

Design and Fabrication of a Lightning Arrester Analyzer

吉 曠 碩[†] · 韓 柱 燮^{*} · 徐 煌 東^{**}

(Gyung-Suk Kil · Ju-Seop Han · Hwang-Dong Seo)

Abstract - Various devices for diagnosing arrester soundness are suggested, and most of them simply measure magnitude of leakage current. However, such kind of devices do not provide detailed information needed for the diagnosis. In this study, we designed and fabricated a new arrester analyzer by means of measuring the magnitude, the phase vs. wave height and the harmonics of total leakage currents. The analyzer is composed of a current detector, an optical linker, and a main device operated by a microprocessor. The main device is connected with leakage current detector optically not to be influenced by electromagnetic interference. The analyzer developed measures only total leakage currents, but analyzes most parameters needed for the arrester diagnostics.

Key Words : Lightning Arrester Analyzer, Arrester Diagnostics, Leakage Current, Phase vs. Wave Height, Electrical-Optical Conversion, Optical-Electrical Conversion

1. 서 론

전력계통에서 이상전압에 대한 기술적, 경제적으로 가장 효과적인 대책은 전압-전류의 비선형 저항특성이 우수한 ZnO 피뢰기를 기기 또는 선로에 병렬로 설치하는 것이다. 그러나 ZnO 피뢰기도 제조시의 결함이나 사용 환경에서의 흡습, 이상전압에 대한 반복되는 보호동작으로 열화가 진전되며, 열화된 피뢰기가 계통에 설치되어 있으면 정상운전전압에서도 1선 지락과 같은 사고를 유발시킬 수 있다. 그러므로 전력계통에 설치된 피뢰기의 열화정도를 상시 관측하여 열화된 피뢰기를 사전에 제거함으로써, 피뢰기로 인한 사고를 예방하기 위한 진단기술의 개발이 필요하다[1]-[3].

현재까지 발표된 열화진단기술에는 피뢰기의 제한전압, 방전전류, 손실전력, 누설전류, 정전용량 등을 측정하는 것이 있으며, 그 중에서 운전 중에 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 것이다[2],[4]-[7].

본 논문에서는 누설전류의 크기, 위상-파고, 고조파 분석

이 가능한 피뢰기 진단장치를 개발하였다. 누설전류 검출센서는 기존의 규소강판 소재 대신 망간 코어의 고감도 영상 변류기를 적용하였으며, 누설전류 검출기와 주장치(본체) 사이의 신호 전송에는 주변 전자계에 의한 영향을 받지 않도록 광신호 전송회로(optical linker)를 사용하였다.

본 연구에서 설계한 진단장치는 증폭회로, 광전송회로 및 신호처리회로로 구성되며, 측정장치의 주파수 대역과 유효 측정범위는 각각 7[Hz]~2.8[kHz], 50[μ A]~5[mA]이다. 또한 누설전류의 측정 이후 모든 과정은 마이크로프로세서에서 소프트웨어로 처리되므로 데이터의 관리 및 분석이 쉽다.

2. 설계 및 제작

학술적으로 잘 알려진 바와 같이 ZnO 소자는 열화진전에 따라 저항분 누설전류는 증가하고 용량분 누설전류는 거의 일정하기 때문에 저항분 누설전류는 피뢰기 열화진단에 중요한 척도가 된다[4]-[6]. 그러나 저항분 누설전류는 전체 누설전류 중에 포함되어 있고 측정과 분석에 복잡한 회로구성과 알고리즘이 요구되므로, 저항분 누설전류와 동일한 변화 경향을 나타내는 제 3조파 누설전류의 크기를 진단의 지표로 하고 있다[7],[8].

이와 같이 피뢰기는 열화 진전에 따라 저항분 누설전류의 증가로 전체 누설전류의 파형이 변화하며, 전체 누설전류의 고조파 성분의 크기와 위상-파고도 변화하게 된다. 결국, 피뢰기 진단을 위한 장치는 전체 누설전류와 제 3조파 누설전류의 크기는 물론 누설전류의 주파수 분석과 위상-파고의 분석이 가능하여야 한다[7]-[10].

[†] 교신저자, 正會員 : 韓國海洋大 電氣電子工學部 副教授 · 工博
E-mail : kilgs@hhu.ac.kr

^{*} 正會員 : 韓國海洋大 産業技術研究所 研究員 · 工博

^{**} 學生會員 : 韓國海洋大 電氣電子工學科 碩士課程

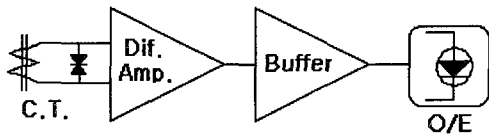
接受日字 : 2004年 8月 17日

最終完了 : 2004年 10月 12日

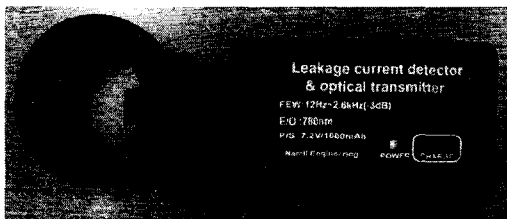
2.1 누설전류 검출기

정상운전전압에서 피뢰기의 누설전류를 측정하기 위하여 그림 1과 같이 구성된 누설전류 검출기를 제작하였다. 관통형 변류기, 증폭도 60[dB]의 차동증폭기와 전기-광신호 변환기(electrical to optical converter)를 포함하며, 본체와는 광파이버로 연결되어 있어 주변의 고전자계에 의한 측정오차를 최소화할 수 있는 구성이다. 전기-광신호 변환기는 응답특성이 빠르고 선형성이 우수한 GaAsP계의 발광다이오드를 사용하였다[11].

전기-광신호 변환기에 사용한 발광다이오드는 pn 접합의 단방향 특성이므로 상용주파수 전압이나 정(+) 또는 부(-) 극성의 신호를 전송하기 위해서 초기 상태에서 발광다이오드에 정(+)의 바이어스 전류를 일정 수준 흐르게 함으로써 한개의 발광다이오드로 양극성 신호전송이 가능하도록 하였다.



(a) 구성



(b) 외형

그림 1 누설전류 검출기
Fig. 1 Leakage current detector

누설전류 검출기의 감도는 1[mV/μA]로 최소 8[μA]부터 최대 5[mA]의 전류를 측정할 수 있으며, 피측정대상인 피뢰기의 정격에 따라 차동증폭기의 2단계 이득조절로 감도조정이 가능하다. 송·변전용 및 배전용 피뢰기(ZnO 피뢰기)에 있어서는 전체 누설전류는 제조사에 따라 차이가 있지만 신제품의 경우 150~300[μA], 열화가 진전함에 따라 600[μA]~2[mA] 정도이다.

철도용 피뢰기(ZnO 피뢰기)의 경우 전력계통에서 사용하는 피뢰기들과 기본적인 구조의 차이는 없으며 피뢰기의 설치환경에 따라 전체 누설전류의 차이는 존재하지만, 전체 누설전류의 범위는 유사할 것으로 생각된다. 본 누설전류 검출기는 피뢰기 열화진단에 충분한 감도와 측정범위를 갖는다. 또한 전력계통전압에는 다수의 고조파가 함유되어 있으며, 이들 고조파 전압의 함유율에 따라 피뢰기의 누설전류도 변화하기 때문에 누설전류 검출기의 주파수 대역이 검토되어야 한다[9],[10].

본 논문에서는 고감도 영상변류기에 접지선을 관통시키고 합수발생기에 의해 일정전류가 흐르도록 설정한 상태에서 인가전원의 주파수를 5[Hz]에서 5[kHz]까지 가변하면서 차동증폭기 출력전압의 측정으로부터 입력-출력의 선형성과 주파수 특성을 분석하였다. 그림 2에 나타난 바와 같이 누설전류 검출기의 -3[dB]의 주파수대역은 7[Hz]~2.8[kHz]이며, 8[μA]~5[mA]까지 입출력의 선형성이 그림 3과 같으므로 피뢰기의 정상운전전압에서 전체 누설전류의 제 7조파 성분까지 왜곡이나 감쇠없이 검출할 수 있는 특성이다.

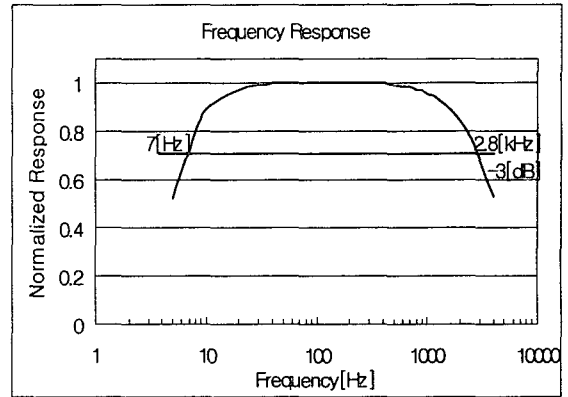


그림 2 누설전류 검출기의 주파수 특성
Fig. 2 Frequency characteristics of the leakage current detector

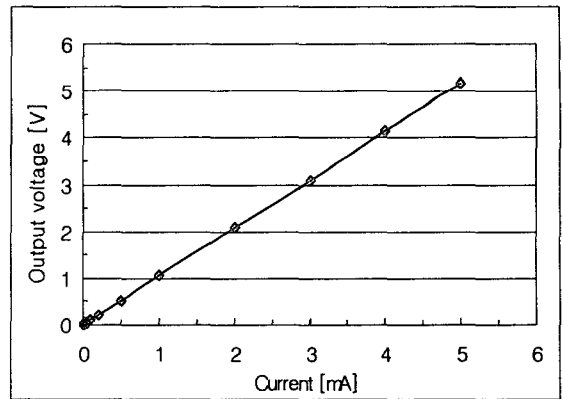
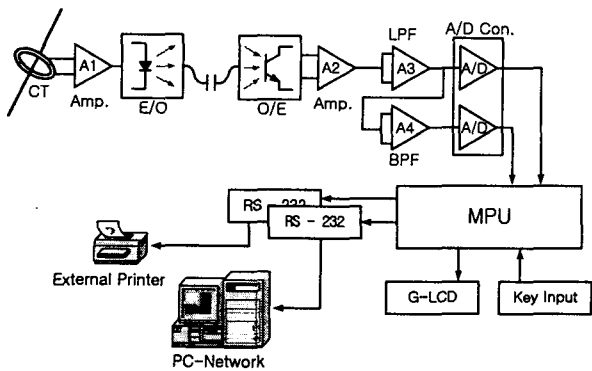


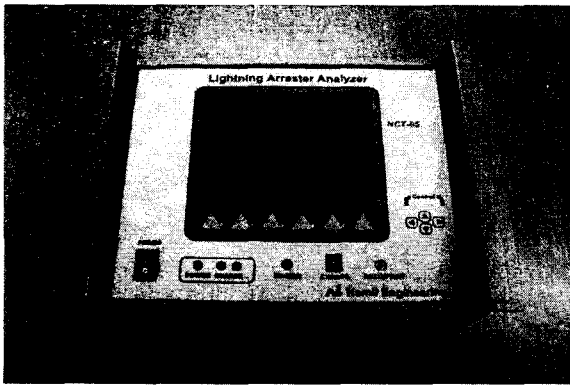
그림 3 누설전류 검출기의 선형성
Fig. 3 Linearity of the leakage current detector

2.2 피뢰기 진단장치

본 논문에서 설계한 진단장치의 구성과 사진을 그림 4에 나타내었다. 광-전기신호 변환기(optical to electrical converter), 신호처리 및 분석 회로, 액정디스플레이, 출력장치로 구성되어 있다. 광-전기신호 변환회로는 고안정 포토다이오드와 전치증폭기가 내장되어 있는 일체형 광소자를 사용하였다. 전송된 아날로그 신호는 마이크로프로세서에서 측정신호의 분석을 위하여 수직분해능 12 bit의 아날로그-디지털 변환기(A/D converter)를 사용하였으며, 분석데이터의 출력과 관리를 위하여 키입력장치, 프린터 및 RS-232C 포트 구성하였다.



(a) 진단장치의 구성



(b) 외형

그림 4 피뢰기 진단장치의 시제작품
Fig. 4 Prototype arrester analyzer

그림 5는 피뢰기 진단장치의 동작 흐름도를 나타낸 것이다. 데이터의 관리 분석을 위하여 초기상태 설정모드에서는 현재시각을 설정하여 데이터의 측정시각이 기록되도록 하였다. 측정 후 전체 누설전류의 파형과 크기, 위상-파고, 고조파 함유율 등은 마이크로프로세서에서 분석되어 내부메모리에 저장된다. 누설전류 파형은 1주기를 출력하며, 전체 누설전류의 고조파 성분은 피뢰기 진단에 있어 기본파의 9조파로 충분하므로 본 장치에서도 9조파까지 제한하였다[1].

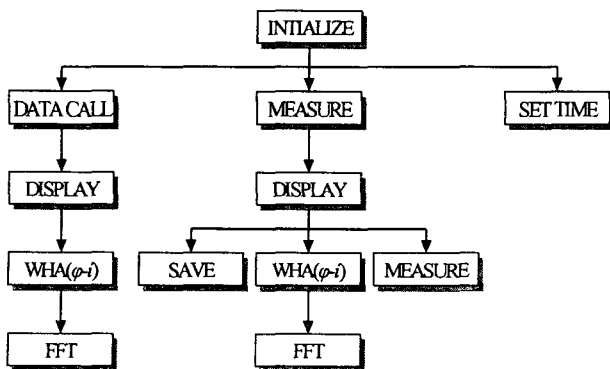
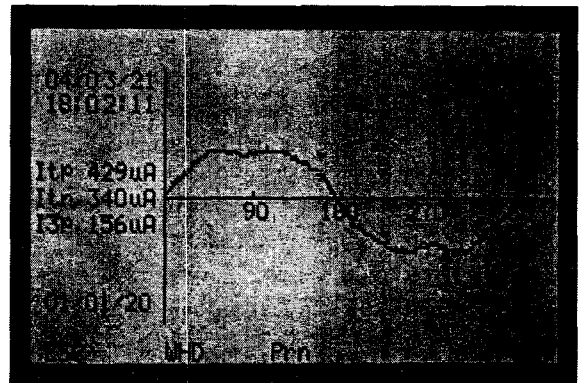


그림 5 동작 흐름도
Fig. 5 Flowchart for the analyzer

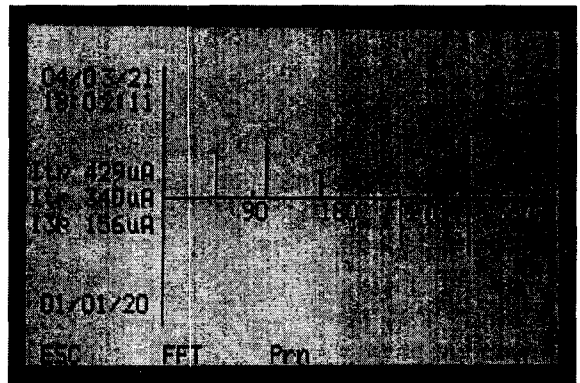
3. 적용 및 평가

그림 6은 피뢰기에 사용되는 ZnO 소자에 교류전압을 인가하여 접지선으로 흐르는 전체 누설전류를 측정하고 진단 장치에 의해 분석된 결과를 출력한 예이다. 각각의 측정과 분석단계에서 결과를 프린트할 수 있으며, 화면 하단에 나타나 있는 메뉴의 선택으로 진단에 필요한 데이터의 분석이 가능하다.

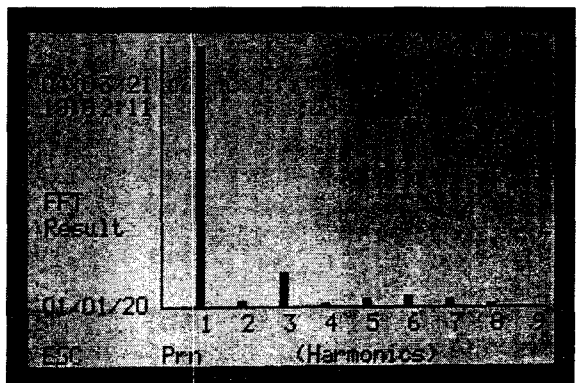
그림 7은 진단장치 내부메모리에 저장되어 있는 전체 누설전류 파형을 RS-232C로 전송하여 개인용 컴퓨터에서 분석한 예이다.



(a) 전체 누설전류의 파형



(b) 위상-파고 분석



(c) 고조파 분석

4. 결 론

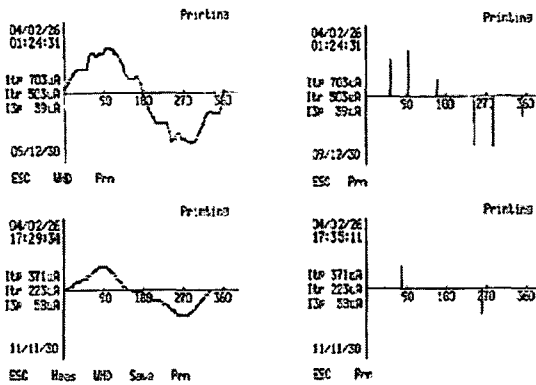
본 논문에서는 피뢰기 진단을 위한 장치의 설계 및 제작에 대하여 기술하였다. 기존 장치들에 비해 신뢰성 있는 진단을 위하여 여러 가지 파라미터를 측정·분석할 수 있는 마이크로프로세서 기반의 피뢰기 진단장치를 개발하였다.

전체 누설전류와 제 3조파 누설전류의 크기는 물론 전체 누설전류의 위상-파고를 분석함으로써 피뢰기의 미소한 열화진전도 진단이 가능하며, 전체 누설전류의 고조파 분석을 통해 진단시 전원고조파에 의한 영향을 고려할 수 있도록 하였다.

시제작한 피뢰기 진단장치는 고감도 누설전류 측정회로, 광신호 전송회로, 분석회로 및 출력장치 등으로 구성되어 있어, 장기적으로 데이터의 관리와 분석이 가능하도록 설계함으로써 사용자가 진단의 정확도를 향상시켜 나아갈 수 있을 것으로 기대한다.

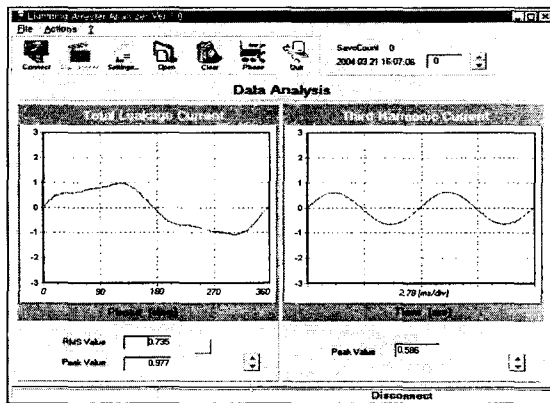
참 고 문 헌

- [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, L. Stensrom, A. Schei, B. Hansen, "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] S. Shichimiya, et al., "Development of advanced arresters for GIS with new Zinc-oxide Elements", *IEEE Transaction on Power Delivery*, Vol. 13, No. 2, pp. 465~471, 1998.
- [4] 岡藤伸夫 外, "酸化亞鉛形避雷器の漏れ電流検出方式の提案", *日本電氣學會電力·エネルギー部門大會*, pp. 850~851, 1994.
- [5] 石崎義弘 外, "避雷器の外部診断技術", *OHM*, Vol. 74, No. 4, pp. 45~50, 1987.
- [6] 石辺信治, "酸化亞鉛形避雷器の劣化診断テクニック", *電氣計算*, Vol. 55, No. 3, pp. 56~60, 1987.
- [7] 길경석, 한주섭, 송재용, 조한구, 한문섭, "누설전류의 파고분포 분석에 의한 새로운 피뢰기 진단기술 및 장치", *대한전기학회논문지*, 52C권 12호, pp. 562~567, 2003.
- [8] 길경석, 한주섭, 김정배, "피뢰기 열화진단을 위한 저항분 누설전류의 측정장치", *대한전기학회논문지*, 53C 권 10호, pp. 469~475, 2003.
- [9] Hanxin Zhu, M.R.Raghuveer, "Influence of Harmonics in Power System Voltage on Metal Oxide Surge Arrester Diagnostics", *Proceeding of 1999 Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena*, pp. 542~545, 1999.

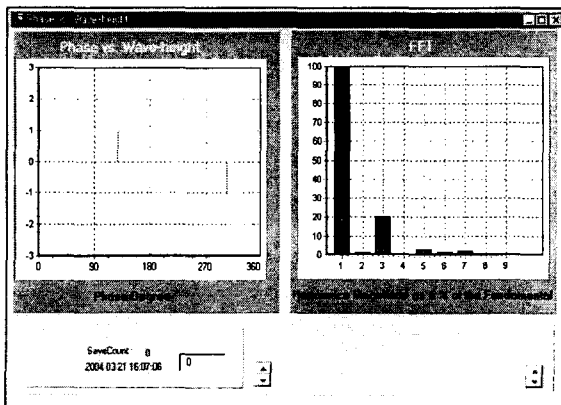


(d) 프린트 출력

그림 6 누설전류의 분석 예
Fig. 6 Example of leakage current analysis



(a) 누설전류 파형



(b) 위상-파고 및 고조파 분석

그림 7 개인용 컴퓨터에서 분석된 결과의 예
Fig. 7 Example of analyzed results on PC

장기간에 걸쳐 확보한 데이터를 관리·분석하여 진단장치와 개인용 컴퓨터에서 동일하게 사용될 수 있도록 설계하였다. 전체 누설전류와 제 3조파 누설전류의 파형, 위상-파고, 고조파 분석을 수행할 수 있으며, 분석결과는 진단장치에서와 동일한 결과를 얻을 수 있다.

- [10] 길경석, 한주섭, 주문노, “누설전류측정에 의한 피뢰기 열화진단에 있어 전원고조파의 영향”, 대한전기학회논문지, 53C권 1호, pp. 41~46, 2003.
- [11] Agilent Technologies, HFBR-15x7/25x6-Versatile Link 125MBd Transmitters and Receivers, Datasheet for HFBR-0507 Series, Agilent Technologies Inc., 1999.

저 자 소 개



길 경 석 (吉 曠 碩)

1962년 6월 30일생. 1984년 인하대 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 2003년 2월~2004년 2월 영국 카디프 대학 교환교수
1996년~ 현재 한국해양대학교 전기전자공학부 부교수.

Tel : 051-410-4414, Fax : 051-403-1127
E-mail : kilgs@hhu.ac.kr



한 주 섭 (韓 柱 燮)

1972년 1월 13일생. 1997년 부경대학교 제어계측공학과 졸업. 1999년 한국해양대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2003년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 2003년~현재 한국해양대학교 산업기술연구소 연구원.

Tel : 051-410-4893, Fax : 051-403-1127
E-mail : jshan@bada.hhu.ac.kr



서 황 동 (徐 煌 東)

1976년 1월 8일생. 2002년 한국해양대학교 전기전자공학부 졸업. 2004년 ~ 현재 동 대학원 석사과정

Tel : 051-410-4893, Fax : 051-403-1127
E-mail : hwangdong95@bada.hhu.ac.kr