

Development of a Deterioration Diagnostic Device for ZnO Arrester by Leakage Current Detection

金 載 哲* · 李 輔 鎬** · 吳 正 桓** · 李 榮 吉*** · 文 善 號[§] · 金 榮 春^{§§}

(Jae-Chul Kim · Bo-Ho Lee · Jung-Hwan Oh · Young-Gil Lee · Sun-Ho Moon · Young-Chun Kim)

Abstract - In this paper, we develop a diagnosis device for ZnO arrester by detecting the leakage current in service. To diagnose the deterioration of ZnO arrester, the device detects the total leakage current which flows between an arrester and ground, and analyzes the resistive current(third harmonic current) which is an indicator of deterioration of ZnO arrester. We use the optical cable which can transfer a detected data without a noise, also use a microprocessor for a data storage, processing, and trend analysis. Experiment are executed to verify its performance in laboratory and the results show that the diagnosis device exactly detects the total leakage current and the resistive current, so it can diagnose the deterioration of ZnO arrester. Also the leakage current of ZnO arrester is detected using the developed diagnostic device in field, these results are presented.

Key Words : ZnO arrester, Leakage current, Resistive current, The third harmonic current

1. 서 론

전력계통에서 발생하는 이상전압은 변압기, 개폐기, 절연지시물 등 전력기기를 열화시키는 원인이다. 피뢰기(arrester)는 이러한 이상전압을 흡수해 전력기기의 절연과파 사고를 미연에 방지하는 중요한 보호장치이다. 1970년대 중반 이후부터 종래의 벨브 저항형(SiC) 피뢰기 대신 직렬갭을 갖지 않고 비선형성이 우수한 산화아연(ZnO) 피뢰기가 실용화되어 현재에 이르기까지 발전전소를 비롯한 송배전선로에 사용되고 있다. 이러한 ZnO 피뢰기가 상시운전전압, 서지전압, 상용주파 이상전압 등의 전기적 스트레스와 온도, 습도, 오존 등의 환경 스트레스에 의하여 열화되면 전력기기를 보호하지 못할 뿐만 아니라 피뢰기의 폭발로 보호용으로 설치된 피뢰기가 오히려 사고원인을 제공하여 전력기기의 파손을 유발하기도 한다. 아울러 현장에서 피뢰기를 교체할 때 현재까지는 열화 상태와는 상관없이 일정기간 사용하면 일률적으로 교체하였기 때문에 현장에서 아직 사용할 수 있는 피뢰기를 교체하는 경우도 발생한다. 따라서 계통상에 설치된 피뢰기의 열화진단과 교체시기 결정은 필수적이며 이를 위해 신뢰도가 높은 진단장치의 개발이 요구된다.

ZnO 피뢰기가 열화되면 피뢰기에 흐르는 누설전류가 증가하므로 누설전류를 검출하여 피뢰기의 열화 유무를 판정할 수 있다. 전누설전류(total leakage current)는 용량분 전류(capacitive current)와 저항분 전류(resistive current)로 분류할 수 있으며, 용량분 전류는 열화에 의하여 영향을 거의 받지 않으나 저항분 전류는 피뢰기가 열화되면 점차적으로 증가한다[1-5]. 피뢰기 열화지표가 되는 저항분 전류를 측정하는 방법으로서 곱셈회로 검출방식, 동기전류방식, 제 3고조파 전류 검출방식 등이 사용되고 있다. 최근 들어 저항분 전류는 전누설전류로부터 제 3고조파 성분을 측정하여 검출할 수 있다는 피뢰기 특성을 이용한 제 3고조파 전류 검출방식이 많이 사용되고 있다[1-3].

본 논문은 컴퓨터를 이용하여 ZnO 피뢰기의 누설전류를 검출하여 데이터의 처리, 분석 및 보관을 할 수 있는 열화진단장치를 개발하였다. 피뢰기 누설전류를 측정하는 방법으로는 저항분 전류를 측정할 수 있는 제 3고조파 전류 검출방식을 사용하였다. 누설전류를 측정시에 활선 상태에서 측정하기 편리한 클램프 CT를 사용하였고 피뢰기가 설치된 곳에서 고전압, 대전류의 환경에서도 잡음의 영향을 적게 하기 위하여 광케이블을 이용하였다. 실험을 통해 전누설전류와 저항분전류를 정확히 검출할 수 있음을 보여 진단장치의 성능 및 신뢰성을 입증하였다. 또한 개발한 진단장치를 이용하여 현장에서 운용중인 ZnO 피뢰기의 누설전류를 검출하였으며 이 결과를 나타내었다.

* 正 會 員 : 崇 實 大 電 氣 工 學 科 教 授 · 工 博

** 正 會 員 : 崇 實 大 電 氣 工 學 科 博 士 課 程

*** 正 會 員 : (株) 亞 細 亞 繼 電 研 究 員

[§] 正 會 員 : 韓 國 電 力 公 社 中 央 教 育 院 研 究 員

^{§§} 正 會 員 : 韓 國 建 設 技 術 研 究 員 研 究 員

接 受 日 字 : 1998 年 8 月 28 日

最 終 完 了 : 1998 年 12 月 28 日

2. ZnO 피뢰기의 특성 및 열화기구

2.1 ZnO 피뢰기의 전기적 등가회로

ZnO 소자는 10[μm] 정도의 고순도 ZnO 결정 미립자에 Bi_2O_3 , CoO , MnCO_3 , Sb_2O_3 등의 금속산화물을 첨가한 고온 소결체이다[1]. ZnO 결정입의 저항은 1~10[Ωcm] 정도로 낮은 저항값이지만 ZnO 결정입과 입계층의 존재로 그 저항은 10^{10} [Ωcm] 이상의 고저항으로 되어 있다. 이 ZnO 결정입과 입계층의 존재가 우수한 비선형 저항 특성에 크게 기여한다.

ZnO 피뢰기의 전기적 등가회로는 그림 1(a)와 같이 표시된다[1]. I_c 는 ZnO 소자의 입계층 사이에 흐르는 용량분 전류, I_r 은 저항분 전류이고 I_t 는 용량분 전류와 저항분 전류를 합성한 전누설전류이며 피뢰기에 인가된 전압과 누설전류와의 관계를 그림 1(b)에 나타내었다. 정상인 ZnO 피뢰기의 상용주파 운전상태에서 전누설전류는 저항분 전류가 미소하기 때문에 용량분 전류가 대부분을 차지한다. 초기의 저항분 전류는 ZnO 피뢰기의 전압계급이나 설계조건 등에 따라 다르지만 일반적으로 수~수십[μA] 정도이다.

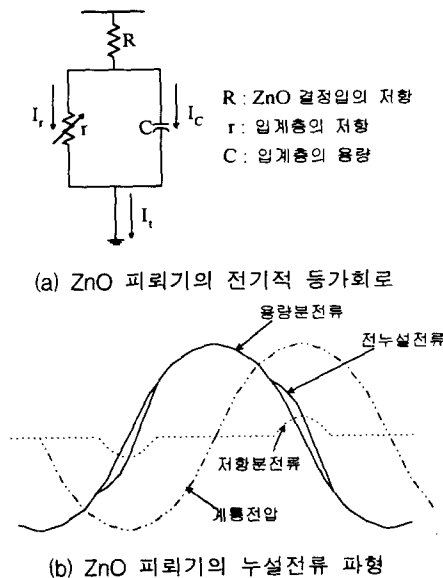


그림 1 ZnO 피뢰기의 전기적 등가회로 및 누설전류
 Fig. 1 Equivalent circuit and leakage current of ZnO arrester

2.2 ZnO 피뢰기의 전압-전류 특성

전압-전류 비선형 특성을 갖는 ZnO 피뢰기는 직렬갭이 없기 때문에 계통 전압이 직접 피뢰기에 가해져서 피뢰기에는 약간의 누설전류가 흐르게 된다. ZnO 피뢰기의 전압-전류 특성은 일반적으로 그림 2와 같이 3부분의 전류 영역으로 구분된다. 소전류 영역은 전류가 전압의 1/2 제곱에 비례하는 영역으로 전압이 인가되면 ZnO 결정입과 입계층의 쇼트키 장벽이 낮아지고 열전자가 쇼트키 장벽을 넘음으로써 전류가 흐른다. 중전류 영역은 전류가 전압의 α 승에 비례하는 영역이다. 대전류 영역은 ZnO 결정입의 저항 특성이 지배적이 되는 영역이다. 피뢰기가 열화되면 전압-전류 특성은 그림 2의 점선과 같이 변화하기 때문에 누설전류가 증가한다.

2.3 ZnO 피뢰기의 열화와 누설전류

ZnO 소자의 미세구조는 ZnO 결정의 둘레를 고저항의 입계층이 둘러싸고 있는 형태이다. 입계층은 에너지 밴드 모델

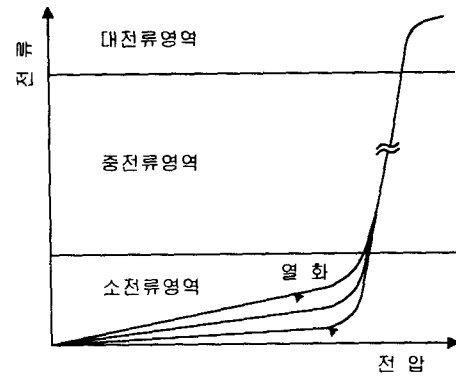


그림 2 ZnO 피뢰기의 전압-전류 특성
 Fig. 2 Voltage-current characteristics of ZnO arrester

로 표현할 수 있으며, 양측에 쇼트키 장벽이 형성되고 연속사용 운전전압 정도의 소전류 영역에서는 이 장벽을 열전자가 뛰어 넘음으로써 작은 저항분 전류가 흐른다. ZnO 소자의 열화는 입계층 양측에 형성된 쇼트키 장벽에 전하가 축적되어 장벽 높이가 낮아지기 때문에 발생하며, 이로 인하여 보다 많은 열전자가 장벽을 뛰어 넘어서 저항분 전류가 증가한다. 증가된 저항분 전류는 분자운동을 촉진시키기 때문에 온도를 상승시켜서 피뢰기를 열적 불안정 상태에 이르게 한다. 일정한 전압, 온도가 피뢰기에 인가될 때 피뢰기에 흐르는 저항분 전류는 운전시간과 함께 증가하며 시간 t 에서 저항분 전류 $I_r(t)$ 를 식 (1)에 나타내었다[4]. 식 (1)로부터 열화지표가 되는 저항분 전류는 피뢰기를 장시간동안 사용할수록 증가함을 알 수 있다.

$$I_r(t) = I_{r0} + Kt^{1/2} \quad (1)$$

여기서, I_{r0} : 저항분 전류의 초기값
 K : 비례상수

연속사용 운전전압에서 저항분 전류는 매우 작은 반면에 용량분 전류가 피뢰기에 흐르는 누설전류의 대부분을 차지하며, 피뢰기 양단의 전압이 높아질수록 저항분 전류는 점차적으로 증가한다[1,5]. 저항분 전류는 기본파, 제 3고조파, 제 5고조파 등의 기수 고조파 전류를 포함하며, 피뢰기가 열화되거나 피뢰기에 인가되는 전압이 증가할수록 고조파 성분도 함께 증가한다. 그 중에서 제 3고조파 전류는 기본파 다음으로 많은 성분이 저항분 전류에 포함되어 있으며 제 5고조파, 제 7고조파 등의 고차 고조파 성분은 상대적으로 작은 성분이 포함되어 있다. 기본파 성분의 경우 전누설전류에 포함된 용량분 전류와의 구별이 매우 어렵지만 제 3고조파 성분은 용량분 전류와의 구별이 용이하다. 또한 제 3고조파 전류는 피뢰기의 열적 불안정으로 인한 온도변화에 가장 민감하게 변화한다. 따라서 전누설전류에서 제 3고조파 전류를 분석하여 피뢰기 열화로 인한 저항분 전류를 검출할 수 있다[1].

3. 열화진단장치

피뢰기에서 누설전류를 검출해 전누설전류 및 각 고조파 성분을 분석하는 열화진단장치의 개략도를 그림 3에 나타내

었다.

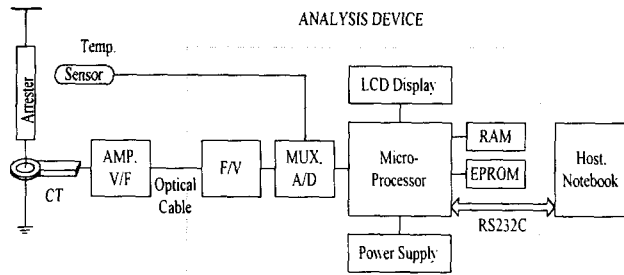


그림 3 열화진단장치의 개략도

Fig. 3 Schematic diagram of deterioration diagnostic device

진단장치는 현장에서 운반이 용이하고 활선 상태에서 측정이 간편하도록 구성하였다. CT에 의해 검출된 누설전류 신호는 앰프(AMP)-전압/주파수(V/F) 변환기-광케이블을 통하여 분석장치에 입력된다. 분석장치에서는 아날로그/디지털(A/D) 변환된 데이터를 광(光) RS-232C 직렬통신으로 호스트에 전송하도록 하였다.

피뢰기 누설전류를 검출하기 위하여 활선 상태의 피뢰기 접지선에 직접 설치하고 분리가 가능한 클램프형 CT를 사용하였다. 본 논문에서 사용한 CT는 코일의 턴(turn)수가 2,200이고 활선 상태에서 측정할 수 있는 직경이 18[mm]인 클램프형 CT를 사용하였다. 피뢰기에 흐르는 전누설전류는 수[mA] 이하이므로 유도된 CT 전류는 수[μA] 이하로 상당히 미약하다. 따라서 전류/전압 변환된 출력 전압의 크기도 상당히 미약하므로 전압을 증폭하기 위하여 Pre-AMP를 제작하였으며 두개의 앰프를 통해 신호 이득을 80[dB]이상 증폭하도록 설계하였다. CT로 검출된 신호를 광케이블을 통하여 전송을 하려면 펄스 변환이 필요하다. 입력전압을 주파수로 바꾸기 위한 V/F 변환기(VFC320, BURR-BROWN사)와 입력된 주파수를 전압으로 바꾸는 F/V 변환기가 광케이블 양단에 접속하였다. 원칩(one chip) 마이크로 프로세서는 소비전력을 최소화하고 주변 장치가 하나의 칩에 포함되어 최소한의 공간으로 필요한 기능에 적합한 CPU(MCS-96 계열인 8097, Intel)를 선정하였다.

4. 열화진단 프로그램

호스트용 프로그램으로 검출된 전누설전류를 실시간으로 화면상에 표시, 주파수 분석에 의하여 제 3고조파 전류를 분석, 누설전류의 경향분석 등을 할 수 있도록 개발하였다. 누설전류의 검출로부터 최종 결과출력을 위한 개략적인 순서를 단계별로 그림 4에 나타내었다.

A/D 변환기에 입력된 신호는 샘플링 시간을 97[μs]로 하여 50[ms]동안 512개 데이터를 입력 처리하였다. A/D 변환기에 의해 최종적으로 입력된 데이터는 주파수 분석 및 실효값을 계산하기 위하여 입력된 신호로부터 DC 성분을 제거해야 한다. 식 (2)는 샘플링 데이터로부터 평균값을 구하고 그 평균값을 각각의 데이터에서 빼줌으로서 DC성분을 제거하는 과정을 나타낸 것이다. 측정된 데이터에 대한 실효값은 DC성분이 제거된 샘플링 데이터에 대해 각각을 제곱한 다음에 평

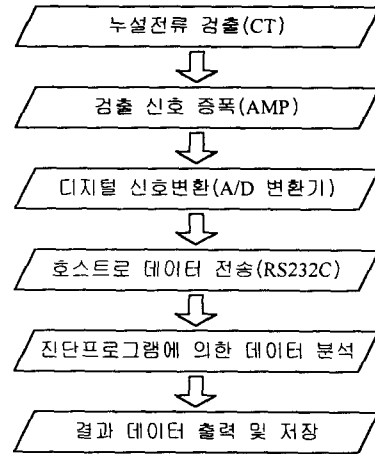


그림 4 ZnO 피뢰기의 열화진단 순서

Fig. 4 Sequence of deterioration diagnosis for ZnO arrester

균값을 구하고 그 값의 제곱근을 계산함으로써 식 (3)과 같이 구할 수 있다.

$$MEAN = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (2)$$

$$x_{mi} = x_i - MEAN$$

여기서, x_i : 샘플링 데이터

N : 샘플링 데이터의 갯수

MEAN : 샘플링 데이터의 평균

x_{mi} : DC성분이 제거된 샘플링 데이터

$$S = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_{mi}^2} \quad (3)$$

전누설전류로부터 제 3고조파 성분을 검출하기 위하여 입력된 데이터로부터 Cooley-Turkey의 알고리즘에 따라 주파수 분석을 하였다. N개의 데이터 $x(0), x(1), \dots, x(N-1)$ 에 대한 고속 푸리에 변환(Fast Fourier Transform)을 식 (4)에 나타내었다[6].

$$X(k) = \sum_{i=0}^{N-1} x(i)W^{nk}, \quad k=0,1,\dots,N-1 \quad (4)$$

여기서, $W = \exp(-j\frac{2\pi}{N})$

호스트에 의해 입력된 데이터를 분석 및 저장하기 위한 프로그램은 풀다운(Pull Down) 메뉴방식으로 개발하였으며 프로그램은 전누설전류 표시, 제 3고조파 전류 표시, 경향분석 등의 기능을 할 수 있다. 프로그램은 사용자 인터페이스 관련 메뉴 프로그램, 각종 실시간 파형 및 수치해석 결과를 표시하는 그래픽 관련 프로그램, 각종 파형분석 결과를 시간대별로 파일에 저장하는 파일 관련 프로그램, A/D 변환 관련 프로그램으로 구성하였다. 데이터 관리는 입력신호에 대하여 실효값 및 제 3고조파, 제 5고조파, 제 7고조파별로 취득일로부터 분, 시, 일, 월, 년 단위로 평균값이 저장되어 누설전류 변화경향을 쉽게 알 수 있도록 하였다.

5. 실험결과 및 고찰

5.1 누설전류 검증실험

피뢰기의 누설전류를 직접 계측하기에 앞서 전누설전류와 주파수 분석에 의한 제 3고조파 전류 검증실험을 하였다. 진단장치의 전누설전류는 캘리브레이터를 사용하여 보정하였으며, 보정 방법은 실험장치에 일정 전류를 흐르게 하고 진단장치의 CT를 연결한 뒤 캘리브레이터에 흐르는 전류와 진단장치가 입력받은 데이터가 동일하도록 진단장치를 조정하였다. 그림 5는 캘리브레이터에서 인가한 전류에 대해 진단장치가 검출한 전류를 나타낸 것이다.

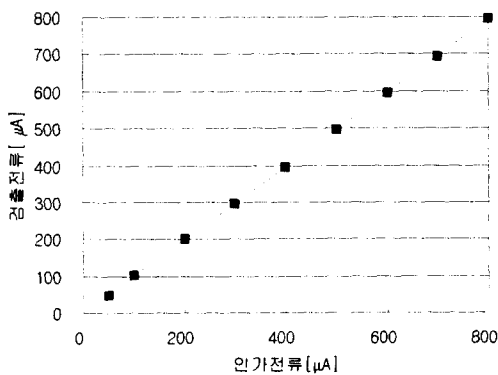


그림 5 인가된 전누설전류에 따른 검출된 전누설전류
Fig. 5 The measured total leakage current as a function of the applied total leakage current

고조파 분석에 대한 검증을 위하여 임의 파형 발생장치를 이용하여 실험하였다. 임의 파형 발생장치를 이용해 기본파 60[Hz]에 제 3고조파를 섞어 파형을 발생하도록 하였으며 이때 흐르는 전류를 분석장치에서 검출하였다. 인가된 전류의 크기는 500[μA]로 일정하게 유지하고 제 3고조파 크기를 10~50[%]까지 변화시키면서 기본파에 섞어 전류파형을 만들었다. 그림 6에 입력한 제 3고조파의 크기에 따라 진단장치에서 측정된 제 3고조파 크기를 나타내었다.

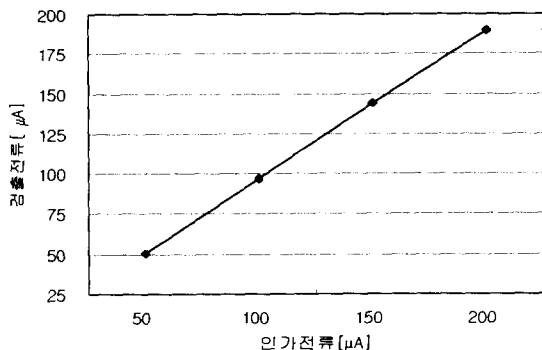


그림 6 인가된 제3고조파 전류에 따른 검출된 제3고조파 전류
Fig. 6 The measured third harmonic current as a function of the applied third harmonic current

입력측의 제 3고조파의 크기를 증가시킬 때마다 측정된 제 3고조파 전류의 크기도 입력과 동일한 크기로 증가하는 모습을 나타내었다.

5.2 피뢰기 적용실험

실험실에서 두 가지(신제품, 교체품) ZnO 피뢰기에 대하여 인가전압을 증가시키면서 누설전류를 측정하였다. 현장에 설치하지 않은 신제품과 변압기에 약 8년 동안 설치되었다가 최근에 교체된 피뢰기에 대하여 누설전류를 측정해 보았다. 각 피뢰기에 대한 사양을 표 1에 나타내었다.

표 1 ZnO 피뢰기 사양

Table 1 Specification of each ZnO arrester

피뢰기 사양	신제품	교체품
모델명	KMZ-18	BV-18A
정격 용량	18[kV], 2.5[kA]	18[kV], 2.5[kA]
NET WT.	4.5 [kg]	4.1 [kg]
사용 연수	0년	8년

교체품은 2개의 시료를 대상으로 실험하였으며 그 누설전류 특성을 비교하였다. 전압은 10~19[kV] 범위에서 1[kV]단위로 변화시켜 인가하였고 이때 각 전압마다 1분 동안 누설전류를 측정하였으며, 전누설전류의 실효값과 이때 포함되어 있는 제 3고조파 전류의 크기를 각각 비교하였다. 그림 7은 ZnO 피뢰기의 누설전류 경향분석 화면을 나타낸 것이다. 경향분석 화면은 CT를 통하여 검출된 전누설전류의 실효값과 주파수 분석을 통하여 얻은 각 고조파 전류 등을 분, 시, 일, 월, 년 별로 종합적으로 검토할 수 있도록 구성하였다.

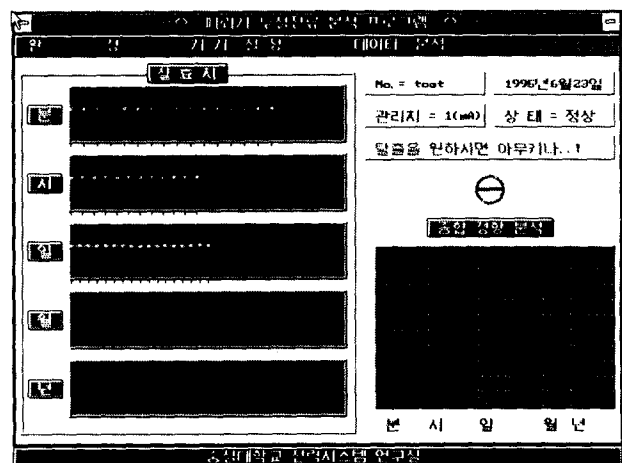


그림 7 ZnO 피뢰기의 누설전류 경향분석 화면
Fig. 7 Trend analysis screen of leakage current for ZnO arrester

그림 8은 피뢰기의 인가전압에 대한 전누설전류의 크기, 그림 9는 피뢰기의 제 3고조파 전류크기를 나타낸 것이다. 신제품의 전누설전류는 17~19[kV] 인가전압에 대하여 전류가 지속적으로 증가하는 비선형성을 나타내었다. 신제품의 제 3고조파 전류는 인가전압 18~19[kV]에서 비선형성을 나

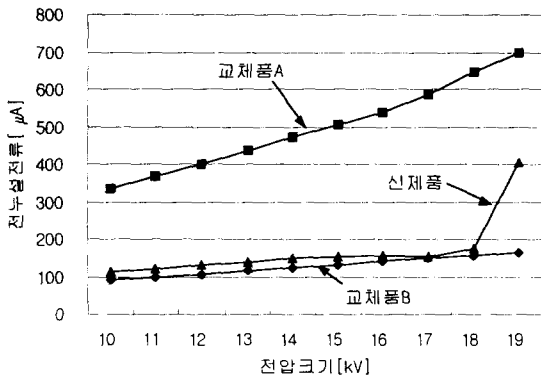


그림 8 전누설전류의 인가전압의 의존성
Fig. 8 Dependence on the applied voltage for the total leakage current

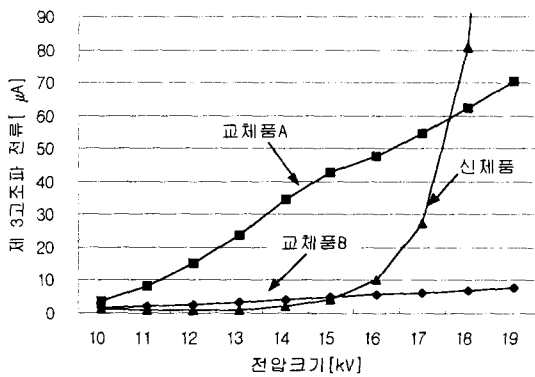


그림 9 제 3고조파 전류의 인가전압의 의존성
Fig. 9 Dependence on the applied voltage for the third harmonic current

타내었고 특히 19[kV]에서는 전류크기가 245[μA]로서 매우 급격히 증가하였다. 교체품의 경우 인가전압 범위에서 비선형성이 나타나지 않은 이유는 피뢰기가 갖는 고유한 누설전류 특성에 기인한다. 즉 교체품의 경우 신제품과 비교하였을 때 모델, 중량이 다르며 이것은 ZnO 소자의 배합조성, 제조방법의 차이를 발생시키기 때문에 교체품은 신제품과 다른 누설전류 특성을 갖게 된다.

그림 8, 그림 9의 교체품 피뢰기의 누설전류 차이는 피뢰기의 열화 정도가 다르기 때문이다. ZnO 피뢰기의 열화요인은 연속 사용 운전전압, 단시간 과전압 등의 전기적인 스트레스와 온도, 습도, 오존 등의 환경적 스트레스가 겹쳐서 가해지기 때문에 발생하며, 이 중에서 전기적 스트레스가 ZnO 피뢰기의 주된 열화요인이 되고 있다. 실외 현장에 약 8년간 설치된 피뢰기에 있어서 환경적 스트레스는 비슷하게 작용하였을 지라도, 연속 사용 운전전압과 운전 중에 침입하는 가혹한 뇌 서지, 개폐 서지와 같은 단시간 과전압은 피뢰기마다 다른 정도의 전기적인 스트레스로 작용한다. 이러한 8년간의 전기적 스트레스의 차이는 ZnO 피뢰기의 열화 정도를 다르게 하며 이것은 누설전류 크기의 차이로 나타났다고 판단된

다. 따라서 교체품 A의 경우 전누설전류와 제 3고조파 전류가 증가하였기 때문에 서서히 열화가 진행되고 있는 것으로 추정되지만, 교체품 B의 경우 전누설전류와 제 3고조파 전류가 비교적 작기 때문에 아직 열화가 되지 않은 것으로 추정할 수 있다. 그림 8, 그림 9의 신제품 피뢰기보다 교체품 B 피뢰기의 누설전류 크기가 작은 이유는 각각의 피뢰기가 갖는 누설전류 특성 때문이다. 만약 모든 조건이 동일한 피뢰기의 경우는 사용 시간이 지날 수록 서서히 열화되기 때문에 누설전류는 사용 년수의 증가와 더불어 증가할 것이나, 실험에 사용한 피뢰기는 표 1과 같이 정격용량은 동일하지만 모델, 중량에서 차이가 나타내고 있다. 이것은 해당 피뢰기 모델 고유의 누설전류 특성을 갖는 것을 의미한다.

5.3 운용중인 피뢰기의 누설전류 분석

개발된 장치를 실제 운용중인 실외 변전소의 ZnO 피뢰기에 설치하여 누설전류를 취득하였다. 배전용 변압기에 연결된 ZnO 피뢰기의 접지선에 클램프 CT를 설치하여 누설전류를 검출하였으며, 검출된 전누설전류와 제 3고조파 전류를 취득한 날짜 순서로 그림 10에 나타내었다.

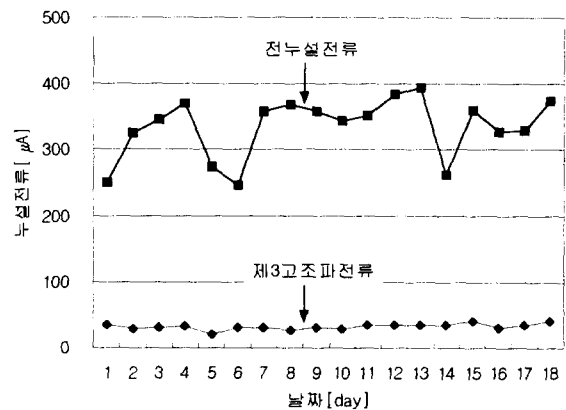


그림 10 진단장치에서 검출한 ZnO 피뢰기 누설전류 추이
Fig. 10 Transition of ZnO arrester leakage current detected by diagnosis device

그림 10에서 전누설전류는 250~400[μA] 사이의 크기를 나타내었고 제 3고조파 전류는 20~40[μA] 사이의 크기를 나타내었다. 피뢰기에 흐르는 미소한 누설전류는 온도, 습도(눈, 비) 등의 외부 환경요인에 의하여 영향을 받기 때문에 그림 10과 같이 변화한다. 따라서 현장에 설치된 ZnO 피뢰기의 경우 어느 한순간의 누설전류에 의하여 피뢰기의 열화상태를 판정하기보다는 지속적인 검출에 의한 누설전류 경향을 수년간 분석하여 열화상태를 판정하는 것이 필요하다고 판단된다.

6. 결 론

본 논문에서는 ZnO 피뢰기의 전누설전류를 활선 상태에서 CT를 통하여 검출하고 주파수 분석하여 피뢰기 열화지표가 되는 제 3고조파 전류를 검출할 수 있는 장치를 개발하였다.

실외 현장에 8년간 설치된 피뢰기에 대한 누설전류 분석결과 사용 년수는 동일할지라도 누설전류 크기에서 차이를 나타내었기 때문에 열화 정도가 다를 수 있었다. 개발된 장치를 운용중인 실외 변전소의 ZnO 피뢰기에 설치하여 누설전류를 취득한 결과 전누설전류는 250~400[μ A], 제 3고조파 전류는 20~40[μ A] 사이의 크기를 나타내었다. 이로부터 현장에 설치된 ZnO 피뢰기의 경우 누설전류는 외부 환경요인에 의하여 변화하기 때문에 어느 한순간의 누설전류에 의하여 피뢰기의 열화상태를 판정하기보다는 지속적인 검출에 의한 누설전류 경향을 관측하여 열화상태를 판정하는 것이 필요하다고 사료된다.

본 연구는 숭실대학교 교내학술연구비 지원으로 이루어졌으므로 이에 감사드립니다.

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, July 1988.

[2] 이복희, 강성만, "누설전류의 제 3고조파 분석에 의한 ZnO 소자의 열화진단기술," 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 1740-1742, 1998년 7월.

[3] 김재철 외, "컴퓨터를 이용한 피뢰기 누설전류 분석장치 개발," 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 631-633, 1995년 7월.

[4] W. G. Carlson, T. K. Gupta, A. Sweetana, "A Procedure for Estimating the Lifetime of Gapless Metal Oxide Surge Arresters for AC Application," IEEE Transactions on Power Systems, Vol. PWRD-1, No. 2, pp. 67-74, April 1986.

[5] S. S. Kershaw, G. L. Gaibrois, K. B. Stump, "Appling Metal-Oxide Surge Arresters on Distribuiton Systems," IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 4, No. 1, pp. 301-307, January 1989.

[6] 이채욱, 디지털 신호처리, 청문각, pp. 117-138, 1994년 7월.

저 자 소 개



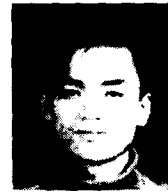
김재철(金載哲)

1955년 7월 22일생, 1979년 숭실대 전기공학과 졸업, 1983년 서울대 대학원 전기공학과 졸업(석사), 1987년 서울대 대학원 전기공학과 졸업(공학박사), 1988년~현재 숭실대 공대 전기공학과 교수



이보호(李輔鎬)

1936년 5월 31일생, 1961년 서울대 전기공학과 졸업, 1972년 전북대 대학원 전기공학과 졸업(석사), 1986년 인하대 대학원 전기공학과 졸업(공학박사), 1972년~현재 숭실대 공대 전기공학과 교수



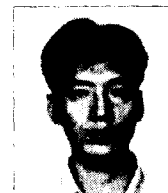
오정환(吳正桓)

1971년 1월 17일생, 1994년 서울산업대 전기공학과 졸업, 1996년 숭실대 대학원 전기공학과 졸업(석사), 현재 동 대학원 전기공학과 박사과정



이영길(李榮吉)

1965년 2월 15일생, 1992년 숭실대 전기공학과 졸업, 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사), 현재 (주)아시아계전 연구원.



문선호(文善號)

1971년 4월 14일생, 1995년 서울산업대 전기공학과 졸업, 1999년 숭실대 대학원 전기공학과 졸업(석사), 현재 한국전력공사 중앙교육원 연구원.



김영춘(金榮春)

1971년 7월 15일생, 1997년 숭실대 전기공학과 졸업, 1999년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사), 현재 한국건설기술연구원 연구원.