

## 수배전계통의 여러 가지 고장조건에서 피뢰기에 흐르는 누설전류

(Leakage Currents Flowing through Lightning Surge Arresters under Various Fault Conditions in Receiving and Distribution Power Systems)

이복희\* · 길형준 · 강성만 · 최위성

(Bok-Hee Lee · Hyeong-Joon Kil · Sung-Man Kang · Hwee-Sung Choi)

### 요 약

수배전계통의 고장에는 1선 지락, 선간 단락, 2선 지락 등의 고장이 있다. 가공 배전 계통에서 일어나는 대부분의 고장은 1선 지락이며, 피뢰기는 이러한 고장에 의한 빈번한 과전압에 의해 스트레스를 받는다. 본 논문에서는 수배전계통에서 일어날 수 있는 고장을 모의하여 여러 가지 고장에 의해 피뢰기에 흐르는 누설전류의 특성에 대하여 조사하였다. 결과적으로,  $\pm 10\%$  범위의 전압변동률에 의해서 피뢰기에 흐르는 누설전류는 거의 변화가 없었다. 성능이 우수한 접지 시스템 하에서는 전압변동률은 피뢰기의 긴 시간동안의 동작에 별 영향을 줄 수가 없었다. 하지만, 1선 지락 고장에서 피뢰기에 흐르는 누설전류의 최대값은 비효과적인 접지 시스템의 운전 전압에서의 누설전류와 비교하였을 때 140배 이상이 되었다. 그러나 선간 단락과 2선 지락 고장의 경우에는 피뢰기의 누설전류에 거의 영향을 미치지 못했다.

### Abstract

Unsymmetrical faults are classified into single line-to-ground faults, line-to-line faults, or double line-to-ground faults in receiving and distribution power systems. Many of overhead distribution-line faults are single line-to-ground faults, and lightning surge arresters are stressed by system frequency overvoltages due to unsymmetrical faults. In this work, the unsymmetrical faults in receiving and distribution systems were experimentally simulated, and the characteristics of total leakage current flowing through lightning surge arresters due to various unsymmetrical faults were investigated. As a result, a little variations of the leakage current flowing through Zinc oxide (ZnO) surge arresters in the range of  $\pm 10\%$  voltage regulations were observed. It could be concluded that the unsymmetrical faults have no effect on the long-term life performance of ZnO surge arresters in effective grounding systems. On the other hand, the magnitude of the leakage current flowing through ZnO surge arrester elements under single line-to-ground faults was more than 140 times as compared with that under normal operating voltages in ineffective grounding systems. But abnormal voltages caused by line-to-line faults and double line-to-ground faults have a little effect on total leakage current of ZnO surge arrester elements.

Key Words : Zinc oxide (ZnO) surge arrester, Distribution power system, Unsymmetrical fault, leakage current, Grounding system

\* 주저자 : 인하대학교 전자전기공학부 교수 / 차세대 고전압전력기술 연구센터 교수

Tel : 032-860-7398, Fax : 032-863-5822, E-mail : bhlee@inha.ac.kr

접수일자 : 2004년 5월 3일,

1차심사 : 2004년 5월 12일.

심사완료 : 2004년 5월 27일

## 1. 서 론

우리나라에서 전력을 공급하는 수배전계통의 경우 22.9[kV] 다중 접지방식으로서 낙뢰에 의한 사고의 방지를 위하여 산화아연형 배전용 피뢰기를 가공선로의 일정 간격으로 설치하게 되어 있다. 뇌과전압 및 개폐과전압으로부터 수배전계통을 효과적으로 보호하기 위한 피뢰기의 적절한 설치방법에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다[1-3]. 현재 수배전 설비에 설치하는 산화아연형 피뢰기는 비선형특성이 우수한 산화아연(Zinc oxide ; ZnO)소자를 특성요소로 하며 직렬갭을 사용하지 않는 피뢰기로서 상시 인가되는 운전전압에 의해서 지속적인 스트레스를 받게 되어 정상운전상태에서도 미소하나마 누설전류가 흐른다. 또한 계통에서 발생하는 여러 가지 단시간의 고장에 의한 이상전압에 의해서도 상당한 스트레스를 받게 된다. 가공 배전계통은 직접 자연 환경에 노출되어 있어 가혹한 기상조건의 영향을 받게 되므로 낙뢰에 의한 사고를 일으킬 가능성이 높다[4-7].

수배전계통에서 가장 빈번하게 발생하는 고장은 1선 지락고장이지만, 이 밖에도 선간단락고장, 2선 지락고장, 심할 경우에는 3선 지락고장으로까지 진전되는 사고가 발생할 뿐만 아니라 경우에 따라서는 단선사고까지 발생하는 경우도 있다. 3상고장을 제외한 1선 지락, 2선 지락, 선간단락 등의 고장이 발생하면 비대칭으로 단시간 과전압이 발생하여 피뢰기에 스트레스를 주게 된다. 정전이 없이 수용가에 양질의 전력을 공급하는 측면에 장애가 되는 가장 중대한 요인이 낙뢰에 의한 사고이므로 피뢰기의 적절한 설치와 관리가 매우 중요하다. 그러나 여러 가지 형태의 계통고장 및 전압변동들이 과전압 보호기기인 피뢰기에 미치는 영향 평가는 아직까지 이루어지지 않고 있다.

따라서 본 연구에서는 3상 수배전계통에서 일어날 수 있는 사고 중 1선 지락, 선간단락, 2선 지락 등의 고장을 모의하여 3상 수배전계통에서 발생하는 이상전압이 피뢰기에 미치는 영향을 분석하기 위하여 고장조건에 따른 피뢰기의 특성요소인 ZnO소자에 흐르는 누설전류를 측정하고, 이 누설전류의 고

조파 성분을 분석·검토하였다. 또한 전력전송전압의 허용변동범위에 해당하는  $\pm 10[\%]$ 의 전압변동 또는 유효접지계통의 이상전압에 상응하는 단시간 과전압에 의해서 흐르는 ZnO소자의 누설전류를 측정하고, 피뢰기의 성능에 미치는 영향을 조사하였다. 또한 비접지방식, 고저항접지방식이나 소호리액터 접지방식과 같은 비유효접지계통의 고장시 발생하는 단시간 과전압을 시험전압으로 하여 피뢰기에 흐르는 누설전류를 검출하고, 이의 결과를 검토하였다.

## 2. 고장에 의한 단시간 과전압

3상 수배전계통에서 운전 중에 1선 지락, 2선 지락과 같은 비대칭 고장이 발생한 경우 각 상의 전압은 정상분, 역상분, 영상분의 합성으로 나타낼 수 있으며, 고장시의 계통전압  $\dot{V}_a$ ,  $\dot{V}_b$ ,  $\dot{V}_c$ 는 대칭분 전압의 합성으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}\dot{V}_a &= \dot{V}_0 + \dot{V}_1 + \dot{V}_2 \\ \dot{V}_b &= \dot{V}_0 + a^2 \dot{V}_1 + a \dot{V}_2 \\ \dot{V}_c &= \dot{V}_0 + a \dot{V}_1 + a^2 \dot{V}_2\end{aligned}\quad (1)$$

$$\begin{aligned}a &= \exp(j\frac{2\pi}{3}) = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}, \quad a^2 = \exp(j\frac{4\pi}{3}) \\ &= -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\text{이다.}\end{aligned}$$

이 때 a상에 유도되는 전압을  $E_a$ 라고 하고, 3상이 평형을 이루었을 때 각 상의 전압은 식 (2)과 같이 표현된다.

$$\dot{V}_a = E_a, \quad \dot{V}_b = a^2 E_a, \quad \dot{V}_c = a E_a\quad (2)$$

1선 지락, 2선 지락, 선간단락 등의 고장조건에 대한 전압벡터도를 그림 1에 나타내었다[8,9].

그림 1(a)과 같이 a상이 지락을 일으킨 1선 지락고장을 가정하면 각 상의 전압은 식 (3)과 같이 된다.

$$\begin{aligned}\dot{V}_a &= 0 \\ \dot{V}_b &= (a^2 - 1)E_a = \sqrt{3}E_a \angle 210^\circ \\ \dot{V}_c &= (a - 1)E_a = \sqrt{3}E_a \angle 150^\circ\end{aligned}\quad (3)$$

수배전계통의 여러 가지 고장조건에서 피뢰기에 흐르는 누설전류

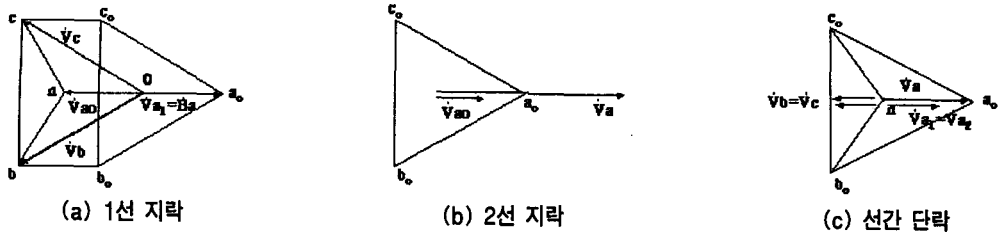


그림 1. 고장조건별 전압벡터도  
Fig. 1. Voltage vector diagrams by fault conditions

그림 1(b)에 나타난 바와 같이 b상과 c상이 동시에 지락고장을 일으킨 경우 각 상의 전압은 식 (4)과 같다.

$$\begin{aligned} \dot{V}_a &\approx \frac{3}{2} E_a \\ \dot{V}_b &= \dot{V}_c = 0 \end{aligned} \quad (4)$$

그림 1(c)과 같이 b상과 c상이 선간단락 되었을 경우는 각 상의 전압은 다음의 식 (5)과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} \dot{V}_a &\approx E_a \\ \dot{V}_b &= \dot{V}_c \approx -\frac{1}{2} E_a \end{aligned} \quad (5)$$

이와 같이 비대칭 고장이 발생하면 각 상에 설치한 피뢰기에 가해지는 전압의 크기가 다르므로 이에 상응하는 누설전류가 흐르게 된다.

### 3. 실험계의 구성 및 방법

수배전계통에 사용되고 있는 정격전압이 18[kV] 이고 공칭 방전전류가 2.5[kA]인 두 종류의 배전용 피뢰기로부터 특성요소인 ZnO소자의 시료를 채취하였다. A사의 배전용 피뢰기는 3[kV]인 ZnO소자 6개로 구성되어 있고, 또 다른 시료는 정격전압이 6[kV]의 산화아연소자 3개로 구성된 B사의 배전용 피뢰기로서 이들 모두 2.5[kA]로서 동일한 공칭방전전류이다.

3상 수배전계통에서 발생할 수 있는 여러 가지 고장조건과 전압불평형이 각각의 배전용 피뢰기의 누

설전류에 미치는 영향을 분석하기 위한 실험의 측정 회로를 그림 2와 같이 구성하였다. 각 고장조건과 전압불평형 조건에 따른 각 상의 전압을 독립적으로 측정하였고, 동시에 단일의 접지선을 통해 3상의 피뢰기를 일괄하여 접지했을 때 접지선을 통해 흐르는 전류를 측정하고 이의 고조파 성분을 분석하였다. 전압과 전류는 각각 고전압측정용 능동성 프로브와 누설전류 측정용 프로브를 사용하여 측정하였다.

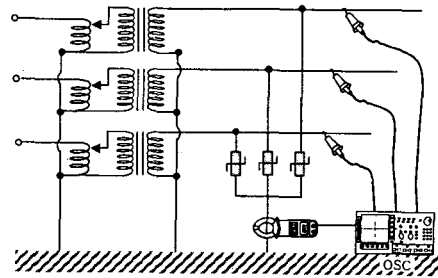


그림 2. 실험 구성도  
Fig. 2. Configuration of the test set-up

실제의 22.9[kV] 수배전계통에서 전압변동율에 의해서 피뢰기에 가해지는 전압은 13.2[kV]의  $\pm 10\%$ 이다. 본 연구의 시료로 선정된 산화아연형 피뢰기 소자에 흐르는 누설전류의 측정에는 인가전압을 각각 2.2[kV], 4.4[kV]를 기준으로 하여  $+10\%$ 의 허용범위에 상당하는 약 2.4[kV], 4.8[kV]를,  $-10\%$ 의 허용범위에 대해서는 2.0[kV], 4.0[kV]를 각각 인가하였다. 이 때 각 상에 인가하는 전압의 위상차는  $120^\circ$ 를 유지하였다.

고장조건에 따라 발생하는 각 상의 이상전압은 중성점 접지방식과도 직접적으로 관련되어 다르게 나

표 1. 실험조건별 인가전압  
Table 1. Applied voltages by test conditions

시료		불평형 조건			고장 조건		
		3상 평형	3상 불평형	1상 불평형	1선지락	2선지락	선간단락
3[kV]	$\dot{V}_a$ [kV]	2.2 $\angle 0^\circ$	2.0 $\angle 0^\circ$	2.0 $\angle 0^\circ$	0 $\angle 0^\circ$	3.3 $\angle 0^\circ$	2.2 $\angle 0^\circ$
	$\dot{V}_b$ [kV]	2.2 $\angle 120^\circ$	2.2 $\angle 120^\circ$	2.2 $\angle 120^\circ$	3.8 $\angle 210^\circ$	0 $\angle 120^\circ$	1.1 $\angle 180^\circ$
	$\dot{V}_c$ [kV]	2.2 $\angle 240^\circ$	2.4 $\angle 240^\circ$	2.2 $\angle 240^\circ$	3.8 $\angle 150^\circ$	0 $\angle 240^\circ$	1.1 $\angle 180^\circ$
6[kV]	$\dot{V}_a$ [kV]	4.4 $\angle 0^\circ$	4.0 $\angle 0^\circ$	4.0 $\angle 0^\circ$	0 $\angle 0^\circ$	6.6 $\angle 0^\circ$	4.4 $\angle 0^\circ$
	$\dot{V}_b$ [kV]	4.4 $\angle 120^\circ$	4.4 $\angle 120^\circ$	4.4 $\angle 120^\circ$	7.6 $\angle 210^\circ$	0 $\angle 120^\circ$	2.2 $\angle 180^\circ$
	$\dot{V}_c$ [kV]	4.4 $\angle 240^\circ$	4.8 $\angle 240^\circ$	4.4 $\angle 240^\circ$	7.6 $\angle 150^\circ$	0 $\angle 240^\circ$	2.2 $\angle 180^\circ$

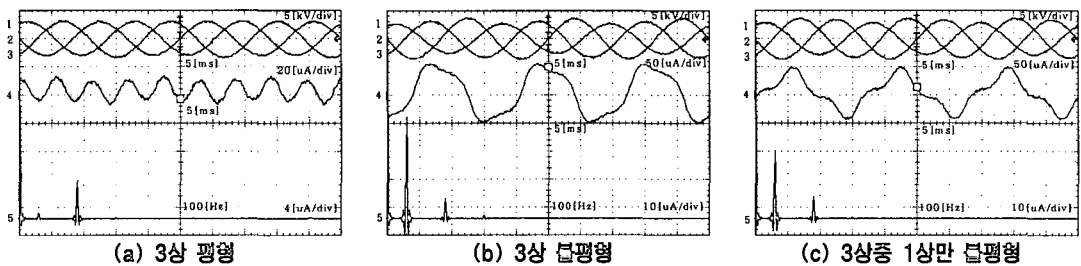
탄한다. 이상전압이 낮은 경우보다는 일반적으로 이상전압이 높은 상태가 문제시 되므로 본 연구에서는 각 고장조건에서 가혹한 상태의 이상전압을 상정하여 실험조건으로 다음과 같이 정하였다. 1선 지락고장에 대한 모의실험에서는 지락된 a상에 전압 0[kV], 나머지 b상과 c상에는 각각 2.2[kV], 4.4[kV]의  $\sqrt{3}$ 배인 3.8[kV], 7.6[kV]의 전압을 각각  $210^\circ$ ,  $150^\circ$ 의 위상으로  $60^\circ$ 의 위상차를 갖도록 인가하였다. 2선 지락고장에 대한 모의실험에서는 지락된 b상과 c상의 전압을 0[kV]로 하고, 나머지 a상의 전압을 2.2[kV], 4.4[kV]의 1.5배인 3.3[kV], 6.6[kV]로 인가하였다. 선간단락고장에 대한 모의실험에서는 단락된 b상과 c상의 같은 크기의 전압으로 각각 1.1[kV], 2.2[kV], 나머지 a상의 전압을 2.2[kV], 4.4[kV]로 인가하였다. 이때 단락된 b상과 c상의 전압은 단락되지 않은 a상의 전압과  $180^\circ$ 의 위상차를 유지하였다. 실험조건에 따른 각 상의 인가전압을 표 1에 나타내었다.

#### 4. 결과 및 고찰

##### 4.1 전압불평형에 의한 누설전류

3상 불평형 전압이 인가된 경우 피뢰기에 흐르는 누설전류에 미치는 영향을 평가하기 위해 3상 평형, 3상 불평형, 3상중 1상 불평형 조건에 대하여 실험하였다. 정격전압 3[kV]용 ZnO소자에 대한 각 상의 인가전압과 전체 누설전류의 파형 및 누설전류의 고조파 성분의 분포를 그림 3에 나타내었으며, 이 때의 시험전압은 표 1에 나타내었다.

정격전압이 3[kV], 6[kV]인 피뢰기의 ZnO소자 모두 그림 3의 (a)와 같이 3상이 평형이 되었을 때 누설전류의 피크치는 대략 수 십  $\mu\text{A}$  정도로 매우 미소하게 흘렀으며, 이의 고조파 성분을 분석한 결과는 대부분 제 3고조파이었으며, 다른 차수의 고조파 성분은 거의 나타나지 않았다. 그림 3의 (b)와 같이 3상이 모두 불평형일 경우의 누설전류는 인가전압이



1 : a상 전압 2 : b상 전압 3 : c상 전압 4 : 누설전류 5 : 누설전류의 FFT

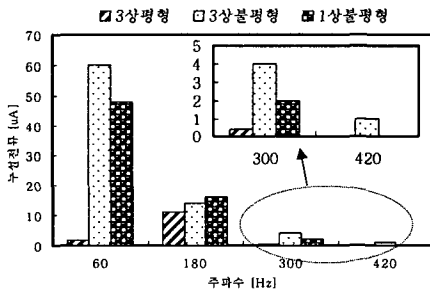
그림 3. 3상 불평형전압에 의한 누설전류와 FFT 결과(정격전압 3[kV]인 ZnO소자)

Fig. 3. Leakage current due to 3-phase unbalanced voltages and its FFT result(ZnO elements for the rated voltage of 3[kV])

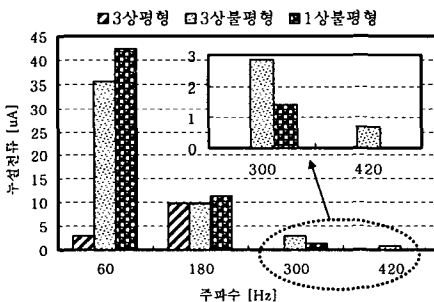
수배전계통의 여러 가지 고장조건에서 피뢰기에 흐르는 누설전류

중첩되는 부분의 90°뒤쳐진 위상에서 피크치가 나타났으며, 그 값은 각각 40[μA], 50[μA] 정도였다. 그림 3 (c)의 3상중 1상만 불평형이 일어났을 때의 누설전류는 인가전압이 중첩되는 부분의 90°뒤쳐진 위상에서 피크치가 나타났고 기본파 성분이 가장 크게 나타났다.

그러나 전압변동범위에 상당하는 정격전압보다 10[%] 높은 전압에 대한 누설전류의 변화는 각 상의 인가전압의 크기가 피뢰기 소자의 동작개시전압보다 낮기 때문에 ZnO소자를 통해 흐르는 누설전류는 대부분이 용량성 성분이 주를 이루고 저항성 성분은 거의 나타나지 않았다. 또한 누설전류의 피크치도 동작개시전압에서의 누설전류의 크기보다 매우 작은 값을 나타내었으며, 3상 배전계통의 운전전압의 전압변동의 허용범위 내에서는 누설전류가 대단히 미약하므로 피뢰기에 거의 부담을 주지 않는 것으로 밝혀졌다.



(a) 정격전압 3(kV)인 ZnO소자



(b) 정격전압 6(kV)인 ZnO소자

그림 4. 3상 불평형전압에 의해 ZnO소자에 흐르는 누설전류의 고조파 성분

Fig. 4. Harmonic components of the leakage currents flowing through ZnO elements due to 3-phase unbalanced voltages

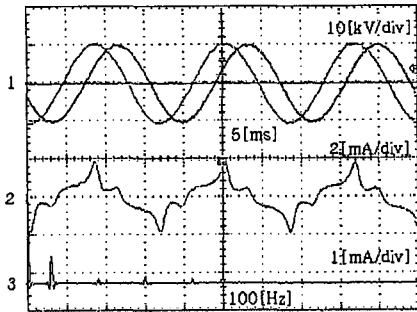
위의 3 가지 실험조건에 대한 피뢰기소자에 흐르는 누설전류의 고조파 성분의 분포를 그림 4에 나타내었다. 그림 4 (a)의 정격전압이 3[kV]인 ZnO소자의 3상 전압이 평형일 경우에 누설전류는 약간의 기본파 성분과 나머지 대부분이 제3고조파 성분이었다. 불평형 전압의 상태에서는 기본파 성분의 누설전류가 대부분이고, 다음이 제3고조파이며, 기수 고조파 성분만 나타났다. 그림 4 (b)에 나타낸 것처럼 정격전압이 6[kV]인 ZnO소자의 누설전류는 3[kV]용 ZnO소자보다 약간 작게 나타났지만 전반적으로 3[kV]용 ZnO소자의 특성과 대체로 비슷한 경향을 나타내었다.

4.2 고장조건별 누설전류

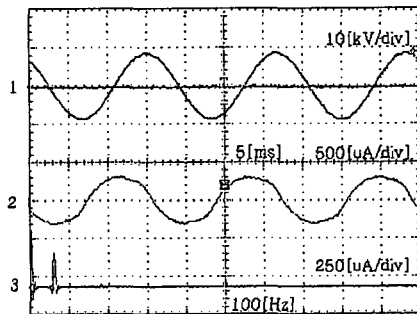
3상 수배전계통에서 발생할 수 고장조건에 따른 ZnO소자에 흐르는 누설전류에 미치는 영향을 분석하기 위해 1선 지락고장, 2선 지락고장, 선간단락인 경우 표 1과 같은 조건으로 각 상에 전압을 인가하고 ZnO소자에 흐르는 누설전류와 누설전류의 고조파 성분을 분석하였으며, 인가전압과 누설전류의 대표적인 파형을 그림 5에 나타내었다.

1선 지락고장이 발생한 때 정격전압이 3[kV]인 ZnO소자에는 b상과 c상에는 동작개시전압(5[kV])보다 높은 피크전압(5.4[kV])이 인가되기 때문에 누설전류의 피크치는 약 900[μA] 정도로 매우 많이 흐르는 것을 알 수 있다. 또한 정격전압이 6[kV]인 ZnO소자에는 b상과 c상에는 동작개시전압(10[kV])보다 높은 피크전압(10.8[kV])이 인가되기 때문에 누설전류의 피크치는 약 1.7[mA] 정도로 매우 크게 흐르는 것을 알 수 있다. 누설전류의 고조파 성분을 분석한 결과 두 가지 배전용 피뢰기의 산화아연소자의 누설전류에는 기본파 성분이 주를 이루었고, 제 3고조파 성분이 매우 적게 나타났다.

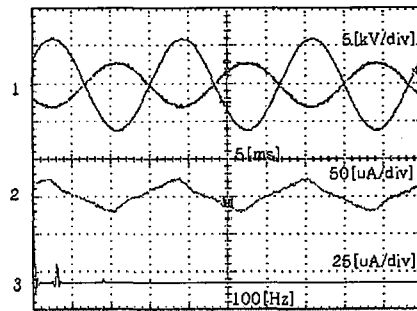
2선 지락고장의 조건에서 a상에 인가한 전압이 동작개시전압 정도의 전압이므로 저항성 누설전류가 미소하게 포함되어 나타나지만 대부분은 용량성 성분의 전류로서 전체 누설전류의 크기는 각각 300 [μA], 370[μA] 정도로 1선 지락고장에 의한 누설전류 보다는 작은 값으로 나타났다. 또한 선간단락 고장 조건에서 인가전압의 최대값을 갖는 부분에서 위상



(a) 1선 지락



(b) 2선 지락



(c) 선간 단락

1 : 각 상의 전압 2 : 누설전류 3 : 누설전류의 FFT

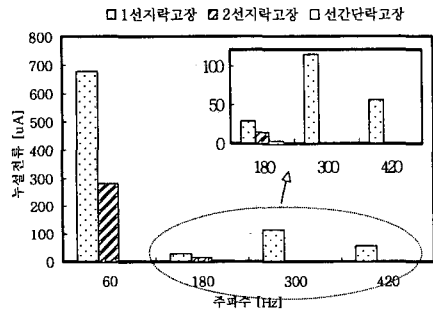
그림 5. 고장조건별 인가전압과 ZnO소자에 흐르는 누설전류의 대표적 파형(정격전압 6[kV]인 ZnO소자)

Fig. 5. Typical waveforms of the incident voltage and leakage currents flowing through ZnO elements by fault conditions(ZnO block for the rated voltage of 6[kV])

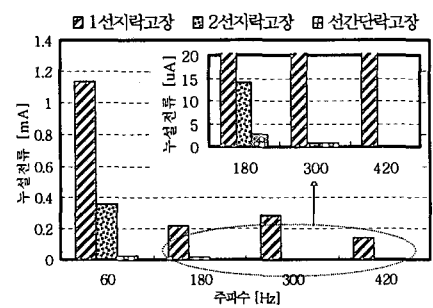
이 180[°]차이가 나기 때문에 전압이 서로 상쇄되어 누설전류는 비교적 적게 흘렀다.

고장조건별 ZnO소자에 흐르는 누설전류의 고조파 성분의 분포를 그림 6에 나타내었다. 그림 6(a),

(b) 모두 3상이 평형일 경우와 비교하여 1선 지락고장, 2선 지락고장의 누설전류는 매우 크게 나타났으며, 선간단락 고장에 의해서는 피뢰기에 흐르는 누설전류는 매우 미약하였음을 알 수 있다. 특히 1선 지락고장이 발생한 경우는 피뢰기의 동작이 개시되는 약 1[mA]의 전류가 흐르므로 상용 주파전압에 의해 동작할 수도 있어 이에 의해 동작하면 소손의 가능성도 있을 수 있다고 판단된다. 고장조건에 따라서 발생하는 이상전압에 의해 ZnO소자에 흐르는 누설전류는 기본파 전류가 가장 크게 나타났으며, 고조파 성분은 상대적으로 작게 나타났다. 또한 1선 지락의 경우 제 3고조파 성분이 비교적 작았으며, 제 5고조파나 제 7고조파 성분보다도 작게 나타났다.



(a) 정격전압 3[kV]인 ZnO소자



(b) 정격전압 6[kV]인 ZnO소자

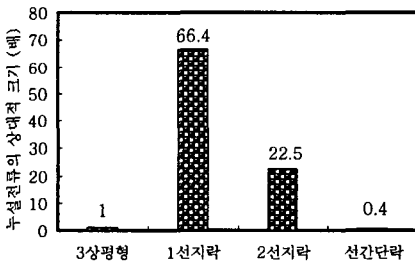
그림 6. 고장조건별 누설전류의 고조파 성분의 분포  
Fig. 6. Distributions of harmonic components of the leakage currents by fault conditions

정상운전상태인 3상 평형전압이 인가된 경우를 기준으로 고장조건별 ZnO소자에 흐른 누설전류의 크기를 비교하여 그림 7에 나타내었다. 그림 7 (a)의 정격전압이 3[kV]인 ZnO소자에 흐르는 누설전류는

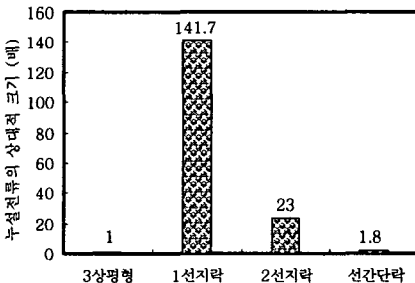
## 수배전계통의 여러 가지 고장조건에서 피뢰기에 흐르는 누설전류

3상 평형전압인 경우의 누설전류를 1로 하였을 때 1선 지락고장이 발생하면 그 크기가 약 66배로 다른 고장조건에 비해서 크게 증가하였다. 또한 그림 7 (b)의 정격전압이 6[kV]인 ZnO소자의 경우 1선 지락고장이 발생한 때에 흐르는 누설전류는 정상운전전압이 인가된 경우보다 대략 142배로 다른 고장조건에 비해서 현저하게 큰 값을 나타냈다. 이는 1선 지락고장에 의해서 건전상에 나타나는 전압이 ZnO소자의 동작개시전압보다 높은 전압이 가해지므로 전압이 중첩되는 부분에서 저항성 누설전류가 크게 증가하여 나타나기 때문이다.

2선 지락고장의 경우도 누설전류의 크기가 각각 22.5배, 23배로 다소 많은 누설전류가 흘렀고, 선간 단락고장의 경우에는 그림 7 (a)의 정격전압이 3[kV]인 ZnO소자에 흐르는 누설전류는 오히려 3상 평형전압이 인가된 경우보다 작게 흘렀으나 그림 7 (b)의 6[kV]인 ZnO소자의 경우에는 크기가 약 1.8배 정도로 다른 고장조건에 비하여 비교적 작은 값을 알 수 있다.



(a) 정격전압 3[kV]인 ZnO소자



(b) 정격전압 6[kV]인 ZnO소자

그림 7. 고장조건별 ZnO소자에 흐르는 누설전류의 비교  
Fig. 7. Comparison of the leakage currents flowing through by fault conditions

3상 수배전계통에서 발생할 수 있는 여러 고장조건 중에서 1선 지락고장이 발생하면 건전상에 나타나는 전압이 배전용 피뢰기의 동작개시전압보다 약간 높은 전압으로 되므로 피뢰기의 누설전류가 과다하게 흐르는 가혹한 조건이 된다. 특히, 1선 지락고장의 지속시간이 수 초 이상 지속될 경우 피뢰기 소자의 발열을 야기하여 심각한 손상을 초래할 수 있으므로 신속한 고장의 검출을 통한 정상상태로의 회복이 이루어져야 한다.

## 5. 결 론

3상 배전계통에서 발생할 수 있는 여러 가지 고장조건과 허용 전압변동률에 대한 배전용 피뢰기를 통해 흐르는 누설전류에 미치는 영향에 대한 모의실험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 3상의 전압이 모두 평형을 이루었을 때 산화아연형 피뢰기를 통해 흐르는 누설전류는 주로 제3고조파 성분이었으며, 전압변동률의 허용치인  $\pm 10\%$ 의 전압변동은 누설전류의 크기에 거의 영향을 미치지 않았다. 따라서 유효접지계통에서의 고장에 의한 단시간 과전압이 피뢰기에 미치는 영향은 거의 없는 것으로 볼 수 있다.

(2) 비접지방식과 같은 비유효접지계통의 3상 수배전계통에서 1선 지락 고장이 발생한 경우 피뢰기에 흐르는 누설전류의 최대값은 3상이 평형일 때와 비교하면 정격전압 6[kV]용 ZnO소자의 경우에는 약 140배이고, 정격전압 3[kV]용 ZnO소자의 경우에는 약 66배 정도로 매우 큰 값으로 나타났다. 따라서 비유효접지계통의 1선 지락고장은 2선 지락고장이나 선간단락 고장보다도 피뢰기에 가혹한 상태로 되어 피뢰기의 열화에 영향을 미칠 수도 있을 것으로 예상된다.

이 논문은 산업자원부에서 시행하는 대학전력연구센터 지원·육성사업에 의해 작성되었습니다.

References

- [1] A. M. Plata and M. A. Ponce, "Degradation of ZnO based surge arresters under field conditions", IEE Proc. Vol. 143, No. 5, pp.291~297, 1996.
- [2] W. G. carlson, T. K. Gupta and A. Sweetana "A procedure for estimating the life time of gapless metal oxide surge arresters for AC application", IEEE Trans, Vol. PWRD-1, No. 2, pp.67~74, 1986.
- [3] J. Lundquist, L. Stensrom and A. Schei, B. Hansen, "New method for measurement of resistive leakage currents of metal-oxide surge arrester in service", IEEE Trans, Vol.5, No 4, pp.1811~1822, 1990.
- [4] Bok-Hee Lee, Sung-Man Kang, Ju-Hong Eom and Tatsuo Kawamura, "A Monitoring Device of Leakage Currents Flowing through ZnO Surge Arresters" Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 42Pt 1, No. 4A, pp.1568-1574, 2003.
- [5] Bok-Hee Lee, Sung-Man Kang, "A Detection Method of Resistive Leakage Current Flowing through ZnO Arrester Blocks", Journal of the KIEE, Vol.15, No.3, pp.67~73, 2001.
- [6] Bok-Hee Lee, Sung-Man Kang, IN-Sun Ryu, "Effective Installations Technique of Grounding Conductors for Metal Oxide Surge Arresters", Trans. KIEE, Vol.51C, No.6, pp.253~259, 2002.
- [7] Bok-Hee Lee, Seung-Chil Lee, "Protection of Information and Communication Facilities against Lightning, Inha university, pp.11~40, 2004.2.
- [8] Bok-Hee Lee, "電力傳送工學", 普成文化社, pp.138~140, 2001.2.
- [9] 新田目 倅造 原菴, "電力系統技術計算 応用", 日吉出版 發售, pp134~152, 2000.1.

◇ 저자소개 ◇

**이복희 (李福熙)**

1954년 6월 29일생. 1980년 2월 인하 대 공대 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1988~1989년 동경대학 생산기술연구소 객원연구원. 1995년 호주 Queensland대학 방문교수. 현재 인하대 공대 전자전기공학부 교수. 인하대학교 차세대고전압 전력기술연구센터 소장.  
Tel : (032)860-7398, Fax : (032) 875-1276,  
E-mail : bhlee@inha.ac.kr

**김형준 (吉亨準)**

1969년 8월 27일생. 1997년 2월 인하대 공대 전기공학과 졸업. 1999년 2월 인하대 대학원 졸업(석사). 현재 한국전기안전공사 부설 전기안전연구원 근무. 인하대 대학원 전기공학과 박사과정.  
E-mail : g2001100@inhavision.inha.ac.kr

**강성만 (姜成萬)**

1973년 4월 6일생. 1998년 2월 인하대 공대 전기공학과 졸업. 2004년 2월 인하대 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 인하대 차세대고전압전력기술연구센터 박사후 연구원.  
Tel : (032)860-7398, Fax : (032)875-1276,  
E-mail : webmaster@smilepia.com

**최휘성 (崔揮聖)**

1978년 1월 19일생. 2003년 2월 인하대 공대 전기공학과 졸업. 2004년 현재 인하대 대학원 전기공학과 석사과정.  
E-mail : g2031089@inhavision.inha.ac.kr