

### 피뢰기 소자(ZnO)의 열화특성에 관한 연구

김찬영, 송일근, 김주용, 정년호  
전력연구원

### The Study on the Aging Characteristics of the Arrester Block(ZnO)

Chan Young Kim, Il Keun Song, Ju Yong Kim, Nyeon Ho Jeoung  
Korea Electric Power Research Institute(KEPRI)

**Abstract** - This paper provides the results of analysis of lightning arrester failed in the field. XRD was used for qualitative analysis and SEM for microstructure analysis of zinc oxide(ZnO) block. The failure of lightning arrester might occur due to the following reasons: the uneven size of zinc oxide grains and cement layers, the re-crystallization of zinc oxide grains resulting from electrical stress around impurities, and the presence of too large pores(≈ 50 μm).

은 과전압이 인가된 것으로 생각할 수 있으며, 많은 전류가 흘러 소자가 가열되고 소자 저항이 작아져서 다시 전류가 집중되어 소자의 중앙에 균열이 발생한 것으로 생각된다.

#### 1. 서 론

본 논문에서는 피뢰기에 널리 사용되고 있는 산화아연(ZnO) 소자의 경년열화특성과 그 열화에 따른 미세구조(microstructure)의 변화에 관하여 연구하였다. 피뢰기 소자의 전기적인 특성은 산화아연 입자의 크기, 입자사이에 존재하는 시멘트 층, 그리고 소량의 결정상(spinel 등)에 의하여 달라진다. 과전압, 온도, 습도, 불순물 등 여러 요인에 의하여 열화가 일어나며 입자의 성장 등 재소결의 과정을 거쳐 미세구조가 변화해 된다. 따라서 피뢰기 소자의 열화특성을 미세구조의 변화와 관련하여 분석하였다. 피뢰기 소자에 포함된 상(phase)은 X-선 회절(X-ray Diffraction)을 이용하여 정성적인 분석(qualitative analysis)을 하였다. 주요 상은 산화아연으로 소량의 Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>와 CoO를 함유하고 있으며, 시멘트로부터 생성된 소량의 상은 Zn<sub>7</sub>Sb<sub>2</sub>O<sub>12</sub>(spinel), Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 등이며 여러 산화물을 포함하고 있다. 소자의 미세구조는 SEM(Scanning Electron Microscope)으로 입자와 기공의 크기 및 균질성을 관찰하였다. 산화아연 입자의 사이즈는 수 μm에서 수십 μm로 제조회사에 따라 다르게 나타났으며, spinel 상은 1-2 μm로 성장하였다. 피뢰기 소자의 전극과 소자의 경계에 있는 불순물 주위에 전기적인 스트레스가 집중되고 열이 발생하여, 입자가 부분적으로 성장하는 재소결 현상을 관찰하였다.

#### 2.2 X-선 회절을 이용한 정성적 분석

발제한 경년품(고장품) 및 신품피뢰기 소자를 X-선 회절을 이용하여 정성적인 분석을 하였다. 소자의 X-선 회절은 그림 1과 같다. 그림의 위쪽은 신품, 아래쪽은 고장난 피뢰기 소자의 X-선 회절을 보여준다. 산화아연(ZnO)이 주요 상이고, 그 밖에는 Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 및 Zn<sub>7</sub>Sb<sub>2</sub>O<sub>12</sub>(Spinel) 상이 관찰되었다. 고장 피뢰기 소자의 X-선 회절 패턴을 보면 산화아연을 제외한 상의 intensity는 신품피뢰기에서 관찰한 intensity보다 작다. 이것은 제조시 시멘트의 성분을 적게 넣은 것으로 생각된다.

#### 2. 본 론

현장에서 사용중 고장난 피뢰기가 어떤 이유로 고장이 발생하였는가 파악하기 위해 소자를 발취하여 분석하였고, 신품의 소자와 비교하였다.

고장난 피뢰기 소자는 산화아연(ZnO)에 Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CoO, MnO<sub>2</sub>, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 등의 금속산화물을 첨가하고, 고온(1100℃ - 1200℃)에서 소결시켜 만들어 졌다.

#### 2.1 고장 피뢰기의 균열

고장 피뢰기 소자의 외관을 관찰한 결과, 소자 전극의 모서리에 아크 흔적이 있으며, 이 아크로부터 소자 내부로 균열이 발생하였다. 소자에 아크의 흔적이 있다는 것

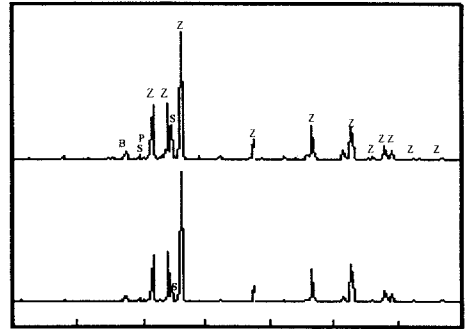


그림 1 X-선 회절에 의한 피뢰기 소자의 정성적 분석(Z: ZnO, B: Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, P: Pyrochlore, S: Zn<sub>7</sub>Sb<sub>2</sub>O<sub>12</sub>)

#### 2.3 신품 피뢰기와 고장 피뢰기 소자의 미세구조

신품 피뢰기 소자를 SEM(Scanning Electron Microscope)으로 관찰하였다. 산화아연(ZnO) 입자의 크기는 약 10 μm로 재료 전체에 균일하게 분포되어 있다. 그러나, 고장 피뢰기 소자의 미세구조는 산화아연 입자의 크기가 수 μm에서 20 μm이상으로 다양하게 분포되어 균일하지 않음을 알 수 있다.

#### 2.4 신품 피뢰기 소자의 미세 구조 및 화학적 분석

그림 2는 신품피뢰기 소자 입자를 SEM으로 관찰한 미세구조이다. 위에서 설명하였듯이, 산화아연 입자가 균일하게 분포되어 있고, spinel 상이 산화아연 입자사이에 1-2 μm의 크기로 성장한다.

Spinel은 소결시 입계 이동을 억제시켜 ZnO 입자 성장을 감소시킨다. 산화아연 입자(A)와 spinel (B)의 화

학적 성분 분석은 그림 3과 같다. 산화아연 입자는 소량의  $Nb_2O_5$ 와  $CoO$ 를 함유하고 있다. Spinel ( $Zn_7Sb_2O_{12}$ ) 상의 주요 성분은  $ZnO$ 와  $Sb_2O_3$ 이고, 여기에 소량의  $Nb_2O_5$ ,  $Bi_2O_3$ ,  $Cr_2O_3$ ,  $MnO_2$ ,  $CoO$ ,  $NiO$  등의 산화물을 함유하고 있다.

## 2.5 고장난 피뢰기 소자의 미세구조 관찰 및 화학적 분석

그림 4는 고장난 피뢰기 소자에서 관찰한 두 곳의 미세구조를 보여준다. 입자의 형태 및 spinel 상의 분포가 위치에 따라 다름을 알 수 있다. 그림 4의 오른쪽에 보이는 것처럼, 산화아연 입자 사이에 시멘트 층이 적어 산화아연 입자끼리 접촉하고 있다. 시멘트 층은 피뢰기 소자에서 에너지 장벽을 형성하고 있는데, 고장난 피뢰기에서처럼 시멘트 층의 결핍은 누설영역에서 누설전류가 흐르지 않게 된다. 그리고 정상동작전압보다 약간 높은 전압만 가해져도 에너지 장벽이 없어(시멘트 층이 없으므로) 전류가 집중되고, 이 때문에 피뢰기 소자의 고장으로 이어질 수 있다. 또한 산화아연 입자의 크기가  $20 \mu m$  이상인 입자도 관찰되었다. 이것은 전술한 바와 같이 spinel 상은 산화아연 입자의 성장을 억제하는 효과가 있는데, 고장난 피뢰기 소자에서는 X-선 회절 분석에서 관찰된 것처럼 spinel 상이 적어 입자가  $20 \mu m$  이상으로 성장한 것으로 사료된다.

## 2.6 고장난 피뢰기 소자의 열화현상

그림 5는 고장난 피뢰기 소자의 재소결(열화) 과정을 보여준다. 사진의 위쪽은 전극이고, 이 전극으로부터 전류가 유입된다. 그림에 보이는 것처럼 전극과 산화아연 경계면에 불순물이 존재한다. 이 불순물의 화학적 성분은  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ ,  $ZnO$ 로 구성되어 있다. 그림에 보이는 것처럼 불순물 주위에 위치하고 있는 입자는 다른 입자들에 비하여 검고 크게 보인다.

그림 5의 오른쪽 그림은 불순물 주위에서 전류밀도가 변화하는 모습을 보여준다. 그림과 같이 불순물 주위에 전기적인 스트레스가 집중되어 국부적인 열이 발생하고, 입자가 성장하는 재소결 현상이 발생하였다. 이러한 재소결 과정 때문에 맑은 날에 고장이 발생한 것으로 추정된다.

그리고, 약  $50 \mu m$ 의 기공(pore)이 관찰되었는데 이것은 소자의 제조과정 중에 생성된 것으로 생각된다. 기공 속의 공기는 열전도율이 적어서 열이 집중되어 피뢰기 소자의 고장으로 이어질 수 있다.

## 2.7 고장난 피뢰기 소자의 외부층(Rim)

고장난 피뢰기 소자의 외부층은 약  $55 \mu m$  두께로 균일하게 분포되어 있다. 외부층은  $ZnO$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Nb_2O_5$ ,  $Bi_2O_3$  등의 산화물로 구성되어 있다. 고장난 피뢰기의 외부층은 특이한 점이 없는 것으로 나타났다.

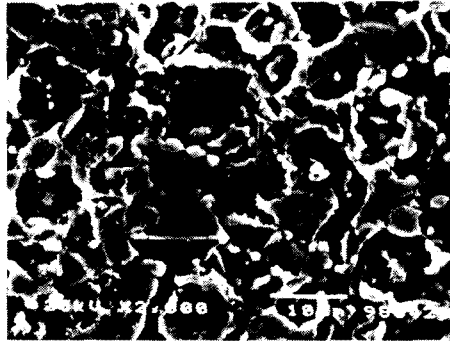


그림 2 신품 피뢰기 소자의 미세구조

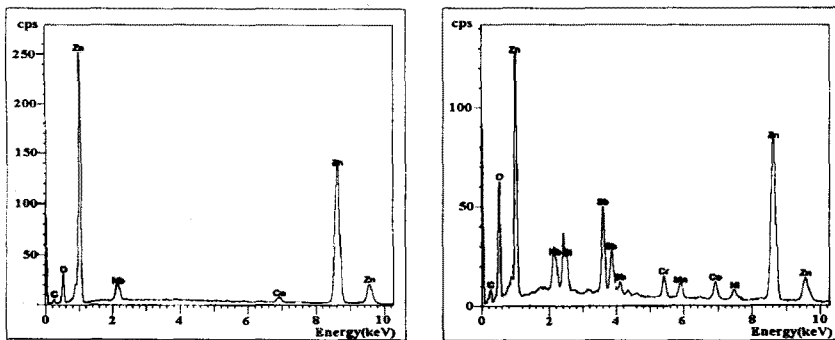


그림 3 신품 피뢰기 소자의 산화아연 입자(A) 및 Spinel(B)의 화학적 분석

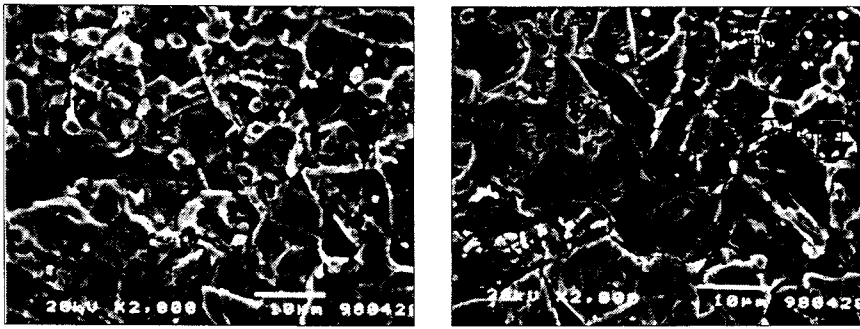


그림 4 고장난 피뢰기 소자의 SEM 사진

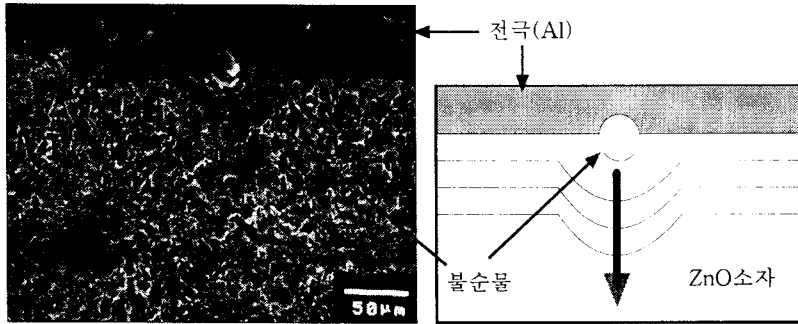


그림 5 고장 피뢰기 소자의 재소결 현상

### 3. 결론

소자의 전극에 아크의 흔적이 있고, 이 아크로부터 소자에 균열이 시작되었으며, 이것은 아크가 일어난 부분에 과전류가 유입되어 소자의 열화가 급격히 진행된 것으로 생각된다.

1) X-선 회절 분석에서는 고장 피뢰기 소자의 시멘트 함량이 신품 피뢰기 소자와 비교하여 적게 나타났다. 또한 그림 4와 같이 SEM으로 관찰한 미세구조에는 시멘트 없이 산화아연 입자끼리 접촉하고 있음을 보여준다. 시멘트 층은 피뢰기 소자에서 에너지 장벽을 형성하고 있는데, 고장난 피뢰기처럼 시멘트 층의 결핍은 누설영역에서 누설전류가 전혀 흐르지 않아서 좋은 점은 있으나, 정상 동작전압보다 약간의 높은 전압만 가해져도 에너지 장벽이 없기 때문에 전류가 집중되어 피뢰기 소자의 고장 원인이 된다.

2) 대부분 피뢰기 소자에서 산화아연 입자의 크기는 약 10 µm로 균일한데 비하여 고장난 피뢰기의 산화아연 입자의 크기는 수 µm에서 20 µm 이상으로 불균일하였다. 또한, 약 50 µm의 기공(pore)도 관찰되었는데 이것은 소자의 제조과정 중에 생성된 기공의 일종이며, 기공 속에 갇혀진 공기는 열전도율이 적어서 열이 집중될 수 있으며, 열의 집중은 피뢰기 소자의 고장으로 이어질 수 있다.

3) 전극(Al)에 포함된 불순물 주위에 전기적 스트레스가 집중되어 국부적인 열이 발생하였고, 입자가 성장하는 재소결 현상이 일어났다. 재소결 현상은 단기간에 일어날 수 있으며, 이러한 재소결 현상이 고장을 유발시킨 것으로 추정된다.

### [참고문헌]

- [1] Alain VICAUD, "A. C. VOLTAGE AGEING OF ZIN C-OXIDE CERAMICS," IEEE Transactions on Power Sys tems, Vol. PWRD-1, No. 2, pp. 49-58, April 1986.
- [2] 송일근의 4명, "배전기자재 수명예측 기준제정," 분기보고서, 전력연구원, 1998.
- [3] 김형식의 4명, "피뢰기 소자의 Surge 흡수용량 증대에 관한연구(II)," 최종보고서, 한국전기연구소, 1996.
- [4] M.V. Lat and J. Kortschin- ski, "Distribution Arrester Research," IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-100, No. 7, pp. 3496-3504 July 1981.
- [5] L. M. Levinson, "Electronic Ceramics," Marcel Dekker, Inc, pp. 275-305, 1987.