비에 직접적인 영향을 줄 수 있는 서지전류도 4회 이상 관측되었다.

1. 서 론

과도전압은 정상운전전압보다 최대 십 수배에 달하므로 과도과전압의 침입시 계통에 연계되어 있는 애자, 부싱, 변압기, 차단기 등의 전력설비와 각종의 저압용 전기·전자·신호·통신 기기의 절연을 위협하게 된다. 이에 대해 경제적, 기술적으로 가장 효과적인 대책은 전압-전류의 비선형 저항특성이 우수한 산화아연(ZnO)형 피뢰기(Lightning Arrester)를 기기 또는 선로에 병렬로 설치하는 것이다^{[1][2]}. 과도전압의 발생은 교류시스템에서만 아니라 전기철도를 중심으로 하는 직류시스템에서도 광범위하게 적용되고 있다. 그럼에도 불구하고 현재까지 피뢰기에 대한 열화특성, 설치장소에서 과도전압의 발생빈도, 열화진단기술 등은 대부분 교류시스템을 중심으로 연구되어 왔으며, 직류시스템에서는 단순히 계통의 공칭전압과 방전내압에 대한 부분만을 고려하고 있다^{[3]-[7]}.

피뢰기는 사용 환경에서의 열화, 부적절한 선정 등에 의해 정상운전전압에서도 누설전류에 의해 과열되고, 열폭주에 도달하면서 단락으로 인한 지락사고로 진전하여 2차적인 인적·물적 사고를 유발시킨다. 따라서 운전상태에서의 피뢰기 열화에 관한 것뿐만 아니라 최초 선정에서 설치장소의 환경 등을 고려하여 최적의 전압특성과 과도전압에 대한 보호특성을 가지도록 하는 것이 바람직하다.

이러한 배경으로부터 본 논문에서는 직류전동차 탑재용 피뢰기를 대상으로 설치환경에 대한 분석과 국제규격 검토를 통하여 최적선택에 관한 연구를 수행하였다.

2. 본 론

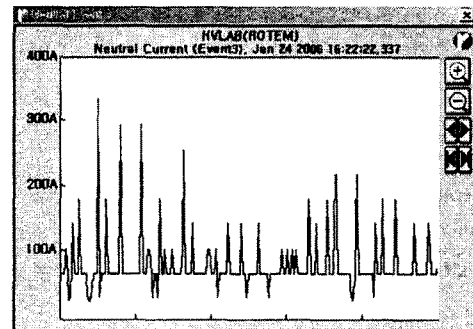
2.1 현장측정 및 분석

피뢰기 선정에 있어서는 설치장소 또는 환경조건에 대한 분석이 선행되어야 한다. 특히 피뢰기 열화의 주된 요인으로는 외부로부터 침입하는 서지와 운전상태에서 운전전압의 일시적인 상승에 의한 운전과전압이 대부분을 차지한다. 직류전동차의 경우에는 주요 구동장치로 직류전동기를 적용하고 있기 때문에 전동기 제어를 위한 인버터의 사용이 많고, 제동방식으로 회생제동 방식을 사용하는 경우가 많다. 이는 인버터 사용에 의한 서지 발생빈도의 증가와 회생제동에 의해 운전전압이 상승하는 효과를 가져 올 수 있다. 따라서 피뢰기의 선정에 앞서 전동차 운행구간에서의 서지 발생빈도와 급전계통에서 전동차에 공급되는 가선전압의 변동에 대한 정확한 측정과 분석이 필수적이다.

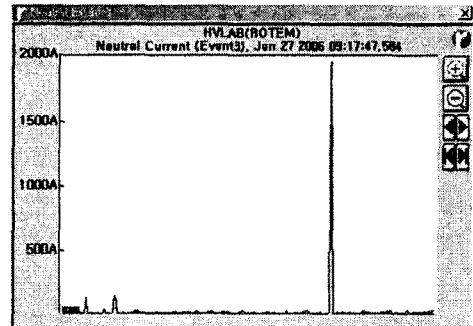
본 연구에서는 피뢰기 접지측에 로고스키 코일과 전력분석기를 적용하여 서지 발생빈도를 측정·분석하였으며, 급전계통에서 전동차로 전압이 공급되는 팬트그래프(pantograph)측에 고전압 프로브를 설치하여 가선전압의 변동을 측정하였다.

현장측정은 1회 운행 기준 왕복 2시간 30분이 소요되는 실제 운행구간에서 실시하였으며, 총 3회의 현장측정으로부터 서지전류의 크기와 발생빈도, 각 구간의 최대전압과 상시전압을 측정하였다.

먼저 서지전류에 대한 측정결과로, 측정된 서지전류의 크기는 그림 1에 나타낸 바와 같이 약 150 A ~ 2 kA 사이의 값으로 발생빈도는 1회 운행시 대략 1 ~ 3회 정도의 서지전류가 발생하는 것으로 측정되었다. 측정 대상 운행구간에서 전동차의 운행횟수는 1일 4 ~ 7회 정도 운행되며, 2일 운행 후 1일 정지 및 점검의 형태로 운용되므로 1일 서지 발생빈도는 5 ~ 20회



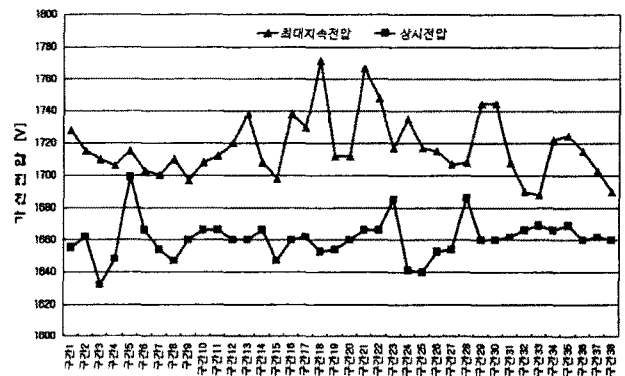
(a)



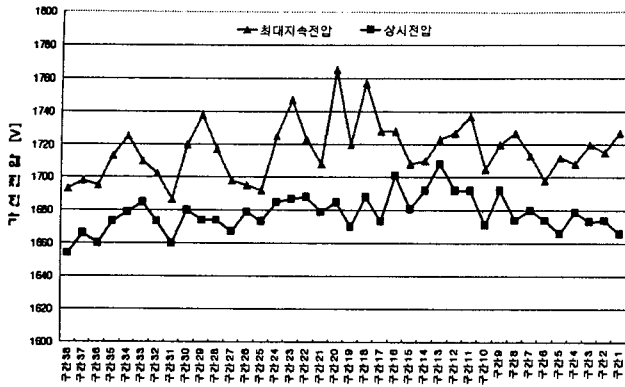
(b)

<그림 1> 측정된 서지전류의 예

가선전압의 변동에 대한 측정결과는 그림 2와 같이 얻어지는데, 측정대상 전동차는 회생제동 방식을 사용하는 시스템으로 급전계통의 공칭전압은 1,500 V이지만, 상시전압이 전구간에서 공칭전압보다 높게 관측되었다. 또한 최대전압의 경우에는 1,700 V와 1,800 V 사이에서 측정되는데, 현재 이 시스템에 설치되어 있는 피뢰기는 최대연속사용전압(MCOV; maximum continuous operating voltage)이 1,650 V인 것으로 현장측정결과로 볼 때, 상시운전전압에서도 열화가 발생할 수 있는 위험성을 가지고 있다.



(a) 상행



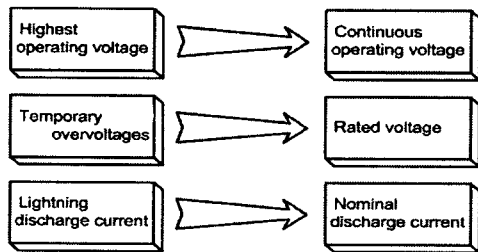
(b) 하행

〈그림 2〉 가선전압 변동

이러한 경우에는 서지에 대한 보호동작으로 피뢰기의 열화가 발생하게 되면, 운전과전압에 의해 보장된 수명보다도 더욱 빨리 열화 및 손손이 발생할 수 있을 것이다.

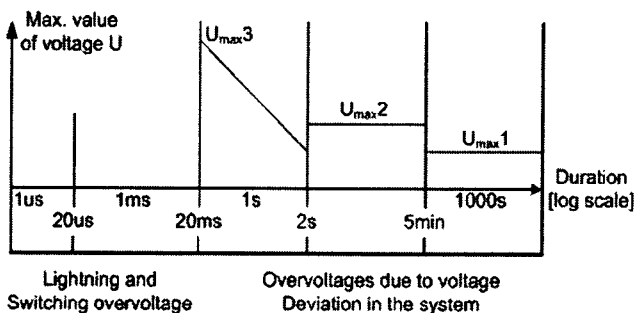
2.2 피뢰기 최적선정에 대한 검토

현장 측정 결과로부터 본 연구의 측정대상 전동차의 경우에는 서지전류의 발생빈도는 연간 1,000회 이상으로 추정되며, 서지전류의 크기는 최대 2 kA까지 측정되었다. 또한 가선전압의 변동은 공칭전압에 비해 최대 20% 정도의 변동이 발생하고, 상시전압도 1650 V 이상으로 측정된다. 이러한 피뢰기 설치 환경 조건에 대한 분석 결과, 그림 3에 나타난 것과 같이 급전제통의 최대전압으로부터 피뢰기의 최대연속 사용전압을 결정할 수 있으며, 5 분 이상 나타나는 일시적인 과전압의 크기로부터 정격전압을 선정할 수 있다. 그림에 나타난 것과 같이 서지전류의 크기는 피뢰기의 방전내량을 결정하는 중요한 파라미터가 된다.



〈그림 3〉 피뢰기 선정을 위한 중요 파라미터

특히, 가선전압의 변동은 피뢰기의 정격전압과 최대연속사용전압을 결정하는 요소로 직류철도에 관한 규격 EN50163에서 정의하는 전압범위를 고려해야 한다^[8]. 이 규격에서는 공칭전압보다 초과하는 범위의 전압을 그림 4와 표 1에서와 같이 구분하고 있으며, U_{max1} 에 의해 최대연속사용전압을 선정해야 하며, U_{max2} 에 대한 정의로부터 정격전압을 선정할 수 있다. 본 연구에서 대상으로 한 직류전동차의 경우는 공칭전압이 1,500 V이므로 최대연속 운전전압(U_{max1})의 크기가 1,800 V까지 상승할 수 있기 때문에 피뢰기 선정에 있어 최대연속사용전압은 최소 이 전압 이상이 되어야 하며, 일시적으로 발생하는 과전압 U_{max2} 가 1,950 V이므로 정격전압은 2,000 V 이상으로 하는 것이 적합하다. 단, 위의 조건에서 피뢰기를 선정할 때는 단순히 현장측정 결과의 전압변동에 대한 것을 바탕으로 최대연속 사용전압(U_c)과 정격전압(U_r)을 결정할 것으로 서지전류에 대한 피뢰기의 잔류전압(residual voltage)레벨과 피보호 기기의 절연레벨(BIL, Basic Impulse Insulation Level)은 고려하지 않았다.



〈그림 4〉 시간에 따른 전압의 구분(EN50163)

〈표 1〉 직류 전차선로의 전압

Electrification System	Nominal voltage U_n	Highest permanent voltage U_{max1}	Highest non-permanent voltage U_{max2}	overvoltages U_{max3}
D.C. (mean values)	600	720	770	
	750	900	950	1269
	1500	1800	1950	2538
A.C. (rms values)	3000	3600	3900	5075
	15000	17250	18000	24311
	25000	27500	29000	38746

현재 적용되고 있는 피뢰기의 정격전압은 2,000 V이고, 최대연속사용전압은 1,650 V이므로, 현장측정결과와 EN50163의 규격을 분석해볼 때 정상적인 운전상태에서도 피뢰기 열화가 발생할 가능성이 있으며, 서지에 대한 반복동작으로 피뢰기의 열화가 발생한 경우에는 운전전압에 의해 열화가 급속도로 진전되어 2차 사고를 유발시킬 수 있는 것으로 생각된다.

본 논문의 내용은 특정시간대 직류전동차 운전 중 가선전압(pantograph)의 변동과 서지 발생빈도의 측정결과로부터 제시된 것으로, 모든 차량의 운행조건에 적용되는 것은 아니지만 동일 사양으로 설계된 직류전동차 탑재용 피뢰기의 선정 자료로 충분히 활용될 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 직류전동차 탑재용 피뢰기를 대상으로 현장측정과 분석, 국제규격을 고려하여 최적의 선정기준을 제시하였다.

현장측정결과, 서지전류의 발생빈도는 전동차 1회 운행시 3회 정도 발생하는 것으로 측정되었으며, 연간으로 환산할 경우 최소 1,000회 이상의 서지가 발생하는 것으로 추정된다. 또한 서지전류의 크기는 150 A ~ 2,000 A 범위에서 발생하는 것으로 측정되었다.

가선전압의 변동은 공칭전압 1,500 V에 비해 20% 이상 변동이 발생하였으며, 최대 1,800 V까지 측정되었다.

따라서 본 연구에서 적용한 직류전동차의 경우에는 현장측정결과와 국제규격 EN50163을 고려할 때 정격전압 2,000 V 이상, 최대연속사용전압은 1,800 V 이상의 피뢰기를 적용하는 것이 바람직한 것으로 평가되었다.

본 논문의 내용은 특정 급전제통에 운용 중인 직류전동차를 대상으로 한 현장측정결과로부터 선정조건을 제시한 것이기 때문에 모든 직류전동차에 일괄적으로 적용할 수는 없지만 동일 사양으로 설계된 직류전동차 탑재용 피뢰기 선정 자료로 충분히 활용될 수 있다. 또한 본 논문에서 제안한 것과 같이 서지전류의 발생빈도 및 크기, 가선전압의 변동에 대한 측정과 분석이 선행된다면, 최적의 피뢰기 선정이 가능할 것으로 판단되며, 이러한 선정기법의 의해 피뢰기로 인한 사고예방을 최소화함으로써 직류 전기철도 운용의 신뢰성을 향상시킬 수 있을 것이다.

감사의 글

본 논문은 (주)로템의 연구비 지원에 의하여 수행되었음.

참고 문헌

- [1] R.A.Sargent et al., "Effects of Multiple Impulse Currents on the Microstructure and Electrical Properties of Metal-oxide Varistors", IEEE Transaction on Electrical Insulation, Vol.27, No.3, pp.586-592, 1992.
- [2] Peter Hassel, Overvoltage protection of low-voltage systems, The Institution of Electrical Engineers, 2004.
- [3] IEC 60099-4, Surge arresters- Part 4: Metal-oxide surge arresters without gaps for a.c. systems, International Electrotechnical Commission, 2003.
- [4] IEC 60099-5, Surge arresters- Part 5: Selection and application recommendations, International Electrotechnical Commission, 2001.
- [5] K.Denno, High Voltage Engineering in Power System, pp.31~37, 1992.
- [6] S.Shirakawa et al., "Maintenance of surge arrester by a portable arrester leakage current detector", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.3, No.3, pp.998-1003, 1988.
- [7] 酸化亜鉛形避雷器の特性評価試験法調, 酸化亜鉛形避雷器の特性評価試験法調査専門委員会委員, 日本電氣學會技術報告 第474号, 1993.
- [8] EN50163, Railway applications- Supply voltages of traction systems, 1988.