

전차선로용 피뢰기 진단기법 적용 연구

한문섭*, 장동욱*, 정호성*, 김경석**

*한국철도기술연구원, **한국해양대학교

Practical diagnostic technique for catenary surge arrester in electric railway

Han Moonseob*, Jang Donguk*, Jung Hosung*, Kil Gyung-suk**

*Korea Railroad Research Institute, **Korea Maritime University

Abstract - This paper describes the measurement result of leakage current flowing arrestors connected in catenary line to propose an optimal management methods. 27 arrestors set in 7 locations were tested. The leakage currents are included a harmonics of electric train during the operation of electric train in feeding section and in case of feeding earthing system.

1. 서 론

전기철도용 변전소와 전차선로에는 자연현상에서 발생하는 직격뢰와 유도로에 의한 과도전압과 내부 급전계통 운영에 필요한 차단기의 동작 전력변환기기의 사용으로 나타나는 개폐과전압이 발생하며 이를 과전압은 정상 운전전압에 비하여 최대 십 수배로 전력설비를 손상시킬 수 있는 큰 에너지를 가진다. 피뢰기는 이를 과전압으로부터 전력계통에 설치된 변압기 차단기 등과 같은 증진기기의 절연레벨 이하로 억제시켜 전력설비를 보호하는 역할을 한다.

본 논문에서는 전차선로에 설치되어 있는 피뢰기의 적절한 관리방안을 제시하기 위하여 피뢰기가 설치되어 있는 개소를 선정하여 피뢰기의 누설전류를 측정하고 측정 결과로부터 전철용 피뢰기에 대한 관리방안과 누설전류 기준에 대하여 기술하였다.

2. 본 론

2.1 피뢰기 진단

그림 1에 산화아연형 피뢰기의 전기적 등가회로 및 운전중 피뢰기 누설전류와 인가전압과의 관계를 나타내었다. I_c 와 I_r 는 각각 용량분 누설전류와 전체 누설전류를 나타내며, I_s 은 ZnO 소자의 입체증간에 형성된 쇼트키(Schottky) 장벽의 변화에 의한 저항분 누설전류로 그 값이 변화하는 것을 나타낸다.

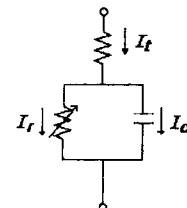
피뢰기에 정현파 교류전압이 인가되면 그림 1(b)와 같이 인가전압에 $\pi/2$ 앞선 큰 용량분 누설전류와 동시에 미소 저항분 누설전류가 흐르게 된다. 피뢰기는 상용주파수 교류 과전압이나 뇌충격전류에 의하여 열화가 진전되며, 이 때 용량분 누설전류는 열화진전에도 거의 변화가 없다.

저항분 누설전류는 피뢰기의 열화진전에 따라 지속적인 증가를 나타내며, 또한 저항분 누설전류의 변화가 전체 누설전류의 고조파 성분을 증가시키게 된다. 그러므로 피뢰기 진단을 위해서는 저항분 누설전류의 측정이 필수적이며, 전체 누설전류 중에서 저항분 누설전류를

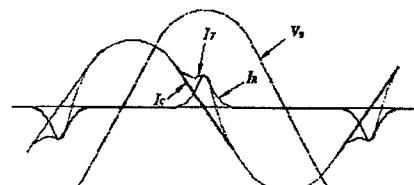
분리하는 방법은 몇 가지가 발표되어 있다.

현재는 저항분 누설전류의 변화가 전체 누설전류 중에 포함된 제3고조파 누설전류 성분의 변화 경향과 유사하기 때문에 저항분 누설전류 대신 제3고조파 누설전류를 측정하는 방법이 주류를 이루고 있다.

한편, 피뢰기에 인가되는 전압이 순수한 정현파가 아닌 고조파 성분이 포함된 정현파라면, 이를 고조파에 의해 피뢰기에 흐르는 저항분 누설전류와 용량분 누설전류의 크기도 변화할 것이므로 누설전류 측정에 의한 열화 진단에 있어 이를 전원고조파의 영향도 고려해야 할 것이다.



(a) 전기적 등가회로



(b) 인가전압-누설전류

그림 1 피뢰기의 전기적 등가회로와
인가전압-누설전류의 상관관계

누설전류를 기준으로 피뢰기를 진단하는 방법은 열화 진전에 따른 전체 누설전류의 실효값과 최대값, 제3고조파 누설전류 성분의 최대값, 전체 누설전류의 제3고조파 성분 누설전류 그리고 저항분 누설전류의 크기 등에 의하여 판단하는 것이다.

2.2 누설전류측정장치

장상운전전압에서 전철용 피뢰기의 누설전류를 검출하기 위하여 그림 2와 같이 클램프형 변류기, 최대 이득 60 dB의 차동증폭기로 구성되는 누설전류 검출장치가 요구된다.

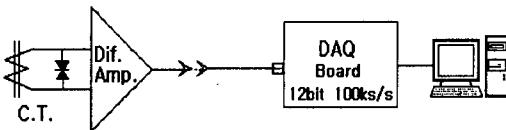


그림 2 누설전류측정 장치 구성

누설전류 검출장치는 최소 $100 \mu\text{A}$ ~ 2 mA 범위의 누설전류 측정이 가능하고, 피뢰기의 정격에 따라 증폭기의 이득조절로 측정범위의 조정이 가능하도록 구성해야 한다.

또한 전력계통의 전압에는 다수의 고조파가 함유되어 있으며, 이를 고조파 전압의 함유율에 따라 피뢰기의 누설전류도 변화하기 때문에 누설전류 검출장치의 주파수 대역이 검토되어야 한다. 주파수 대역의 측정은 고감도 영상변류기에 접지선을 관통시키고 함수발생기에 의해 일정전류가 흐르도록 설정한 상태에서 인가전원의 주파수를 5 Hz ~ 5 kHz 까지 가변시켜서 차동증폭기 출력전압의 측정으로부터 선형성과 주파수 특성을 분석한다.

피뢰기의 누설전류 측정과 분석을 위하여 고역통과필터, 저역통과필터, 주파수 스펙트럼 분석, 파고분석기 등의 알고리즘을 적용하여, 검출된 정보로부터 피뢰기 진단에 필요한 데이터를 얻을 수 있도록 구성한다. 본 연구에서 Labview Ver. 6.0(National Instrument)으로 설계하였으며, 세부사항은 다음과 같다.

- 가. 전체누설전류 및 제3조파 누설전류의 주파수 스펙트럼, 실효값, 최대값 및 평균값
- 나. 전원전압의 주파수 스펙트럼과 실효값
- 다. 전원전압과 전체누설전류의 위상차
- 라. 전체누설전류의 파고분석

누설전류 검출장치로부터의 신호는 12 bit 수직분해능과 200 kS/s 의 샘플링 속도를 가진 DAQ 보드로 입력되며, 입력신호의 범위는 $\pm 0.05 \text{ V} \sim \pm 10 \text{ V}$ 이다. 파고분석용 프로그램은 전체 누설전류의 파형으로부터 파고값을 측정검출하도록 연결하였으며, 파고는 60 sec 동안 저장할 수 있도록 구성하고 $5 \mu\text{A}$ 단위로 구분할 수 있게 설계하였다.

2.3 전차선로용 피뢰기의 진단 적용

전차선로용 피뢰기는 전철변전소 외부에 전차선로위에 설치되어 그 수가 많지 않고 진단을 위한 장치의 설치가 취약하여 피뢰기의 유지보수에 어려움을 겪고 있다. 전차선로용 피뢰기는 주로 BT급전계통의 흡상변압기(BT, Booster Transformer)과 터널 등에 사용되는 케이블을 보호하기 위해 보호하기 위한 설비의 양단에 설비를 한다.

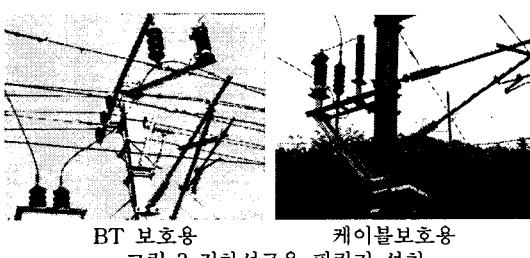


그림 3 전차선로용 피뢰기 설치

본 연구에서 피뢰기 진단을 위해 표 1과 같이 전국 7개소 27개의 피뢰기에 대한 측정을 실시하였다.

표 1 피뢰기 누설전류 측정

위치	측정 피뢰기 수
영동포	7
양평	4
단양	2
충양	4
대전	4
목포	4
삼랑진	4

2.4 측정과 및 검토

25개 측정 피뢰기에 대해 철도급전계통 특성과 설치위치별로 구분하면 다음과 같이 4가지 경우로 대별할 수 있다.

급전방식별로 BT와 AT급전방식이며, AT급전방식별로 고속선의 접지방식과 기존선의 비접지방식, 설치위치별로 주행선로와 차량기지이다.

그림4부터 7까지는 각각 BT급전계통, AT급전계통(비접지방식, 접지방식, 접지방식 차량기지)이다.

그림에서 BT급전계통과 AT급전계통(비접지방식)의 경우 다른 두 경우에 비해 고조파함유가 적은 것을 볼 수 있다. 이는 두 경우 공히 비접지방식을 채용하고 전기차의 운행회수가 적은 구간이기 때문에 전기차가 운행하지 않은 경우에 측정된 것으로 판단된다.

접지방식의 경우 선로상의 귀선인 매설접지가 피뢰기의 접지측과 연결이 되어 전기차의 고조파가 유입이 되는 것으로 판단된다. 특히 차량기지의 경우는 전기차에서 발생하는 고조파가 항상 발생하여 항상 피뢰기 누설고조파가 측정되었다.

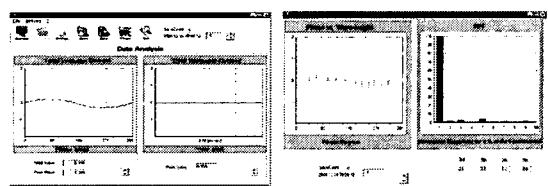


그림 4 BT급전계통

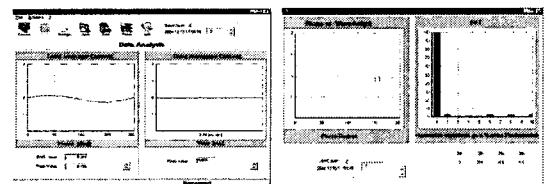


그림 5 AT급전계통 (비접지방식)

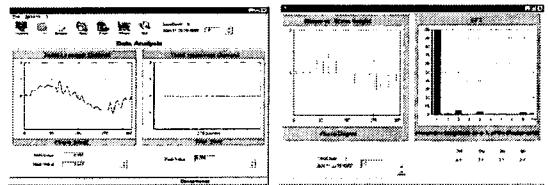


그림 6 AT급전계통 (접지방식)

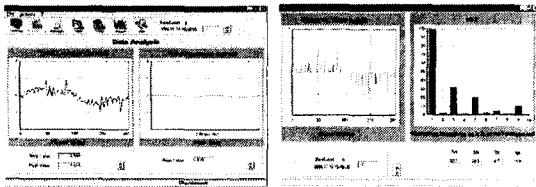
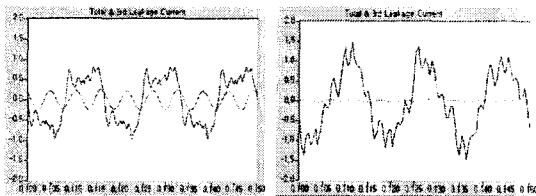


그림 7 AT급전계통(접지방식, 차량기지)

그림8은 측정시 측정결과를 운행중인 전기차의 종류에 따른 고조파전류 파형을 나타내었으며 피뢰기 누설전류가 전기차에서 발생한 것을 입증한다.



전기기관차/KTX VVVF 전동차
그림 8 전기차량에 따른 전류파형

4. 결 론

본 연구에서는 전차선로에 설치된 피뢰기를 전국적으로 7개소 27개를 측정하여 기존 피뢰기 진단기술의 적용성을 판단하였다.

최근에 접지방식을 채택한 급전계통의 경우는 전기차의 고조파의 피뢰기 누설전류로의 유입을 확인하였으며 전기차가 운행하지 않는 시간에 측정하여야 할 것임을 확인하였다.

향후 이 결과를 토대로 피뢰기 측정장치의 개발 및 측정기준을 제시하도록 한다.

[참 고 문 헌]

- [1] S.Shirakawa, F.Endo, H.Kitajima, S.Kobayashi, K.Kurita, K.Goto, M.Sakai(1988), "Maintenance of surge arrester by a portable arrester leakage current detector", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.3, No.3, pp.998-1003
- [2] J.Lundquist et al.(1990), "New method for measurement of the resistive leakage currents of metal-oxide surge arrester in service", IEEE Transaction on Power Delivery, Vol.5, No.4, pp.811-822
- [3] 길경석 한주섭 한문섭 "철도용 피뢰기의 열화진전에 관한 연구" 한국철도학회 논문지, 2004, 제7권 4호, pp.307-311
- [4] 길경석 한주섭 주문노 "누설전류 측정에 의한 피뢰기 열화진단에 있어 전원고조파의 영향", 2003, 대한전기학회 논문지, 제52 C권 1호, pp.42-46
- [5] 길경석 한주섭 서황동 "피뢰기 진단장치의 설계 및 제작" 대한전기학회 논문지, 2004, 제53 C권 11호, pp.572-576