

# 뇌충격전류에 의한 산화아연형 피뢰기 소자의 전기적 특성변화

論 文  
48C-7-9

## Change of Electrical Characteristics of ZnO Arrester Blocks by Lightning Impulse Current

吉 曠 碩\* · 韓 柱 燮\*\* · 朴 永 浩\*\*\*  
(Gyung-Suk Kil · Joo-Sup Han · Young-Ho Park)

**Abstract** - This paper deals with the effect of lightning impulse current on electrical characteristics of ZnO blocks used in distribution lightning arrester. The electrical characteristics of ZnO blocks are degraded by overtime impulse current, and the degraded ZnO block is brought to a thermal runaway and finally destroyed. It is therefore important to estimate the change of electrical characteristics of ZnO blocks. In this study, an impulse current generator which can produce 8/20[ $\mu$ s], 3[kA] and 4/10[ $\mu$ s], 5[kA] waveform is designed and fabricated to simulate the lightning impulse current of power systems. Total energy applied to the ZnO blocks at each time is 739[J] in 8/20[ $\mu$ s] and 523[J] in 4/10[ $\mu$ s] impulse current, respectively. From the experimental results, the 3rd harmonic of the leakage current increases continuously with the number of applied impulse current, but no significant changes in residual voltage and in reference voltage are observed until the ZnO block is destroyed. Also, it is confirmed that the main factor on degradation of ZnO blocks is rather the total energy applied to ZnO blocks than the peak value of the impulse current.

**Key Words** : ZnO blocks, lightning arrester, leakage current, impulse current, residual voltage, reference voltage

### 1. 서 론

피뢰기(Lightning Arrester)는 뇌(雷) 또는 전력설비의 운전 조작에 의해 발생하는 이상전압을 전력계통에 설치된 변압기, 차단기 등과 같은 중전기기의 절연레벨 이하로 억제시켜 보호하는 역할을 한다. 1980년대 중반 이후부터는 기존의 탄화규소(SiC)형 피뢰기에 비하여 전압-전류의 비선형 저항 특성이 우수한 산화아연(ZnO)형 피뢰기가 연구·개발되어 광범위하게 설치되고 있으며[1, 2], ZnO 소자의 개발로 피뢰기의 보호능력이 현저하게 향상되었으나, 아직도 전력계통에서 피뢰기의 열화로 인한 사고는 수[%] 이상을 차지하고 있다.

특히, 특고압 배전선로와 같은 전력계통에서는 부하설비들이 광범위하게 분포하여 피뢰기의 설치개수가 많아지고, 이것들의 복잡한 연계로 인하여 이상전압의 발생빈도가 높아져 피뢰기의 보호동작이 빈번해지며, 이들 과정에서 피뢰기는 많은 열화가 진전된다. 이렇게 열화된 피뢰기가 전력계통에 계속 설치되어 있으면 상용주파수 교류전압에서 과열 또는 그 후 계속되는 보호동작으로 피뢰기가 폭발이나 지락사고로 진전하여 2차적인 경제적, 기술적 사고를 유발시킨다

따라서 전력계통에서 운전 중 피뢰기의 열화를 사전에 진단하고, 사고 유발 가능성이 있는 피뢰기를 전력계통에서 미리 제거함으로써 피뢰기에 의한 사고를 방지하여 전력공급의 신뢰성 향상에 관한 연구가 국내·외적으로 활발히 진행되고 있다[3, 4].

현재까지 ZnO 피뢰기의 열화평가는 여러 가지 방법들이 제안되어 왔으며, 주로 동작전압, 제한전압, 최대연속 동작전압(MCOV)에서의 손실전력, 누설전류 등의 비교·측정과 독립적인 상태에서의 정전용량 측정에 의한 것들이다. 그 중에서도 저항분 누설전류는 전력계통에서 운전 중에도 측정할 수 있어 많은 연구가 이 방식에 집중되고 있다[5-7].

본 논문에서는 ZnO 피뢰기의 열화판단기준을 수립하기 위한 기초자료를 확보하여 ZnO 소자의 주된 열화원인인 뇌충격전류를 인위적으로 인가시켜, 뇌충격전류의 반복인가에 의한 ZnO 소자의 특성변화에 대해서 중점적으로 연구하였다. 실험은 피뢰기에 대한 국내·외 시험기준(IEC, IEEE)의 일부를 적용하였으며[8, 9], 온도와 전압변화에 따른 기본 특성실험과 뇌충격전류의 인가에 의한 특성변화를 비교·분석하였다.

### 2. 실험장치 및 방법

배전용 피뢰기에 사용되는 ZnO 소자의 뇌충격전류에 의한 특성변화를 파악하기 위해서는 배전선로의 정상운전상태와 같은 조건의 상용주파수 교류전압과 뇌충격전류의 발생이 요구된다. 또한 ZnO 피뢰기 소자는 주위온도의 증가에 따라 누설전류가 변화하며 사계절이 뚜렷한 우리나라에서는 계절에

\* 正 會 員 : 韓 國 海 洋 大 工 大 電 氣 工 學 科 助 教 授 · 工 博  
\*\* 正 會 員 : 韓 國 海 洋 大 工 大 電 氣 工 學 科 博 士 課 程  
\*\*\* 準 會 員 : 韓 國 海 洋 大 工 大 電 氣 工 學 科 碩 士 課 程  
接受日字 : 1999年 2月 11日  
最終完了 : 1999年 6月 4日

따라 온도차가 발생하므로, 온도변화에 대한 ZnO 소자의 특성변화를 파악할 필요가 있다[10]. 따라서 본 연구에서는 상용주파수 교류전압 인가장치와 4/10[ $\mu$ s]와 8/20[ $\mu$ s]를 발생시킬 수 있는 뇌충격전류 발생장치를 설계·제작하였으며, 누설전류의 측정과 분석을 위한 능동성 저역통과 필터와 대역통과 필터의 누설전류 측정계를 구성하였다. 이와 같은 실험장치를 이용하여 초기에 ZnO 소자의 기본적인 전기적 특성을 파악하여 비교 자료로 적용하고, 뇌충격전류를 군단위 또는 연속적으로 인가하면서 동작전압, 제한전압, 누설전류의 변화를 관측하였다.

본 연구에서 사용한 ZnO 소자의 전기적 특성은 표 1과 같으며, 특고압 배전용 피뢰기(애관내에 ZnO 소자 4개로 구성)에 사용되는 소자로, 22.9[kV-y] 특고압 배전선로의 정상 운전조건에서 ZnO 소자 1개의 양단에는 3.3[kV<sub>rms</sub>]가 인가된다.

표 1 ZnO 소자의 전기적 특성

Table 1 Electrical characteristics of the ZnO block

정격전압	4.5[kV <sub>rms</sub> ]
정격방전전류	5[kA <sub>crest</sub> ]
최대연속 운전전압	3.825[kV <sub>rms</sub> ]
동작전압	AC 4.8~5.91[kV <sub>rms</sub> ] at 1[mA]
	DC 6.8~8.10[kV] at 1[mA]

2.1 실험장치 및 측정계

ZnO 소자의 뇌충격전류에 의한 전기적 특성변화에 관한 연구를 수행하기 위하여 그림 1과 같이 실험장치 및 측정계를 설계·제작하였으며, 그림 2는 전체 실험장치의 사진을 나타낸 것이다.

직류 고전압 발생장치, 뇌충격전류 발생장치, 상용주파수 교류전압 인가장치, 전압·전류조정회로 및 측정회로로 구성되고, 뇌충격전류 발생장치는 최대 4/10[ $\mu$ s] 5[kA]와 8/20[ $\mu$ s] 3[kA]를 발생시킬 수 있다.

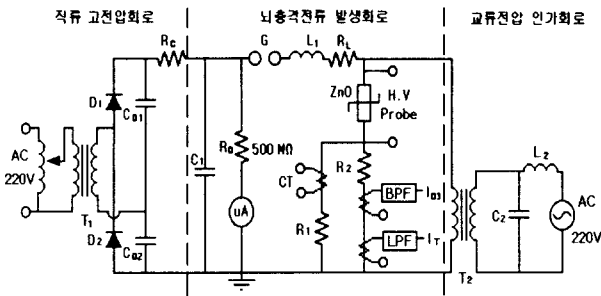


그림 1 실험장치 및 측정계의 구성  
Fig. 1 Configuration of the experimental apparatus and measurement system

시험용 변압기 T<sub>1</sub> (AC 220[V]/50[kV], 3[kVA])에 의해 뇌충격전류 발생회로의 충전전압을 가감하여 발생하는 충격전류의 크기를 조절할 수 있으며, L<sub>1</sub>과 R<sub>1</sub>의 조정에 의해 4/10[ $\mu$ s]와 8/20[ $\mu$ s]의 전류로 전환하여 발생시킬 수 있다.

T<sub>1</sub>의 출력전압은 배전압 정류회로와 충전저항 R<sub>c</sub>를 통해 뇌충격전류 발생장치의 고전압 캐패시터 C<sub>1</sub>을 충전시키며, 충전전압은 500[M $\Omega$ ]의 고저항과 미소전류 측정용 직류전류계 (DC 0~3000[ $\mu$ A])에 의하여 측정한다. 또한 뇌충격전류를 일정 간격으로 인가하기 위하여 방전캡은 타이머와 직류전동기를 이용해서 자동적으로 제어하며, 방전캡의 동작으로 ZnO 소자에 충격전류가 인가된다.

ZnO 소자 양단의 제한전압은 1000 : 1 고전압 프로브 (Tek. 6015A, 40[kV], DC~75[MHz])로 측정하고, 방전전류는 R<sub>1</sub>과 R<sub>2</sub>로 구성된 저항 분류회로에서 관통형 변류기(Tek. CT-2, 1.2[kHz]~200[MHz], 1[mV]/[mA])로 측정된다. 배전선로와 같은 조건의 상용주파수 교류전압은 양질의 전원공급을 위하여 L<sub>2</sub>와 C<sub>2</sub>의 저역통과 필터를 통한 후, 승압변압기에 의해 고전압으로 변성시켜 상시 인가되도록 하였다.

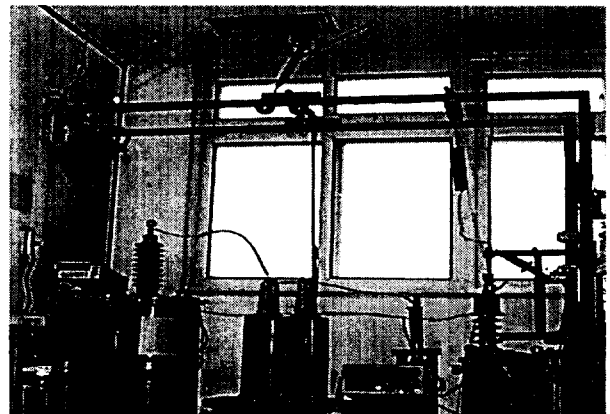


그림 2 실험장치의 사진  
Fig. 2 Photograph of the experimental apparatus

2.2 누설전류 측정장치

ZnO 소자를 흐르는 누설전류의 크기는 소자의 열화진전을 관측할 수 있는 중요한 파라미터이다. 본 연구에서는 ZnO 소자와 집지단자 사이에 관통형 변류기를 설치하여 ZnO 소자를 흐르는 누설전류를 상시 검출하였다. ZnO 소자의 정격전압에서 전체 누설전류는 수 백[ $\mu$ A] 정도로 대단히 작기 때문에 연산증폭기(OP-Amp)를 이용한 차동증폭기를 구성하였으며, 누설전류성분 중에서 저항분 누설전류의 변화를 분석하기 위하여 저역통과 필터와 대역통과 필터를 설계·제작하였다<sup>[11]</sup>.

저역통과 필터는 Butter worth형의 2차 VCVS(Voltage Controlled Voltage Source)회로로 입력신호의 9조파까지 신호를 얻기 위하여 차단주파수 f<sub>c</sub>를 540[Hz]로 설정하였다.

대역통과 필터는 저역통과 필터를 2단 회로로 구성하였다. 대역통과 필터의 중심주파수 f<sub>0</sub>는 상용주파수 교류전압의 3조파인 180[Hz]로 정하였으며, 이득 G<sub>0</sub>는 1.32, 공진의 첨예도 Q는 10으로 하여 가능한 한 3조파 성분만이 검출되도록 하였다.

2.3 실험방법

실험은 ZnO 소자의 기본특성을 분석하고, 뇌충격전류의 인가에 따른 ZnO 소자의 특성변화를 비교·분석하는 순서로

하였다.

기본특성 실험에서는 온도와 전압 증가에 따른 ZnO 소자의 누설전류와 동작전압을 측정하였다. 온도변화에 따른 ZnO 소자의 누설전류의 측정은 ZnO 소자를 20~100[°C]로 일정시간 가열한 상태에서 정상상태 운전전압을 15초간 인가한 후, 필터를 통해 누설전류를 측정하였다.

뇌충격전류의 인가에 의한 특성평가는 뇌충격전류를 군단위 또는 연속적인 방법으로 인가하면서 필터를 통해 누설전류를 측정하고, 뇌충격전류의 인가시(1분 간격)마다 방전전류와 제한전압을 측정하였다.

뇌충격전류의 군단위 인가방법에서는 군단위 마다 1시간 동안 충분히 냉각시킨 후, ZnO 소자가 파괴될 때까지 반복해서 실험하였으며, 연속적인 인가방법에서는 냉각하지 않고 주위온도에서 1분 간격으로 충격전류를 인가하면서 누설전류, 제한전압, 방전전류 및 동작전압의 변화를 측정하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

뇌충격전류에 의한 ZnO 소자의 전기적 특성변화를 파악하기 위하여, ZnO 소자의 기본특성과 4/10[μs], 8/20[μs]의 뇌충격전류에 의한 특성변화를 기술하였으며, 실험에는 국내 특고압 배전선로의 대지전압 13.2[kV]를 기준으로 적용하였다.

#### 3.1 기본특성 실험

본 실험에 적용한 ZnO 소자 1개의 정격전압은 4.5[kV]이며, 여기에 가해지는 배전시스템의 운전전압은 3.3[kV]이다. 따라서 IEC규격에 의한 누설전류의 측정은 ZnO 소자의 정격전압에 대해 40[%], 60[%], 80[%], 100[%]인 1.8[kV], 2.7[kV], 3.6[kV], 4.5[kV]와 배전선로의 정상 운전전압인 3.3[kV]에서 측정하였다.

그림 3은 각각의 측정전압에서 ZnO 소자에 흐르는 전체 누설전류와 전체 누설전류의 3조파 성분을 나타낸 것이다.

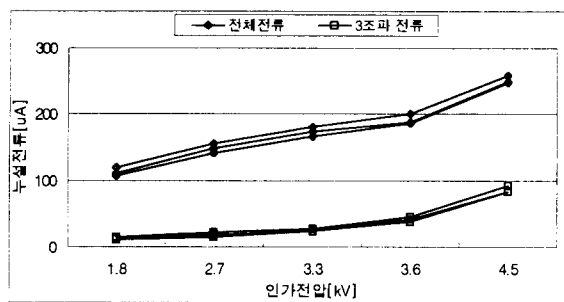


그림 3 교류전압에서 누설전류의 변화  
Fig. 3 Changes of leakage current to AC applied voltage

ZnO 소자를 흐르는 전체 누설전류 중에서 용량분 전류는 크고 저항분 누설전류는 대단히 적기 때문에 전체 누설전류의 크기에 비하여 저항분 누설전류와 관련된 3조파 누설전류는 적게 나타났다. 인가전압이 증가하면 누설전류도 함께 증가함을 알 수 있는데, 이는 저전계영역(최대운전전압 이하)에서 입자의 경계층(입계)에 나타나는 전장의 세기가 증가할 때, 전위장벽이 낮아지기 때문이다<sup>[12]</sup>.

신품 ZnO 소자는 운전전압 3.3[kV]에서 전체 누설전류는 167~180[μA]이었으며, 3조파 누설전류는 전체 누설전류의 약 15[%]인 24~28[μA]로 나타났다.

그림 4는 직류전압에서의 누설전류 특성을 나타낸 것으로 교류 실효값 정격전압을 최대값으로 환산된 직류전압에서 평가하였다. 상용주파수 교류전압을 인가하였을 때의 누설전류보다 대단히 적은 값으로, ZnO 소자의 용량분 전류는 흐르지 않고 누설저항에 의한 전류만 나타나기 때문이다.

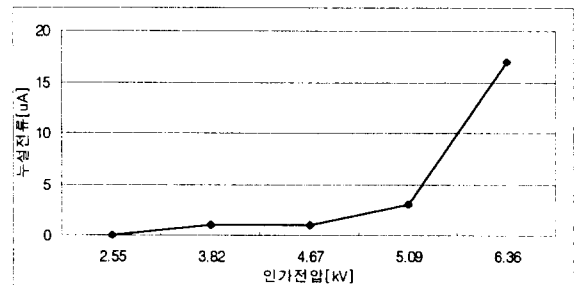


그림 4 직류전압에서 누설전류의 변화  
Fig. 4 Changes of leakage current to DC applied voltage

또한 ZnO 소자는 배전선로의 운전전압이 가해진 상태에서도 계절에 따라 온도가 변화하므로, ZnO 소자의 온도변화에 대한 누설전류 특성을 조사하였다. 가열장치 내에 ZnO 소자를 설치하고 3.3[kV]의 상용주파수 교류전압을 인가한 다음, 설정온도 20[°C]부터 100[°C]까지 측정하고 각 온도에서 5분간 유지한 후 측정된 결과를 그림 5에 나타내었다.

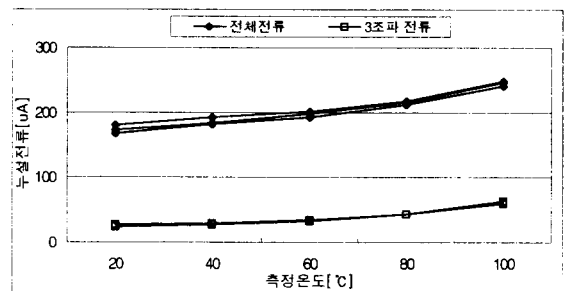


그림 5 주위 온도에 대한 누설전류의 변화  
Fig. 5 Changes of leakage current to ambient temperatures

온도증가에 따라 전체 누설전류와 3조파 누설전류가 증가하는 것을 알 수 있으며, 20[°C]에서는 전체 누설전류에 대하여 3조파 성분이 14[%]정도 되지만, 60[°C]에서는 17[%], 100[°C]에서는 25[%] 이상이 되는 것을 알 수 있다.

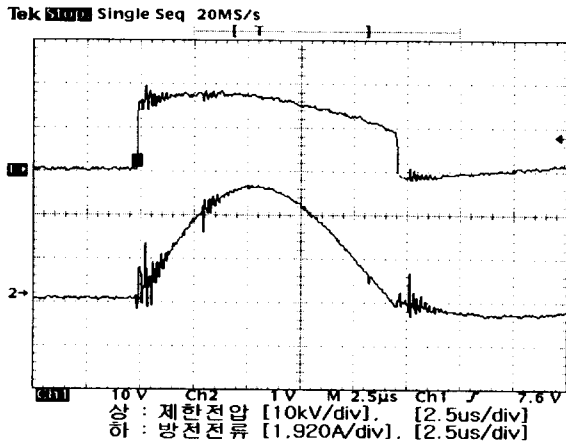
이러한 현상은 ZnO 소자를 구성하는 혼합물 중에서 Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 성분이 온도가 증가함에 따라 누설저항이 지수함수적으로 감소하여, 전체 누설전류 중 저항분 누설전류(I<sub>R</sub>)가 다음 식과 같이 증가하여 3조파 누설전류로 검출되기 때문이다.<sup>[12]</sup>

$$I_R = A \exp^{-1/T} \quad (1)$$

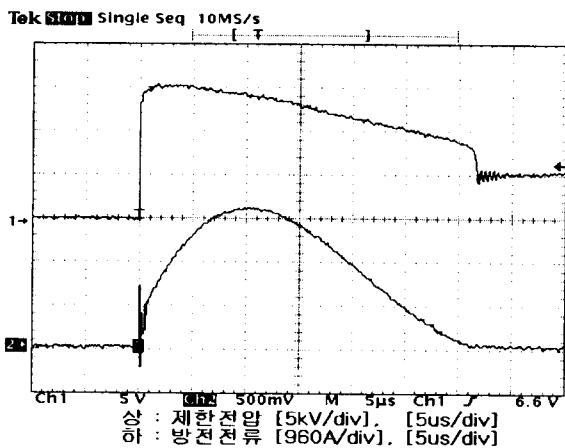
여기서  $A$ 는 비례상수,  $T$ 는 절대온도[°K]를 나타낸다.

### 3.2 뇌충격전류 인가에 의한 실험

뇌충격전류 인가에 의한 상용주파수 교류전압 3.3[kV]에서 누설전류의 변화와 동작전압의 특성 변화를 측정·분석하였다. 그림 6은 8/20[ $\mu$ s] 3[kA]와 4/10[ $\mu$ s] 5[kA]의 뇌충격전류를 ZnO 소자에 인가할 때, 제한전압과 방전전류의 파형을 나타낸 것이다. 이 때 1회에 인가되는 에너지는 8/20[ $\mu$ s] 3[kA]에서 739[J], 4/10[ $\mu$ s] 5[kA]에서 528[J]로, 충격전류의 최대값은 4/10[ $\mu$ s]가 크지만, 에너지량은 8/20[ $\mu$ s]가 크게 되는 조건이다.



(a) 4/10[ $\mu$ s] 인가시의 예



(b) 8/20[ $\mu$ s] 인가시의 예

그림 6 제한전압과 방전전류 파형 예  
Fig. 6 Typical waveforms of residual voltage and discharge current

정상적인 ZnO 소자는 측정된 전압·전류 파형으로부터 알 수 있는 바와 같이 이상전압에 대한 보호동작으로 과도준도에 대응하는 ZnO 소자의 제한전압 이하로 이상전압을 억제하며, ZnO 소자에는 일정한 뇌충격전류가 흐르게 된다. 또한 그림 7에는 ZnO 소자가 뇌충격전류에 의해 파괴될 때 ZnO 소자 양단의 제한전압과 소자를 흐르는 방전전류 파형을 나타낸 것이다. 그림 7의 경우 뇌충격전류가 흐르기 시작하여

약 6[ $\mu$ s]에서 ZnO 소자가 파괴됨을 알 수 있다. 이와 같이 뇌충격전류를 인가할 때마다 ZnO 소자 양단의 제한전압과 소자를 흐르는 방전전류를 관찰함으로써 ZnO 소자의 상태를 판별할 수 있으므로, 본 연구에서는 매 회 제한전압과 방전전류를 측정하고 누설전류의 변화특성을 분석하였다.

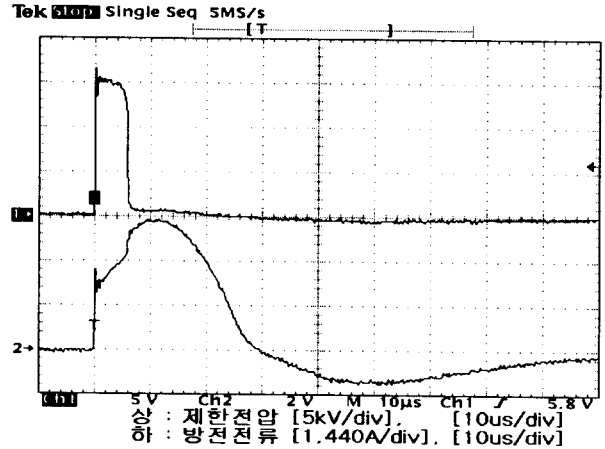


그림 7 ZnO 소자 파괴시 제한전압과 방전전류 파형 예  
Fig. 7 Typical waveforms of residual voltage and discharge current when a ZnO block is destroyed

그림 8은 뇌충격전류 인가에 의한 ZnO 소자의 동작전압과 제한전압의 변화를 나타낸 것으로, 수 백 회의 뇌충격전류를 인가하더라도 동작전압과 제한전압에는 거의 변화가 없었으며, 동작전압은 파괴 직전에서 그리고 제한전압은 파괴 후에 급격히 감소하는 경향을 나타내었다.

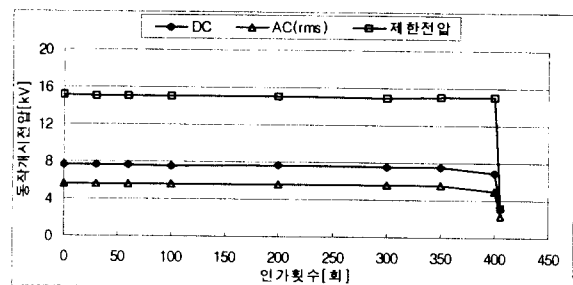


그림 8 8/20[ $\mu$ s] 뇌충격전류에 의한 동작전압과 제한전압의 변화  
Fig. 8 Change of the reference voltage and residual voltage to applied number of 8/20[ $\mu$ s] lightning impulse current

그림 9는 ZnO 소자에 상용주파수 교류전압 3.3[kV]가 가해진 상태에서 뇌충격전류의 군단위 인가에 의한 ZnO 소자의 누설전류의 변화특성을 나타낸 것으로, 8/20[ $\mu$ s]와 4/10[ $\mu$ s]의 뇌충격전류를 1분 간격으로 30회 인가 후 1시간 이상의 충분한 냉각과정을 반복하면서 전체 누설전류와 3조파 누설전류를 측정하였다. 뇌충격전류의 인가에 따라 ZnO 소자를 흐르는 누설전류는 초기에 급격히 증가한 후 서서히 증가하는 특성을 나타내었고, 매 군마다 냉각 후에 처음 인가시는 ZnO

소자의 온도가 낮기 때문에 누설전류도 감소되어 측정되었다. 그러나 수 회 정도의 뇌충격전류를 인가하면 ZnO 소자는 약 80[°C]로 다시 가열되고 뇌충격전류를 흡수하여 열화가 진전되면서 저항분 누설전류인 3조파 누설전류는 비교적 빠른 증가를 보였으며, 전체 누설전류는 저항분 누설전류의 증가에 의해 서서히 증가함을 알 수 있다. 뇌충격전류에 의한 ZnO 소자의 누설전류 증가는 입자의 계면과 불순물 주위에 반복적인 전기적인 스트레스가 집중되면서 국부적인 열이 발생하고, 입자가 성장하는 재소결 과정 때문에 발생하는 것이다.

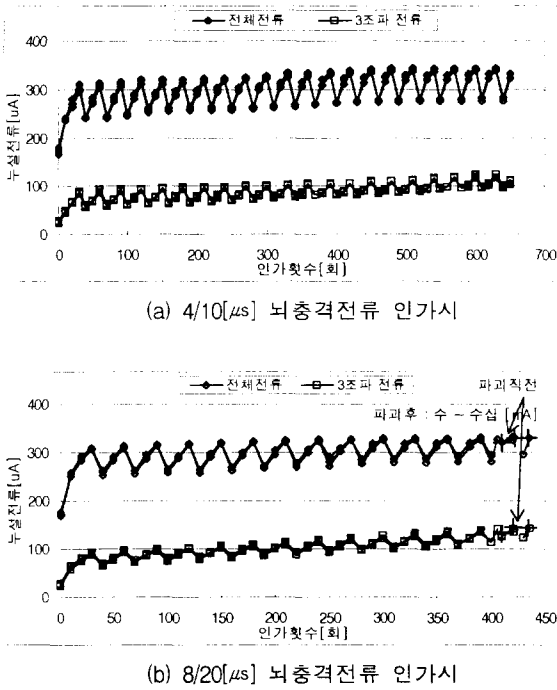


그림 9 뇌충격전류의 군단위 인가시험에 의한 누설전류 변화

Fig. 9 Changes of leakage current to applied number of impulse current in the condition of group-test

본 연구에서 사용한 ZnO 소자는 8/20[μs] 뇌충격전류의 군단위 인가시험에서는 406회, 421회, 436회에서 각각 파괴되었으며, 파괴된 ZnO 소자는 상용주파수 교류전압 3.3[kV]에서 누설전류가 1[mA] 이상이 되어 계속적으로 전력계통에 연결하였을 경우는 자체적으로 누설전류에 의해 과열상태를 나타내었다. 마찬가지로 배전선로의 파괴기도 열화된 소자를 내장하고 있으면, 배전선로의 운전전압에서도 과열상태가 지속되고 이로 인해 파괴기가 소손되면서 2차적인 지락사고로 진행될 수 있음을 확인하였다.

한편, 4/10[μs] 뇌충격전류의 군단위 인가시 ZnO 소자의 누설전류는 8/20[μs] 뇌충격전류 인가시에 비해 서서히 증가하였으며, 650회 이상에서도 파괴되지 않고 정상적으로 남아 있었다. 이것으로부터 ZnO 소자의 뇌충격전류에 의한 열화는 파형의 파두준도와 전류의 최대값보다 1회에 인가되는 에너지가 더 큰 영향을 미친다고 생각된다.

그림 10은 뇌충격전류의 군단위 실험과 동일한 조건에서 뇌충격전류를 연속적으로 인가할 때, 누설전류의 변화특성을

나타낸 것이다. 8/20[μs] 3[kA]의 뇌충격전류를 인가한 경우, 전체 누설전류와 3조파 누설전류의 크기는 약 50회 정도까지 급격히 증가하는 경향을 나타내었으며, 그 후 전체 누설전류는 서서히 증가하여 현저한 증가는 없었으나, 3조파 누설전류는 계속적인 증가를 나타내면서 실험에 사용한 소자 모두 200회 부근에서 파괴되었다. 4/10[μs] 5[kA]의 뇌충격전류를 인가한 경우에도 누설전류는 초기에 급격한 증가를 나타내었으며, 전체 누설전류와 3조파 누설전류 모두 증가하였으나 600회 이상에서도 파괴되지 않았다.

뇌충격전류의 군단위 실험과 비교하면 ZnO 소자가 가열된 상태에서 연속적으로 뇌충격전류가 인가되므로 누설전류도 크게 나타났으며, ZnO 소자가 파괴된 시기도 8/20[μs] 3[kA]의 군단위 평가에서 400회 이상이었으나, 연속인가 평가에서는 소자 모두 200회 부근에서 파괴되었다.

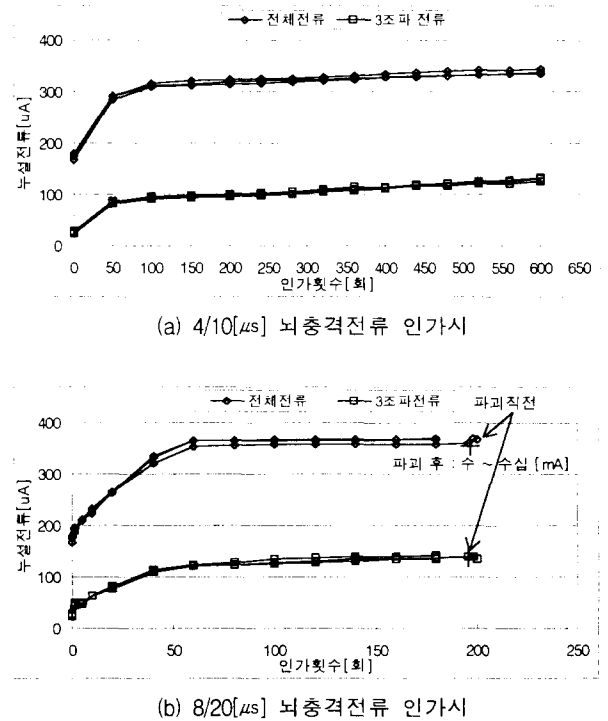


그림 10 뇌충격전류의 연속 인가시험에 의한 누설전류 변화

Fig. 10 Changes of leakage current to applied number of impulse current in the condition of continuous-test

이상의 실험과 같이 본 연구에서는 ZnO 소자에 여러 가지 방법으로 뇌충격전류를 인가하면서 ZnO 소자의 특성변화를 평가하였다. 이들 결과는 실험실 또는 전력계통상에서 파괴기의 열화를 판단하는 데 중요한 결과라고 생각된다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 뇌충격전류에 의한 ZnO 소자의 전기적 특성변화를 평가하기 위하여 뇌충격전류 발생장치와 누설전류 측정장치를 설계·제작하였으며, 기본실험과 뇌충격전류의 인가실험으로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 정상운전전압에서 ZnO 소자의 누설전류는 온도상승에 따라 증가하였으나, 정상상태의 ZnO 소자는 주위온도 40[°C]에서 열화가 진전된 ZnO 소자의 누설전류보다는 훨씬 작게 나타났다.
2. 상용주파수 교류고전압이 인가된 상태에서의 누설전류는 용량분이 대부분으로 저항분 누설전류는 매우 적게 나타났으며, 전체 누설전류의 3조파 성분으로 저항분 누설전류의 변화를 검출할 수 있었다.
3. ZnO 소자의 동작전압과 제한전압은 수 백 회의 뇌충격전류의 인가에도 거의 변화가 없었으며, 동작전압은 파괴 직전에서 그리고 제한전압은 파괴 후에 급격히 감소하는 경향을 나타내었다.
4. 뇌충격전류에 의한 ZnO 소자의 누설전류 변화에는 뇌충격전류의 파고값보다 1회에 인가되는 에너지량이 중요한 요소이며, 전체 누설전류는 초기에 급격하게 상승한 후 현저한 변화를 관측할 수 없었으나, 3조파 누설전류는 파괴직전까지 계속적인 증가를 나타내므로, 향후 송배전 계통에 설치된 피뢰기의 열화 판단기준에 적용할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 한 종류의 소자에 대하여 연구를 수행하였지만, 현재 국내 배전계통에는 4~5개 정도의 ZnO 소자가 사용되고 있으므로, 이에 대한 지속적인 연구를 수행할 예정이다.

**감사의 글**

본 연구는 1998년 한국과학재단(과제번호: 981-0903-011-1) 연구비 지원에 의하여 수행되었습니다.

**참 고 문 헌**

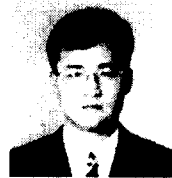
- [1] S. S. Kershaw, G. L. Gaibrois, K. B. Stump, "Applying metal-oxide surge arresters on distribution systems", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 4, No. 1, pp. 301~307, 1989.
- [2] A. Haddad et al, "An improved non-inductive impulse voltage measurement technique for ZnO surge arresters", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 10, No. 2, pp. 778~785, 1995.
- [3] S. Shirakawa et al, "Maintenance of surge arrester by portable arrester leakage current detector", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 3, No. 3, pp. 998~1003, 1988.
- [4] 길경석, 한주섭, 송재용, "뇌충격전류에 의한 산화아연형 피뢰기 소자의 전기적 특성변화" '98 대한전기학회 추계 학술대회 논문집, C권, pp. 907~909, 1998. 11.
- [5] J. Lundquist et al, "New method for measurement of the resistive leakage currents of metal-oxide surge arrester in service", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 5, No. 4, pp. 1811~1822, 1990.
- [6] 岡藤伸夫外 3人, "酸化亜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.

- [7] O. Nigol, "Methods for analyzing the performance of gapless metal oxide surge arresters", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 7, No. 3, pp. 1256~1262, 1992.
- [8] The Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., "IEEE Standard for Metal-Oxide Surge Arresters for AC Power Circuits", ANSI/IEEE C62.11-1987, New York, January 1987.
- [9] International Electrotechnical Commission, Technical Committee No. 37: "Surge Arresters, Metal Oxide Surge Arresters Without Gaps for AC System", Geneva, Switzerland, November 1991.
- [10] A. Bargigia et al, "Comparison of different test methods to assess the thermal stresses of metal oxide surge arresters under pollution conditions", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 8 No. 1, pp. 146~155, 1993.
- [11] Robert F. Coughlin et al., Operational Amplifiers and Linear Integrated Circuits, Prentice-Hall, 1987.
- [12] W. G. Carlson et al., "A procedure for estimating the lifetime of metal oxide surge arresters for AC application", IEEE Trans. on Power System, Vol. PWRD-1, No. 2, pp. 67~74, 1986.

**저 자 소 개**

**길 경 석 (吉 曠 碩)**

전기학회 논문지 제48C권 1호 참조  
 Tel : 051-410-4414, Fax : 051-403-1127  
 E-mail : kilgs@hanara.kmartime.ac.kr



**한 주 섭 (韓 柱 燮)**

1972년 1월 13일생. 1997년 2월 부경대학교 제어계측공학과 졸업. 1999년 2월 한국해양대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1999년 3월~동 대학원 전기공학과 박사과정.

Tel : 051-410-4893, Fax : 051-403-1127  
 E-mail : k997059@hanbada.kmaritime.ac.kr



**박 영 호 (朴 永 浩)**

1997년 2월 한국해양대학교 전기공학과 졸업. 1997년 3월~동 대학원 전기공학과 석사과정.

Tel : 051-410-4893, Fax : 051-403-1127  
 E-mail : pss002@chollian.net