

철도용 피뢰기 진단기술 및 장치

Diagnostic Technique and Device for Railway Arresters

김경석*
Kil, Gyung-Suk

한주섭**
Han, Ju-Seop

장동욱***
Jang, Dong-Uk

ABSTRACT

Various deterioration diagnostic techniques and devices are suggested, and most of which measure leakage current components as an indicator of arreser ageing. However, the techniques based on the magnitude of leakage current measure simply RMS or peak value of leakage current components and do not provide detailed information needed in the diagnosis.

In this study, we found that the phase vs. wave height of total leakage current is changed or a new wave height is produced with arreser ageing. To complete the new technique, we designed an arreser diagnostic device which is composed of a current detection circuit, an optical transmission circuit, and an analysis program. After measurement of the total leakage current, magnitudes, phase vs. wave height, and harmonics of the leakage current components are analyzed by the microprocessor based device.

From the experimental results, we confirmed that the device can measure most parameters needed for the arreser diagnostics and analyze an initial deterioration state.

1. 서 론

전력계통에서 이상전압에 대한 기술적, 경제적으로 가장 효과적인 대책은 전압-전류의 비선형 저항특성이 우수한 ZnO 피뢰기를 기기 또는 선로에 병렬로 설치하는 것이다. 비선형 저항 특성이 우수한 ZnO 피뢰기도 제조사의 결함이나 사용 환경에서의 흡습이나 이상전압에 대하여 반복되는 보호동작으로 열화가 진전되며, 열화된 피뢰기가 계통에 설치되어 있으면 정상운전전압에서도 지락사고를 유발시킬 수 있다.

따라서 피뢰기의 열화 정도를 상시 관측하여 열화된 피뢰기를 사전에 제거함으로써, 피뢰기로 인한 사고를 예방하기 위한 열화진단기술의 개발이 필요하다. 현재까지 발표된 열화진단기술에는 피뢰기의 제한전압, 방전전류, 손실전력, 누설전류, 정전용량 등을 측정하는 것이 있으며, 그 중에서도 운전 중인 피뢰기의 누설전류를 측정하여 열화를 진단하는 방법이 광범위하게 사용되고 있다. 누설전류를 기준으로 피뢰기를 진단하는 방법은 열화진전에 따른 저항분 누설전류의 증가분을 대신하여 전체 누설전류의 실효값과 최대값, 제 3조파 누설전류 성분의 최대값에 의하여 판단하는 것으로 어느 정도 열화가 진행된 경우에 적용이 가능하다.

본 논문에서는 피뢰기 특성과 진단기술에 관한 연구 경험을 바탕으로 기존 방법에 비해 좀더 정확하고 신뢰성 있는 진단 기술을 제안하였으며, 누설전류의 크기, 고조파 분석, 위상-파고 등의 측정과 분석이 가능한 피뢰기 진단장치를 개발하였다. 누설전류 검출센서는 기존의 규소강판 소재 대신 망간 코어를 사용하는 고감도 영상변류기를 적용하고 광신호 전송회로를 추가하여 신호전송 시 주변 전자계에 의한 영향을 최소화하였으며, 마이크로프로세서를 기반으로 누설전류 성분들의

* 한국해양대학교 부교수, 정회원

** 한국해양대학교 Post-doc., 정회원

*** 한국철도기술연구원 주임연구원, 정회원

측정과 분석을 위한 각종의 알고리즘을 설계하였다. 본 연구에서 개발한 피뢰기 진단장치는 누설 전류의 측정 이후 모든 과정이 마이크로프로세서로 처리되므로 회로 구성이 간단하고 분석이 신속한 특징이 있다.

2. 열화진단기술

ZnO 소자의 전기적 등가모델은 그림 1(a)와 같다. R_{gb} 는 입계층의 전위장벽에 생기는 비선형 저항이고, C_g 는 ZnO 입자와 입자사이의 정전용량을 나타낸 것이며, I_T , I_R , I_C 는 각각 전체 누설 전류, 저항분 누설전류와 용량분 누설전류를 나타낸다. 그림 1(b)는 ZnO 소자를 흐르는 누설전류의 파형 예를 나타낸 것이다. 전체 누설전류는 인가되는 전압과 동상인 저항분 누설전류와 위상이 $\pi/2$ 앞선 용량분 누설전류의 합으로 나타나며, 용량분 누설전류가 저항분 누설전류에 비해 훨씬 크다.

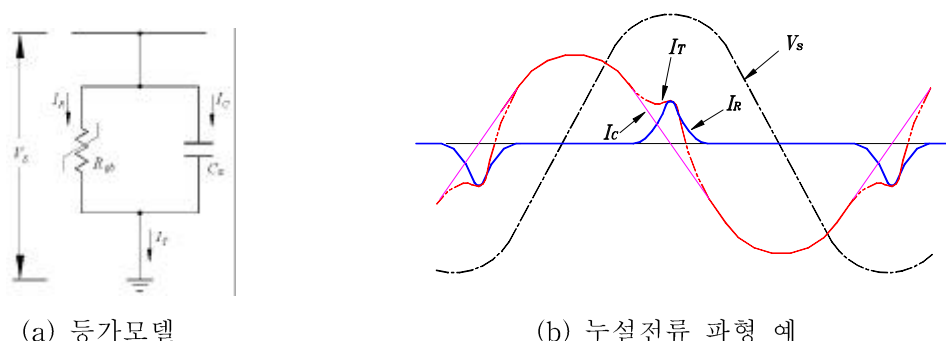


그림 1. 전기적 등가모델과 누설전류의 파형 예

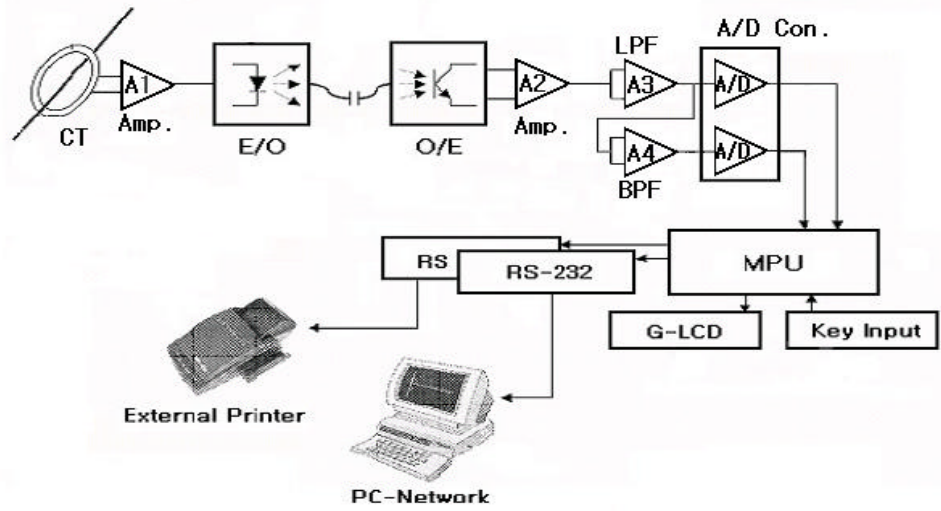
ZnO 소자의 열화시 저항분 누설전류는 증가하지만 용량분 누설전류는 거의 변화를 나타내지 않기 때문에 저항분 누설전류는 피뢰기 열화진단에 중요한 척도가 된다. 그러나 저항분 누설전류는 전체 누설전류 중에 포함되어 있고 측정과 분석에 복잡한 회로구성과 알고리즘이 요구되므로, 저항분 누설전류와 동일한 변화 경향을 나타내는 제 3조파 누설전류의 크기를 대신하여 진단지표로 하는 방법이 일반적이다. 이와 같이 피뢰기는 열화 진전에 따라 저항분 누설전류의 증가로 전체 누설전류의 파형이 변화하면서 전체 누설전류의 고조파 성분의 크기가 달라지며, 그림 1(b)에 나타난 바와 같이 위상-파고도 달라지게 된다.

전체 누설전류의 최대값이나 실효값은 저항분 누설전류의 증가로 현저한 변화를 나타내지 않으므로 초기 열화는 진단이 어렵지만, 저항분 누설전류는 용량분 누설전류와 $\pi/2$ 의 위상차를 가지므로 전체 누설전류 0점 부근에서 누설전류의 크기 즉, 위상-파고를 분석하면 초기의 미소한 열화의 분석도 가능하다. 결국, 피뢰기 진단에는 전체 누설전류와 제 3고조파 누설전류의 크기는 물론 누설전류의 주파수 분석, 위상-파고의 변화를 분석하여야 한다.

3. 피뢰기 진단장치

3.1 설계 및 제작

본 논문에서 설계한 진단장치의 구성과 사진을 그림 2에 나타내었으며, 누설전류 검출부, 신호 전송부, 신호처리 및 분석 회로부, LCD 표시부, 그리고 출력장치부로 구성되어 있다.



(a) 구성도



(b) 외 형

그림 2. 피뢰기 진단장치의 구성도와 사진

누설전류 검출부는 관통형 별류기, 차동증폭기와 전기-광신호 변환회로를 포함하며, 본체와는 광화이버로 연결되어 있어 주변의 고전자계에 의한 측정오차를 최소화할 수 있는 구성이다.

전기-광신호 변환회로(송신부)는 응답특성이 빠르고 선형성이 우수한 GaAsP계의 발광다이오드를 사용하였다. 송신부에 사용되는 LED는 pn 접합의 단방향 특성이므로 상용주파수 전압이나 정(+) 또는 부(-)극성의 신호를 전송하기 위해서 초기 상태에서 LED에 바이어스 전류를 일정수준 흐르게 함으로써 하나의 LED로 양극성 신호전송이 가능하도록 하였다. 광-전기신호 변환회로(수신부)에는 고속 응답의 포토 다이오드와 전치증폭회로가 내장되어 있는 일체형 광소자를 사용하였다. 마이크로프로세서에서 측정신호의 분석을 위하여 아날로그-디지털 변환에는 수직분해능 12 bit의 고속 샘플링 소자를 사용하였으며, 분석데이터의 출력과 관리를 위하여 그래픽 LCD, 키입력 장치, 프린터 및 RS-232C 포트가 구성하였다.

그림 3은 진단장치의 동작 흐름도를 나타낸 것으로, 측정 후 전체 누설전류의 파형과 크기, 위상-파고, 고조파 함유율 등을 분석하여 출력하며, 측정데이터는 내부메모리에 저장된다.

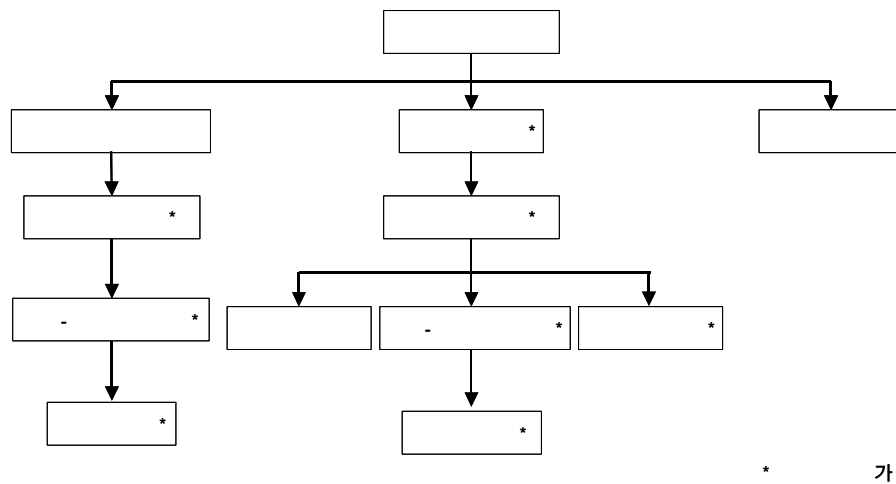
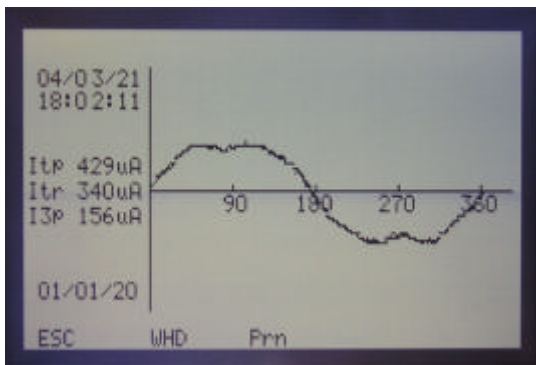


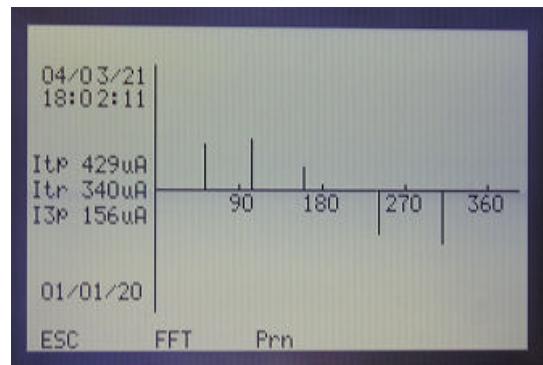
그림 3. 피뢰기 진단장치의 동작 흐름도

3.2 적용 및 평가

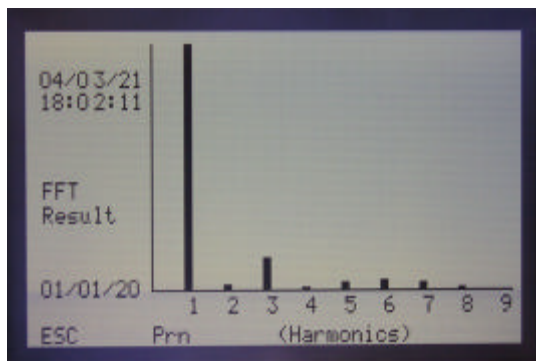
그림 4는 전철용 피뢰기에 사용되는 ZnO 소자에 교류전압을 인가하여 접지선으로 흐르는 전체 누설전류를 측정하고 진단장치에 의해 분석된 결과를 출력한 예이다. 화면 하단에 나타나 있는 메뉴의 선택으로 피뢰기 진단에 필요한 데이터의 분석이 가능하도록 설계하였다.



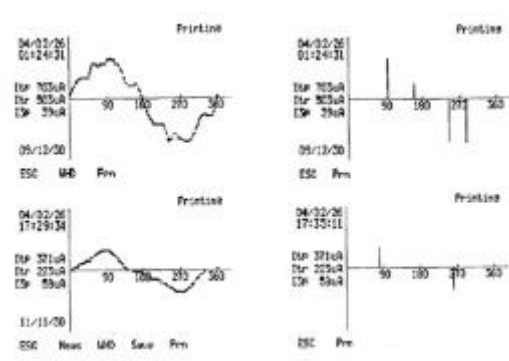
(a) 누설전류 파형



(b) 위상-파고 파형



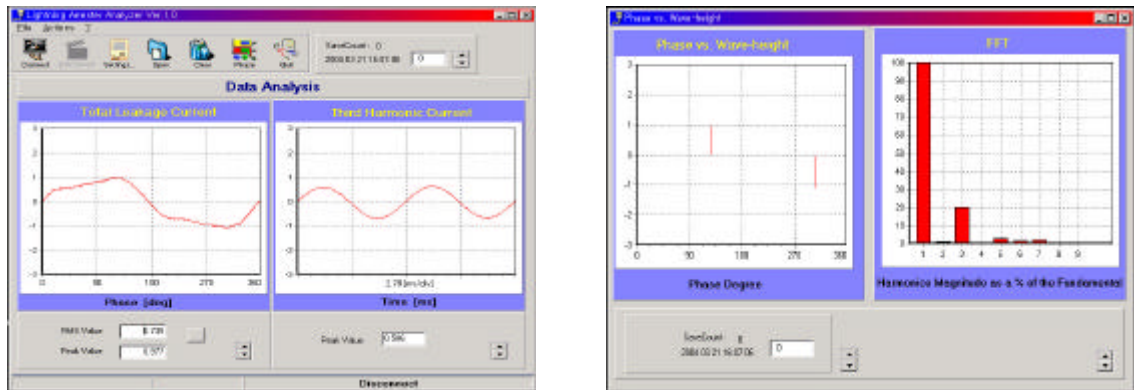
(c) 주파수 분석



(d) 프린터 출력

그림 4. 피뢰기 진단장치 화면 예

그림 5는 진단장치 내부메모리에 저장되어 있는 전체 누설전류 파형을 RS-232C로 전송하여 개인용 컴퓨터에서 분석한 예이다. 장기간에 걸쳐 확보한 데이터를 관리·분석하여 진단장치와 개인용 컴퓨터에서 동일하게 사용될 수 있도록 설계하였으며, 진단장치에서와 마찬가지로 전체 및 제 3조파 누설전류의 파형, 위상-파고, 고조파 분석을 수행할 수 있다.



(a) 누설전류 파형 예

(b) 위상-파고 및 고조파 분석

그림 5. 분석용 프로그램의 화면 예

4. 결 론

본 논문에서는 전철용 피뢰기의 열화진단을 위한 기술과 장치에 대하여 기술하였다. 기존의 방법에 비해 신뢰성 있는 진단을 위하여 전체 누설전류의 위상-파고를 분석하는 새로운 진단기술과 마이크로 프로세서 기반의 피뢰기 진단장치를 개발하였다.

전체 누설전류와 제 3조파 누설전류의 크기는 물론 전체 누설전류의 위상-파고를 분석함으로써 피뢰기의 미소한 열화진전도 진단이 가능하며, 전체 누설전류의 주파수 분석을 통해 진단시 전원 고조파에 의한 오차를 영향을 최소화 할 수 있도록 하였다.

시제작한 피뢰기 진단장치는 고감도 누설전류 측정회로, 광신호 전송회로, 분석회로 및 출력장치 등으로 구성되며, 장기적으로 데이터의 관리와 분석이 가능하도록 설계함으로써 사용자로 하여금 진단의 정확도를 향상시켜 나아갈 수 있도록 하였다.

감사의 글

본 논문은 한국철도기술연구원 주관 철도기술연구개발사업에 의하여 수행되었으며, 관계부처에 감사드립니다.

참고문헌

1. S.Shirakawa, F.Endo, H.Kitajima, S.Kobayashi, K.Kurita, K.Goto, M.Sakai, "Maintenance of surge arrester by a portable arrester leakage current detector", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.3. No.3, pp.998-1003, 1988
2. J.Lundquist et al., "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, 1990
3. Gyung-Suk Kil, Ju-Seop Han et al., "Influence of the Third Harmonic Component in Power System Voltage on Arresters Diagnostics", Proceedings of the XIIIth International Symposium on High Voltage Engineering, pp.151-154, 2003
4. 길경석, 한주섭, 송재용, 조한구, 한문섭, "누설전류의 파고분포 분석에 의한 새로운 피뢰기 진단기술 및 장치", 대한전기학회 논문지, 52C 권12호, pp.562-567, 2003