

산화아연(ZnO) 피뢰기 소자와 전극사이에서 발생하는 방전광 특성

이복희, 박건영*, 감성만
 인하대학교 차세대 고전압전력기술연구소

The characteristics of the luminous events caused
 between the ZnO arrester block and electrode

B.H. Lee, K.Y. Pak*, S.M. Kang
 HEIRC, Inha Univ.

Abstract - The primary role of ZnO arresters is to protect transmission and distribution equipments against lightning surges. The extremely nonlinear V-I characteristics of the ZnO arrester obviates the need for isolation gaps and consequently it is continuously connected to line voltage. For this reason, ZnO arresters are degraded with increasing with time in actual power systems.

In this work, the characteristics of the luminous events between the ZnO block and electrodes were investigated. As a result, the luminous events were effected by the impulse and the near polarity of the luminous event was intense near the grounded electrode. Also the luminous event may cause the degradation of ZnO arrester block.

1. 서 론

송·배전계통에서 각종 서지 및 일시적인 과전압으로부터 계통의 보호용으로 사용하는 피뢰기는 현재 대부분 산화아연(이하 ZnO) 소자를 사용하고 있다. ZnO의 경우, 비선형성이 크고 서지내량이 우수하여 gapless형태로 피뢰기에 사용되고 있지만 gapless라는 특성상 항상 상용주파수 전압에 노출된 상태에서 각종 서지 및 과전압에 대한 책무를 수행하게 된다. 따라서 장시간 운용시 ZnO 소자는 차츰 열화된다. ZnO 소자의 열화에 대한 연구내용 중 다중 뇌임펄스에 관한 연구논문은 살펴보면^[1], ZnO 소자 및 이와 접촉한 전극사이에서 강한 방전광이 발생하는 것을 관찰할 수 있다. 이런 접촉면에서의 방전광 발생은 열을 수반하게 되며, ZnO 소자에도 열이 발생하게 된다. 이와 같은 현상이 반복되면서 그 효과 누적이되면 ZnO 소자의 성질이 변하게 되고, 결국에는 ZnO 소자가 피뢰기로서 본연의 성능을 발휘할 수 없게 된다. 따라서 방전광 현상은 ZnO 소자의 여러 열화 원인 중 한 요인으로 작용할 수 있으므로 이에 대한 연구 및 대책이 필요하다.

이런 이유로 많은 연구자들이 ZnO 피뢰기의 열화 원인 및 분석, 예측에 대한 연구를 진행해 왔는데, 본 논문에서는 이런 ZnO 피뢰기의 열화에 대한 연구 중 ZnO 소자와 상·하부 전극 사이에 발생하는 방전광 현상에 대해 연구를 수행하였다. 특히 방전광의 특성 및 그 원인과 이것이 ZnO 피뢰기의 열화에 미치는 영향에 대해 고찰해 보았다.

2. 실험

2.1 실험계 구성

ZnO 소자의 방전광 측정을 위해 그림1과 같이 실험계를 구성하였다. 8/20 μ s 뇌임펄스 전류 발생 장치와 ZnO소자 및 전극이 달린 지지대, 그리고 디지털카메라로 구성되어 있다.

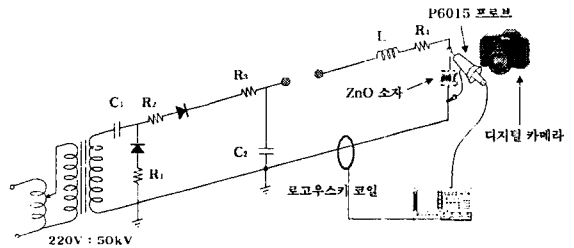


그림 1. 실험계 구성도
 Fig 1. Experimental set-up

실험에 사용한 ZnO 소자는 배전용 피뢰기에서 채취한 공칭방전전류 2.5kA로서 정격전압이 3kV이다. 8/20 μ s 뇌임펄스 방전전류의 크기는 약4.5kA였으며, 전류 측정용 로고우스키 코일 감도는 20[mV/kA]이다.

2.2 실험방법

실험에 사용한 피뢰기의 내부구조와 전극모델은 그림2에 나타내었다. 실제 제품화되어 쓰이고 있는 피뢰기에서의 방전광 특성을 살펴본 후 전극의 재질과 접촉면 조건을 변화시켜가면서 실험을 수행하였다. 전극의 재질 및 접촉면 조건의 변화에 대한 실험은 황동과 알루미늄으로 만든 전극을 사용하여 방전광 실험을 수행하였다. 접촉면은 두 경우 모두 ZnO 소자의 면적과 일치하는 면적을 가지는 전극으로 통일하였다.

3. 결과 및 고찰

모델 전극에 ZnO소자를 장착하고 뇌임펄스 전압을 인가하였을 때 전극과 ZnO 소자 사이에 발생하는 방전광을 관측한 결과를 그림3에 나타내었다. 뇌임펄스 전류 파형은 8/20 μ s이고, 방전전류의 크기는 약 4.5kA였다. 그림3의 결과를 살펴보면, 극성에 따라 위쪽 전극과 아래쪽 전극에서의 방전광의 크기가 달라짐을 확인할 수 있었다. 즉 접지방향(여기서는 뇌임펄스의 [-]극을 의미함)의 전극면에 방전광이 반대방향의 전극면보다 더 활발하게 발생하였다. 또한 부극성보다는 정극성 뇌임펄스에서 그 차이가 더 뚜렷하게 나타남을 확인할 수 있다.

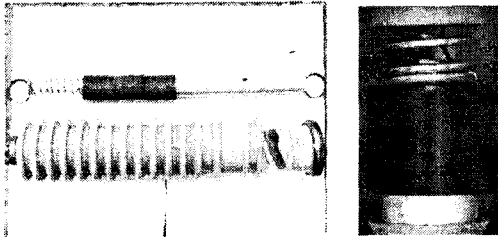
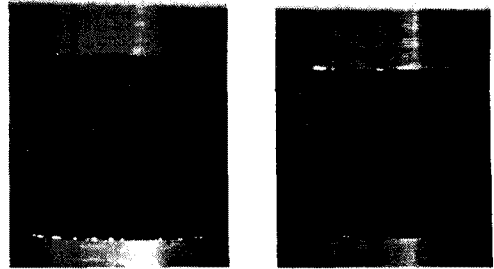
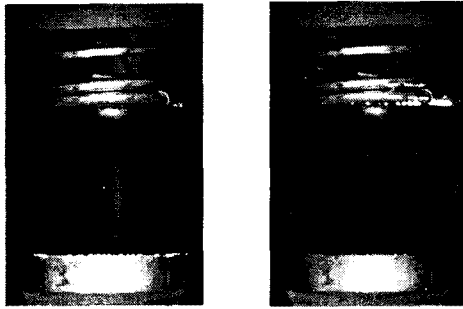


그림 2. 피뢰기의 내부구조 및 모의화한 전극모델
Fig 2. The structure of ZnO arresters and the electrode model



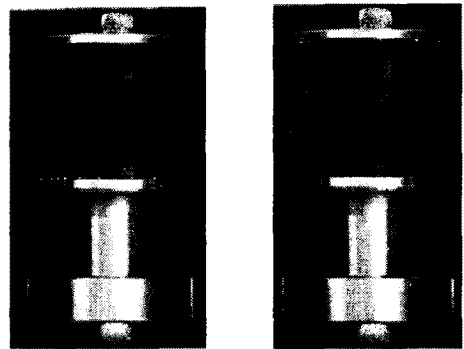
(a) 정극성(위:[+], 아래:[-]) (b) 부극성

그림 4. 뇌임펄스 인가시 방전광(황동 전극)
Fig 4. Plasma luminosity due to the lightning impulse voltages.(Brass electrode)



(a) 정극성(위:[+], 아래:[-]) (b) 부극성

그림 3. 뇌임펄스 전압 인가시 방전광
Fig 3. Plasma luminosity due to the lightning impulse voltages



(a) 정극성(위:[+], 아래:[-]) (b) 부극성

그림 5. 뇌임펄스 인가시 방전광(알루미늄 전극)
Fig 5. Plasma luminosity due to the lightning impulse voltages.(Aluminum electrode)

3.1 황동 전극에서의 방전광

황동 재질로 된 전극으로 교체하여 측정된 결과를 그림4에 나타내었다.

접촉면이 앞서 실험했던 경우보다 많이 증가한 관계로 방전광의 세기가 많이 감소했음을 확인할 수 있었다. 하지만 앞의 실험과 마찬가지로 뇌임펄스의 극성에 따라 위부분과 아랫부분의 방전광 크기가 다르게 나타났으며, 접지 전극면 방전광이 상대적으로 더 밝게 나타남은 동일하였다.

3.2 알루미늄 전극에서의 방전광

전극 재질만 황동에서 알루미늄으로 바꾸어 관측한 결과를 그림 5에 나타내었다.

이 경우 역시 앞의 두 경우의 실험 결과와 마찬가지로 뇌임펄스의 극성에 따라 위부분과 아랫부분의 방전광 크기가 다르게 나타났고, 접지 전극면의 방전광이 상대적으로 더 밝게 나타남을 확인할 수 있었다.

3.3 방전광 결과의 분석

인가전압의 극성에 따라 위·아래 전극면에서 방전광의 크기가 차이를 보이는 현상은 전극과 ZnO 소자의 접합면에 나타나는 특성으로 설명이 가능하다. 반도체와 도체의 접합시 생기는 쇼트키 접합은 n형 반도체 성질을 지닌 ZnO소자와 금속 전극사이의 접합에서도 적용된다. 정극성의 뇌임펄스가 인가된 경우, 상부 전극 측에서는 금속에 플러스, 반도체측에 마이너스로 전압이 인가되며 인가전압은 모두 공간전하영역에 가해지고 반도체측에서 본 전위장벽의 높이는 낮아져서 금속으로부터 반도체로의 전자의 흐름은 일정하고 반도체로부터 금속으로의 전자의 흐름은 지수함수적으로 증가한다.

반면에 하부 전극 측에서는 금속측에 마이너스, 반도체측에 플러스로 전압이 인가되므로 전류는 전위장벽을 넘어서 금속에서 반도체로 유입되는 전자의 흐름만 발생하고 역방향 바이어스 전압이 높아지므로 상부 전극에 비해 하부 전극에서 보다 더 많은 방전광이 발생하는 것으로 사료된다.

부극성 뇌임펄스인 경우에는 정극성과는 극성만 바뀐 것 이외에는 모든 조건이 동일함으로 마찬가지로 위의 설명을 그대로 적용할 수 있게 된다.

결국 뇌임펄스가 인가될 때 (+)극의 전극과 ZnO 소자와의 접촉면에 나타나는 전압(또는 전계)이 (-)극의 경우보다는 작다는 결론을 도출할 수 있게 된다.

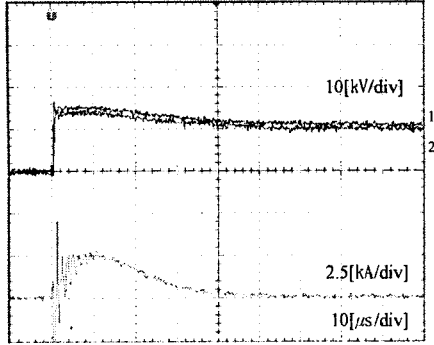
3.4 배전용 피뢰기 소자의 전압분포 측정

정격전압 18kV의 상용 ZnO 피뢰기에서 ZnO 소자를 꺼내서 소자사이에 단자를 만들어 각 단자마다 제한전압을 측정하여 상부와 하부의 제한전압을 비교하였다.

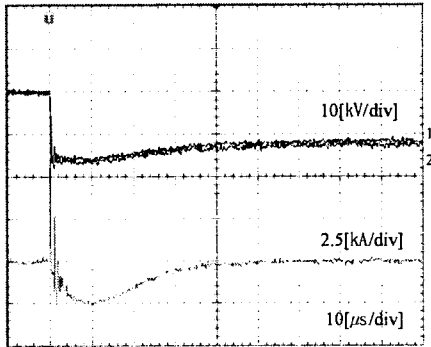
ZnO 소자의 정격전압은 6kV이고 총 3개이다. 제한전압의 측정에는 CS 400-1000인 분압기를 사용하였다. 또한 측정 제한전압의 기준은 8/20 μ s 뇌임펄스 방전전류 2.5kA를 기준으로 하여 측정하였다.

그림6에서 보면, 정극성의 경우 상부보다는 하부쪽에 제한전압이 더 크게 나타나며 그 차이는 최대 약 2kV이다. 반대로 부극성일 때는 하부보다는 상부 쪽에 제한전압이 더 크게 나타나며 그 차이는 역시 최대 약 2kV이다.

이것으로 보아 쇼트키 접합이론으로 극성에 따른 방전광 특성에 대한 설명이 타당성이 있는 것으로 사료된다.



(a)정극성(하부: 1, 하부: 2)



(b) 부극성(하부: 1, 상부: 2)

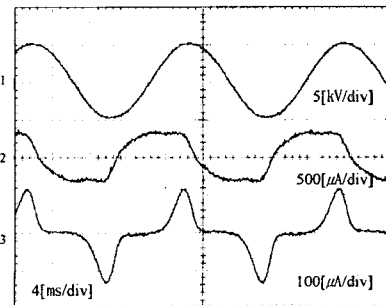
그림 6. 뇌임펄스 인가시 ZnO 피뢰기 소자의 제한 전압 파형

Fig 6. Waveforms of limit voltage of ZnO arrester blocks when the lightning impulse is applied.

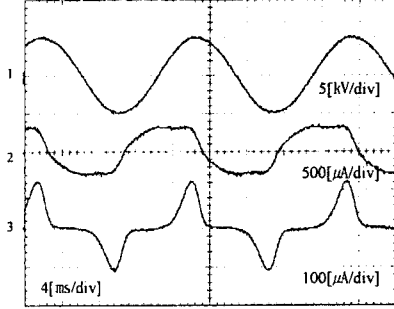
3.5 방전광 현상과 열화와의 관계

방전광 현상이 ZnO소자의 열화에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 정격 3kV인 ZnO 소자에 8/20 μ s 뇌임펄스 방전전류가 약 4.5kA가 흐르도록 뇌임펄스 전압을 극성에 따라 각각 150회씩 인가한 후 ZnO 소자의 누설전류를 측정된 결과를 그림7에 나타내었다.

정극성(상부) 뇌임펄스를 인가한 경우는 하부쪽 누설전류가 상부쪽 누설전류보다 상대적으로 많이 증가한 것을 확인할 수 있었다. 반면 부극성(상부) 뇌임펄스의 경우에는 하부보다는 상부쪽 누설전류가 더 증가함을 확인하였다.



(a)정극성 150회 인가 후 누설전류 파형



(b)부극성 150회 인가 후 누설전류 파형

1 : 인가된 교류전압 2 : 총 누설전류 3 : 저항성 누설전류

그림 7.극성별 뇌임펄스 인가횟수에 의한 ZnO 소자의 누설전류의 파형

Fig 7. The waveform of leakage current on ZnO block according to the increase of applied numbers for the polarity of the lightning impulse.

4. 결 론

ZnO 소자의 방전광 특성에 관한 연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1) 뇌임펄스 전압의 극성에 따라 상·하부 전극의 방전광 크기에 차이가 나타났으며, 접지측 전극 부근의 방전광이 더 크게 나타났다.
- (2) 방전광 현상의 횟수가 누적될수록 ZnO 소자의 열화에 영향을 미칠 수 있음을 확인하였다.

본 논문은 산업자원부에서 시행한 전력산업 인프라 구축 지원사업의 지원에 의하여 수행된 결과입니다.

[참 고 문 헌]

- [1] 강성만, "산화아연 피뢰기의 과도특성 및 열화진단에 관한 연구", 인하대학교, pp.108~110, 2004.2
- [2] 이화용, "반도체공학", 대광서림, pp.71~75, 1991
- [3] 이복희, "고전압대전류공학", 청문각, pp.137~144, 2001