

산화아연 피뢰기 소자와 전극사이에 발생하는 방전광 현상

(Discharge Luminous Phenomena Caused Between ZnO Surge Arrester Block and Electrodes)

이복희* · 박건영 · 강성만

(Bok-Hee Lee · Keon-Young Park · Sung-Man Kang)

요 약

본 논문에서는 산화아연(이하 ZnO) 피뢰기 열화진행의 한 요인으로 예측되는 전극과 ZnO소자 사이에서 발생하는 방전광 현상에 관한 연구를 수행하였다. 이를 위해 8/20[μ s], 최대 10[kA]의 뇌임펄스전류를 발생시키는 뇌임펄스전류 발생장치를 설계·제작하였다. 실험결과, 상·하부의 전극 부근에서 발생하는 방전광의 형상은 인가되는 뇌임펄스의 극성에 따라 다르게 나타났으며 상대적으로 (-)극의 전극부근에서 방전광이 더 강하고 활발하게 발생하는 것으로 관찰되었다. 또한 전극의 면적에 따른 방전광의 세기는 전극의 면적이 증가할수록 감소하는 것으로 관측되었다. 동시에 전극과 소자의 접촉상태도 방전광의 발생과 매우 밀접한 관계가 있는 것으로 확인되었다. 따라서 배전급 ZnO피뢰기의 기존 전극구조는 보완이 필요하며 ZnO 피뢰기 제품의 성능향상 및 지속적인 성능유지를 위해서는 환형구조 대신 내부면적이 있는 원판구조로 교체하는 것이 바람직하다고 판단된다.

Abstract

This paper deals with the characteristics and reduction methods of the plasma luminosity caused between the ZnO surge arrester block and metal electrodes. In this study, the impulse current generator that can generate 8/20[μ s] impulse currents with a peak short-circuit of 10[kA] is designed and fabricated. Plasma luminosity phenomena for fine and used ZnO blocks were observed as a function of the contact states between the ZnO block and electrodes and the polarity of applied impulse voltages.

As a result, discharge luminous events are produced near the contact edges between the ZnO block and metal electrodes. The discharge plasma luminosity between the ZnO surge arrester block and low potential electrode is more intensive than that between the ZnO surge arrester block and high potential electrode. Surface flashover of ZnO blocks are mainly caused by plasma generation near the edge of metal electrode. Also, plasma luminosity for the fine ZnO blocks is less than that for the used ZnO blocks. Plasma luminosity at the contact of the ZnO block and ring-type electrode is more intensive than that at the contact of ZnO block and disk electrode. It is desirable to use the disk electrode with the proper contact area to reduce the plasma luminosity caused at the contact point between the ZnO block and electrodes.

Key Words : Zinc oxide(ZnO) surge arrester block, Luminous phenomena, Degradation, Surface flashover, Lightning impulse current

* 주저자 : 인하대학교 전자전기공학부 교수 차세대 고전압전력기술 연구센터 교수

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

접수일자 : 2005년 1월 10일

1차심사 : 2005년 1월 14일

심사완료 : 2005년 1월 27일

1. 서 론

송·배전계통에서 각종 서지 및 일시적인 과전압으로부터 계통의 보호에 사용하는 피뢰기는 현재 대부분 산화아연(이하 ZnO) 소자를 사용하고 있다. ZnO 피뢰기는 비선형성이 매우 우수하고 서지내량이 크지만 gap이 없기 때문에 항상 상용주파수 전압에 노출된 상태에서 각종 서지 및 과전압을 억제하는 책무를 수행하게 된다. 따라서 ZnO 소자는 상용주파수 전압에 의해 차츰 열화의 진행이 나타난다. 많은 연구자들이 ZnO 피뢰기의 열화 원인 및 분석, 예측에 대한 연구를 진행해 왔으며, 다중 뇌임펄스 전압이 인가되면 ZnO 피뢰기소자와 접촉한 전극사이에 강한 방전광이 발생하는 것이 관찰되었다[1~6]. 접촉면에서의 방전광 발생은 빛과 동시에 열을 수반하게 되며, ZnO 소자도 이 열에 의해 영향을 받게 된다. 이와 같은 현상이 반복되면서 그 효과가 누적되면 ZnO 소자의 성능이 저하되고, 결국에는 ZnO 소자가 피뢰기로서의 기능을 발휘할 수 없게 된다. 따라서 방전광 현상은 ZnO 소자의 여러 열화 원인 중 한 요인으로 작용할 수 있으므로 이의 저감을 위한 연구가 필요하다.

본 논문에서는 ZnO 피뢰기소자의 열화에 한 요인으로 작용하는 ZnO 소자와 전극사이에 발생하는 방전광의 발생을 억제할 수 있는 기법의 제안을 목적으로 임펄스전압이 인가된 상태에서 ZnO소자와 금속전극사이에 발생하는 방전광을 분석하였다. 또한 뇌임펄스전압이 인가된 상태에서 ZnO소자와 접촉하는 금속전극의 형상과 접촉상태에 따른 방전광 현상도 같이 분석하였다.

2. 실험계 구성 및 방법

실험에 사용된 ZnO소자는 22.9[kV-Y] 특고압 배전계통에서 사용하는 배전급 피뢰기에서 채취하였으며 이에 대한 상세한 내용은 표 1과 같다.

전극과 ZnO 피뢰기소자 사이에 발생하는 방전광 현상을 관찰하기 위해 ZnO 피뢰기소자에 뇌임펄스전류 파형인 8/20[μ s], 4.5[kA]를 인가하였으며 뇌임펄스전류의 극성을 바꾸어 같은 실험을 진행하였다. 이를

위해 8/20[μ s], 최대 10[kA]의 뇌임펄스전류를 발생시키는 뇌임펄스전류 발생장치를 설계·제작하였다[7].

표 1. ZnO 소자의 규격
Table 1. Specifications of ZnO block

항 목	규 격
지름	33[mm]
높이	29[mm]
정격전압	3[kV _{rms}]
정격방전전류	2.5[kA _{peak}]
최대 연속 운전전압	2.55[kV _{rms}]
제한전압	9.8[kV _{peak}] at 5[kA _{peak}]

실험계는 조합형 뇌임펄스 전압/전류 발생기, 시료, 방전광 관측용 카메라와 전압/전류 측정회로로 구성되며, 이의 개략도를 그림 1에 나타내었다.

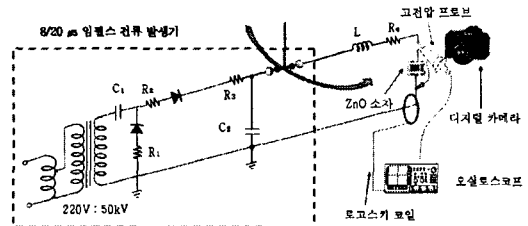


그림 1. 방전광 측정계의 개략도
Fig. 1. Schematic diagram of the observation system of plasma luminosity

22.9[kV]급 상용 배전급 ZnO 피뢰기의 내부구조 및 전극모형을 그림 2에 나타내었다[8].

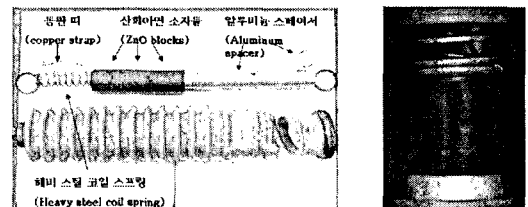


그림 2. 배전용 ZnO 피뢰기의 내부구조 및 시험용 전극모형
Fig. 2. The internal structure of distribution ZnO surge arresters and the electrode model for test

헤비 스틸 코일 스프링은 기계적인 충격으로부터

산화아연 피뢰기 소자와 전극사이에 발생하는 방전광 현상

ZnO소자의 보호 및 적절한 접촉상태를 위한 높은 압력의 유지를 위해 사용되며, 알루미늄 스페이서는 적절한 압력이 유지된 코일 스프링 및 ZnO소자들의 높이들로서는 채우기 부족한 자기애자 내부의 공간을 확보 및 ZnO소자의 원활한 방열을 목적으로 사용된다. 또한 코일 스프링 내부의 동판 띠는 서지 전류의 방전시 코일 스프링의 저항값을 감소시키는 역할을 한다[9].

뇌임펄스전압의 극성에 따라 ZnO소자와 모의화 구조의 전극사이에 발생하는 방전광 현상을 관찰하기 위해 신품상태의 소자와 10[kA]인 5중 뇌임펄스 전류를 100회 인가하여 강제 노후화 시킨 소자를 사용하였다. 이 후, 동일한 조건을 유지한 채 동일한 직경의 전극일 때 내부면적이 있는 경우와 없는 경우로 나누어 실험을 진행하였고 더불어 전극 면적의 변화에 따른 실험도 진행하였다.

또한 전극과 ZnO소자의 접촉면 상태에 따른 실험도 병행하였다. 본 실험에서는 ZnO소자와 전극의 접촉면에서 관찰된 방전광 측정은 방전전류 4.5[kA]가 ZnO소자를 통과하였을 때의 방전광을 관측하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 ZnO 소자와 금속전극사이에 발생한 방전광 특성

실제 피뢰기 전극형상의 전극에 대하여 극성에 따라 ZnO소자와 전극사이에 발생하는 방전광을 관찰하였다. 정극성 및 부극성 뇌임펄스전압을 각각 신품과 노후 소자의 피뢰기 전극모델에서 발생한 방전광을 그림3에 나타내었다. 정극성은 위쪽이 (+), 아래쪽이 (-)극인 상태이며, 부극성은 이와 반대로 인가된 상태이다.

실험결과, 극성에 따라 위쪽 전극과 아래쪽 전극에서의 방전광의 세기가 다른 것을 알 수 있다. 즉 뇌임펄스의 (-)극 전극면 부근의 방전광이 (+)극 전극면에서 보다 더 활발하게 발생하였다. 이런 현상은 정극성 및 부극성 뇌임펄스전압 모두에서 동일하게 관찰되었고, 노후소자에서는 신품소자인 경우보다 더욱 뚜렷하게 관측되었다.

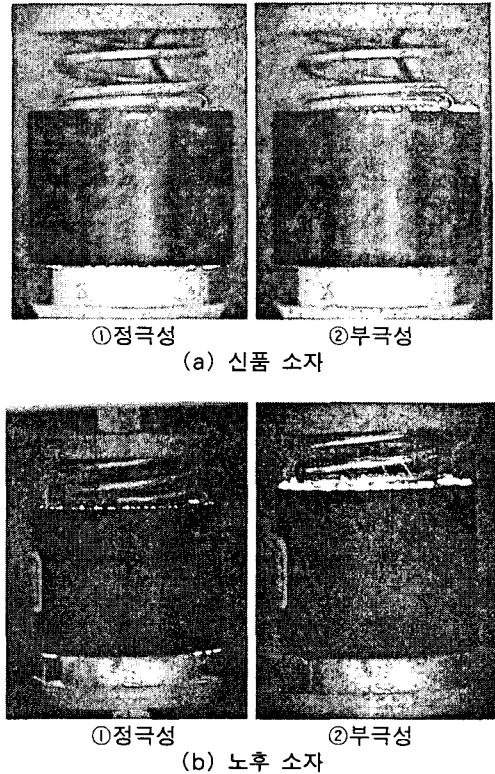


그림 3. 뇌임펄스전압 인가시 ZnO소자와 전극사이에 방전광

Fig. 3. Plasma luminosity between the ZnO block and metal electrode under lightning impulse voltages

뇌임펄스전압의 극성에 따라 위·아래 전극면에서 방전광의 세기가 차이를 보이는 현상은 전극과 ZnO 소자의 접합면에 나타나는 특성으로 설명할 수 있다. n형 반도체 성질을 지닌 ZnO소자와 금속 전극 사이의 접촉면은 쇼트키 접합의 특성을 나타낸다. 정극성의 뇌임펄스전압이 인가된 경우, 상부 전극측에서는 정(+)-전압, ZnO소자에는 부(-)전압이 인가되며, 인가전압은 모두 공간전하영역에 가해지고 ZnO소자에서 본 전위장벽의 높이는 낮아져서 금속 전극으로부터 ZnO소자로의 전자의 흐름은 일정하고 ZnO소자로부터 금속전극으로의 전자의 흐름은 지수함수적으로 증가한다. 반면에 하부 전극측에서는 부(-)전압, ZnO소자측에 정(+) 전압이 인가되므로 전류는 전위장벽을 넘어서 전극에서 ZnO소자로 유입되는 전자의 흐름만 발생하고 역방향 바이어스

전압이 높아지므로 상부 전극에 비해 하부 전극에서 보다 활발하게 방전광이 발생하는 것으로 판단된다.

부극성 뇌임펄스전압인 경우에는 정극성과는 극성만 바뀐 것 이외에는 모든 조건이 동일한 상태이므로 마찬가지로 위의 원리가 그대로 적용되어질 수 있다. 또한 뇌임펄스전압이 인가된 경우 방전광은 주로 ZnO소자의 끝단 가장자리에서 발생하는데 이는 ZnO소자의 표면을 따라 진전하는 연면방전의 단초가 되며 표면선택의 원인이 된다. 따라서 ZnO소자와 전극의 접촉상태는 방전광 발생에 직접적으로 영향을 미치게 되므로 방전광의 발생을 억제할 수 있는 접촉조건과 전극의 현상은 피뢰기 소자의 성능향상과 수명연장에 중요한 역할을 할 것으로 보인다.

3.2 전극형상에 따른 방전광 특성

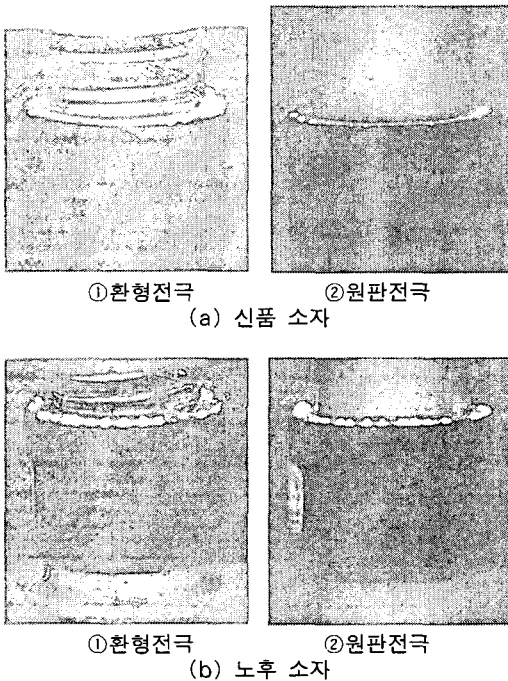


그림 4. 부극성 뇌임펄스전압 인가시 ZnO 소자와 환형전극 또는 원판전극 사이 접촉점에서의 방전광 비교

Fig. 4. Comparison of the plasma luminosity caused at the contact point of the ring-type or disk-type electrode to the ZnO block under negative polarity lightning impulse voltages

전극 형상과 크기에 따른 방전광 양상과 특성을 분석하기 위해 동일한 직경의 환형전극과 원판전극을 가진 두 전극 중 내부면적 유·무에 대한 방전광을 그림 4에 나타내었다.

원판전극의 경우 방전광의 세기나 개수가 환형전극의 경우보다 많이 감소하였다. 이런 현상은 정극성 및 부극성 뇌임펄스전압을 인가한 실험 모두에서 동일하게 관찰되었으며, 신품 및 노후 ZnO 소자에서도 동일한 현상으로 나타났다. 한편, 전극의 직경 크기에 따른 방전광 현상을 관찰하기 위해 전극의 크기를 다음 표 2와 같이 4가지 경우로 나누어 나누어 실험을 진행하였고 그 결과는 그림 5에 나타내었다.

표 2. 전극 크기의 조건
Table 2. Conditions of the electrode size

구분	실험 조건
①	환형(ring-type) 전극
②	원판(disk-type) < ZnO 직경
③	원판(disk-type) = ZnO 직경
④	원판(disk-type) > ZnO 직경

관측결과, 신품시료에서는 전극의 직경이 증가함에 따라 점차 ZnO소자의 방전광 세기나 개수는 점차 감소함을 확인할 수 있었다. 이런 현상은 정극성 및 부극성 뇌임펄스전압을 인가하는 실험 모두에서 동일하게 관찰되었다. 반면 노후 시료에서는 방전광 크기 및 개수의 감소현상이 신품시료에서처럼 나타났지만 그 효과는 신품시료에 비해 상대적으로 적은 것으로 확인되었다. 오히려 전극의 직경이 ZnO소자의 직경보다 큰 경우에는 방전광의 세기나 개수가 증가하는 현상이 관찰되기도 했다.

전극의 직경에 따라 나타나는 방전광 현상에 대한 원인은 ZnO 피뢰기 소자와 금속전극사이의 접촉면에 생기는 접촉저항에서 찾아 볼 수 있다[10]. 서로 접촉하고 있는 2개의 도체에 전류가 흐르면 접촉면의 상태나 조건에 따라 접촉면에는 전위의 강하를 발생시키는 접촉저항이 존재하게 되는데, 특히 모의 화한 환형 전극모델처럼 실제 도체의 접촉면 모양이 점의 연속된 모양인 선모양일 때, 내부 면적이 있는 경우보다 작은 접촉면이 되므로 동일한 시간동안 같

산화아연 피뢰기 소자와 전극사이에 발생하는 방전광 현상

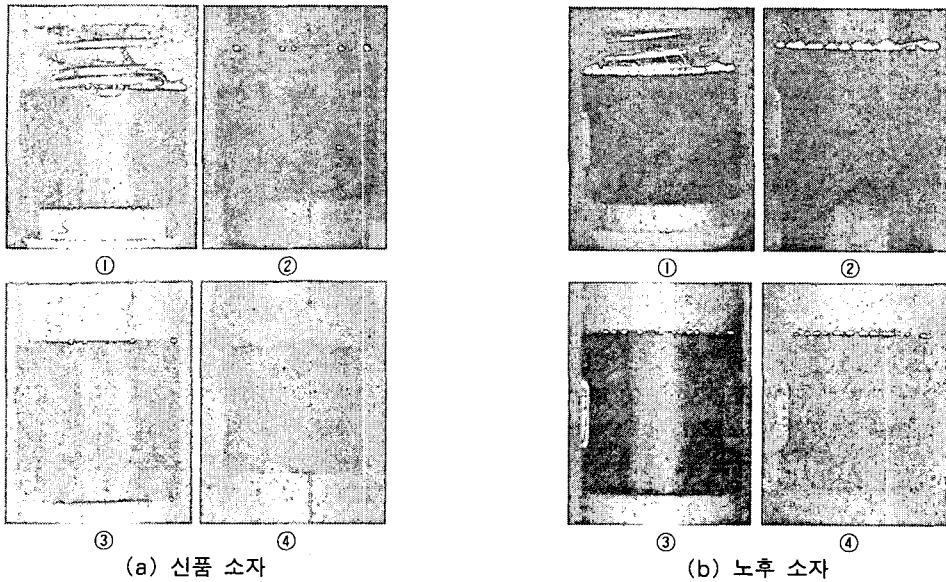


그림 5. 전극의 형상과 크기에 따른 부극성 뇌임펄스전압 인가시 ZnO소자에서의 방전광 비교
 Fig. 5. Comparison of plasma luminosity at the contact point between the ZnO block and electrode according to the sharp and size of electrode under the negative polarity lightning impulse voltages

은 양의 전류가 통과하게 되면 그 흐름이 집중되는 효과를 보이게 된다. 이런 효과로 집중저항(constriction resistance)이라는 접촉저항을 발생시키며, 이로 인해 전압강하를 유발시키게 되어 방전광이 발생하는 것으로 볼 수 있다. 반면 접촉면을 증가시켜 주면 전류의 집중효과가 감소하게 되어 그로 인한 집중저항도 작아지게 되며, 이는 전압강하를 감소시켜 결과적으로 ZnO 피뢰기소자와 전극사이에 발생하는 방전광의 세기나 개수를 감소시키게 된다.

노후시료의 경우, 집중저항에 의한 영향과 자체적

인 열화 진행에 의한 영향이 상승적으로 작용하므로 전극의 크기가 방전광의 발생에 영향을 강력하게 미친 것으로 판단되며 ZnO소자의 표면적과 외부전극의 면적이 일치하지 않고 작거나 크게 되면 그 사이에 불평등 전계 영향이 더 커지게 된다[11].

3.3 방전광 현상과 열화에 대한 검토

ZnO소자와 전극 접촉면의 집중저항 현상이 장기간 지속될 경우, ZnO소자는 열화가 진행될 것으로

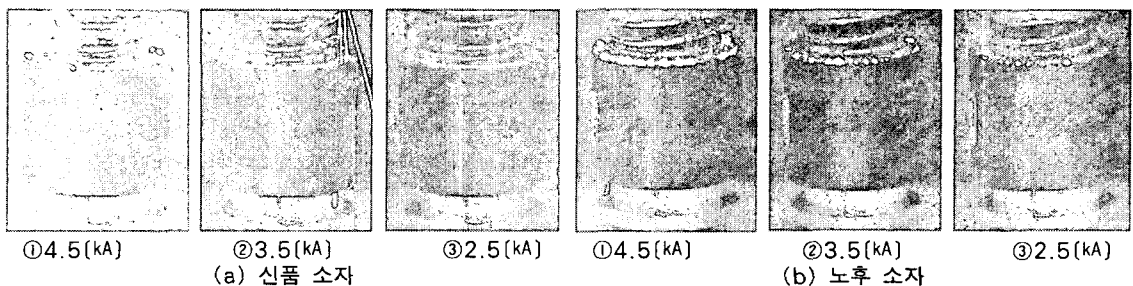


그림 6. 부극성 뇌임펄스 방전전류의 크기에 따른 ZnO소자와 전극의 접촉면에서의 방전광
 Fig. 6. Plasma luminosity between the ZnO block and electrode according to the magnitude of negative polarity lightning impulse currents

예측된다. 이런 열화의 진행과 방전광 현상의 상관 관계를 분석하기 위해 뇌임펄스 방전전류의 크기 및 전극의 접촉상태에 따른 방전광 특성을 관측하였으며 방전전류의 크기에 따른 방전광 현상의 결과를 그림 6에 나타내었다.

신품시료의 경우에는 소자의 공칭방전전류인 2.5 [kA]에서는 방전광이 거의 관측되지 않으나 4.5[kA]에서는 방전광의 세기와 개수가 증가하였다. 반면, 노후된 소자에서는 공칭방전전류인 2.5[kA]에서도 방전광이 관측되었고 그 모습은 신품시료에 방전전류가 4.5[kA]가 관통했을 때 나타난 방전광의 모습과 흡사했다. 방전전류가 4.5[kA]정도 관통했을 때는 방전광의 세기나 개수가 신품시료인 경우에 비해 매우 활발하게 발생하였다. 즉 ZnO소자의 상태에 따라 같은 크기의 방전전류에서도 발생하는 방전광의 세기나 개수는 차이가 나타났으며, 이는 소자의 노화(또는 열화)가 진행될수록 더욱 증가하는 경향을 보였다. 따라서 방전광의 세기는 ZnO소자의 열화와 매우 밀접한 관계가 있는 것으로 판단되며, ZnO소자의 열화진단의 활용에도 적용이 가능할 것으로 예측된다.

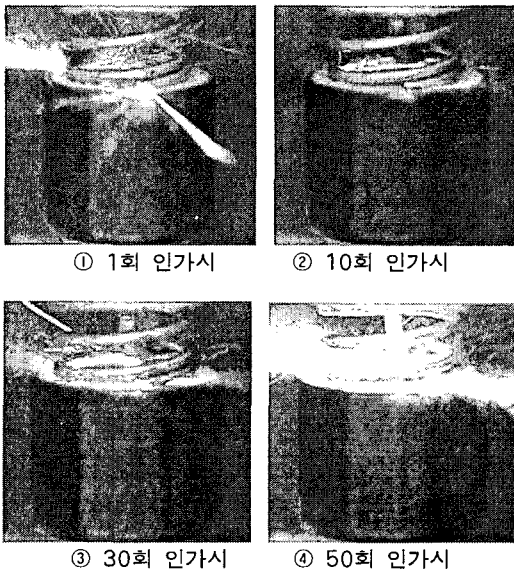


그림 7. ZnO소자와 전극의 부적절한 접촉면 상태에서 부극성 뇌임펄스전압 인가시의 방전광
Fig. 7. Plasma luminosity at the improper contact point of ZnO block and electrode under negative polarity lightning impulse voltages

접촉상태에 따른 방전광 현상을 살펴보기 위해 실제 사용되고 있는 전극의 형상에서 상부전극인 코일 스프링의 접촉상태가 이완되었을 때, 나타나는 방전광 현상에 대해 실험을 실시하였고, 그 결과를 그림 7에 나타내었다.

접촉압력이 부족해서 접촉저항이 증가한 경우, 전극의 접촉면과 ZnO소자의 알루미늄 전극 분말면에서 불꽃이 발생하기 시작했으며, 부극성 뇌임펄스전압의 인가회수가 증가할수록 방전광의 세기가 점점 증가하는 모습이 관찰되었다. 계속해서 뇌임펄스전압을 인가시키면 불꽃의 색이 붉은 색 계열에서 푸른 색 계열로 바뀌면서 앞서 살펴보았던 전극과 ZnO소자 사이에서 발생하는 방전광 형태의 불꽃으로 변화하기 시작하였고, 동시에 방전광의 세기도 강해졌다. 실험 후에 소자를 분리하여 표면상태를 촬영한 사진을 그림 8에 나타내었다. 방전광이 발생했던 부분은 알루미늄 전극 분말이 완전히 사라져서 ZnO소자 성분이 그대로 표면에 노출되어 있었다.

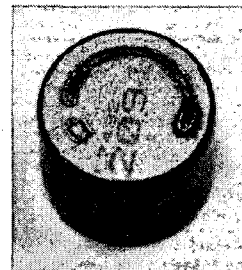


그림 8. 부적절한 환형 전극과 ZnO소자 사이의 접촉상태에서 뇌임펄스전압에 의해 발생한 방전흔적
Fig. 8. Arcing traces caused by the improper contact of ZnO block and ring-type electrode under lightning impulse voltages

ZnO소자와 전극의 접촉면 상태가 부적절한 경우 전극과 ZnO소자의 접촉면에서는 강력한 불꽃이 발생하게 된다. 이 때 발생된 방전광의 열이 지속적으로 누적될 경우, ZnO소자의 알루미늄 전극 분말을 녹이게 되어 결국에는 전극과 ZnO소자가 직접 접촉하게 되는 결과를 유발시키게 된다. 그 결과 알루미늄 전극 분말과 ZnO소자의 경계면에서만 발생하던 방전광 현상이 전극의 접촉면에서도 발생된다. 따라서 적절한 접촉상태의 유지는 ZnO소자의 성능유지

산화아연 피뢰기 소자와 전극사이에 발생하는 방전광 현상

및 노후화 진행의 역제를 위해서는 매우 중요한 요소라 생각되며 향후 이에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

4. 결 론

ZnO 피뢰기소자와 전극사이에 발생하는 방전광 현상을 분석하고, 이를 저감시킬 수 있는 대책에 대한 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다

(1) 상용 피뢰기의 전극형상의 경우, 뇌임펄스전압의 극성에 따라 상·하부의 전극과 ZnO 소자 사이의 방전광 세기에 차이가 나타났으며, 부(-)전극 부근의 방전광이 더 강하게 나타났다. 인가전압의 극성에 따른 방전광 세기의 차이는 쇼트키접합에 의한 상·하부 접촉면의 전계 차이로 판단된다.

(2) 동일한 직경을 가진 전극의 경우, 환형 전극보다 원판 전극에서 방전광의 세기가 감소하였다. 따라서 방전광의 저감에는 전극의 형상과 크기가 ZnO 소자와 면적이 일치하는 원판형이 적합하다.

(3) ZnO소자와 전극사이에서 발생하는 방전광 현상은 뇌임펄스 방전전류의 크기에 따라 영향을 받았으며, 노후 ZnO소자의 경우, 신품 ZnO소자보다 동일한 방전전류에서 방전광이 강하게 나타났다.

(4) 전극과 ZnO소자의 접촉상태가 부적절한 경우, 접촉면에서 불꽃이 발생하고 이로 인해 ZnO소자의 접촉표면이 파손되어 결국에는 방전광의 발생을 가속화시키는 것으로 나타났다.

이 논문은 산업자원부에서 시행하는 대학전력연구센터 육성·지원사업에 의해 작성되었습니다.

References

- [1] 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. 42, Pt 1, No. 4A, pp.1568-1574, 2003.
- [2] M. Oyama, I. Ohshima, M. Yamashita and Kojima, "Life Performance of Zinc-oxide Elements under DC Voltages", IEEE Trans. Vol. PAS-101 No. 6, pp.1363~1368, 1982.

- [3] M. V. Lat, "Thermal Properties of Metal Oxide Surge Arresters", IEEE Trans, Vol. PAS-102, No. 7, pp.2194~2202, 1983.
- [4] A. Haddad, H. S. B. Elayyan, D. M. German and R. T. Wafers, "ZnO Surge Arrester Elements with Mixed Direct and 50Hz Voltages", IEE Proc.-A, Vol.138, No 5, pp.265~272, 1991.
- [5] M. Mizuno, M. Hayashi and K. Mitani, "Thermal Stability and Life of the Capless Surge Arresters", IEEE Trans. Vol.PAS-100, No 5, pp.2664~2671, 1981.
- [6] Bok-Hee Lee, Sung-Man Kang, Ju-Hong Eom, "Effect of Multiple Lightning Impulse Currents on Zinc Oxide Arrester Blocks." Proc. ICLP 2004, Vol. II, pp.634~639, 2004.
- [7] 이복희, "고전압대전류 공학", 청문각, pp.137~144, 2001.
- [8] 이복희, 박건영, 강성만, "산화아연 피뢰기 소자와 전극사이에 발생하는 방전광 특성", 2004년 대한전기학회 하계학술대회 논문집, C권, pp.1869~1871, 2004.7.
- [9] L. M. Faulkenberry and W. Coffey, "Electrical Power Distribution and Transmission", Prentice-Hall inc., pp.189~200, 1996.
- [10] 이복희, "전기,전자재료공학", 보성문화사, pp.35~38, 1996.
- [11] 이복희, 박건영, 강성만, "ZnO소자와 전극의 접촉점에서 발생하는 방전광 특성", 2004년 대한전기학회 추계 학술대회 논문집, pp.26~28, 2004.11.

◇ 저자소개 ◇

이복희 (李福熙)

1954년 6월 29일생. 1980년 2월 인하대 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

박건영 (朴健榮)

1975년 7월 23일생. 2003년 2월 인하대 공대 전기공학과 졸업. 2005년 현재 인하대 대학원 전기공학과 석사과정.

Tel : (032) 860-7398, Fax : (032) 875-1276,

E-mail : airkun@naver.com

강성만 (姜成萬)

1973년 4월 6일생. 1998년 2월 인하대 공대 전기공학과 졸업. 2004년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 인하대 차세대고전압전력기술연구센터 박사후 연구원.

Tel : (032) 860-7398, Fax : (032) 875-1276,

E-mail : webmaster@smilepia.com