

현장 고장난 배전용 피뢰기의 특성분석

Characteristic Analysis of Distribution Lightning Arrester Failed in the Field

*김찬영, 김주용, 송일근, 이병성, 한재홍, 윤태상

Chan Young Kim, Ju Yong Kim, Il Keun Song, Byung Sung Lee, Jae Hong Han, Tae Sang Yoon

한전전력연구원

Korea Electric Power Research Institute(KEPRI)

Abstract

This paper provides the result of the analysis of the lightning arresters which were disconnected from the power line due to the overvoltage having high current. The effect of thermal runaway on the microstructures of lightning arrester's block was intensively investigated. The change of the microstructures of the blocks was limited only on the breakdown paths and near them. Also even though a disconnector was disconnected from the arrester, some of the lightning arrester were showed normal characteristics.

Key Words(중요용어): Lightning arrester, Microstructure, Thermal runaway, Disconnector

1. 서 론

피뢰기는 낙뢰, 유도뢰, 고장서지 등으로부터 배전설비를 보호할 목적으로 사용되고 있으면 전국적으로 약 64만개가 설치되어 있고 최근에 고장이 빈번하게 발생되고 있는 실정이다.

피뢰기의 고장은 정상적인 사용전압에서 고장이 발생하는 경우와 과전압이 유입되어 고장이 발생하는 경우로 나눌 수 있다. 정상 전압에서 고장이 발생하는 경우는 가스켓의 기밀불량에 의한 열화와 소자의 경년변화 열화로 구별할 수 있는데 소자의 경년변화 열화는 매우 드물게 발생되고 있으며, 대부분의 열화는 가스켓의 열화에 의한 흡습 열화로 인하여 발생된다. 과전압이 유입된 경우는 낙뢰, 유도뢰 등에 의해 정격이상의 과전류가 유입되고 소자에 열폭주가 발생하여 소자가 폭발하여 고장으로 진전된다.

피뢰기에 부착되어 있는 단로기는 피뢰기 고장이 발생하였을 경우에 피뢰기 폭발을 방지하기 위하여 피뢰기 접지측 단자에 연결되어 피뢰기 폭발

전에 단로기가 선로로부터 분리되는 기능을 하도록 설계되어 있다.

본 연구에서는 피뢰기에 과전압이 인가되어 단로기가 동작한 피뢰기에 대하여 연구하였다. 단로기가 동작한 피뢰기의 전기적 특성을 평가하였고 이러한 평가결과를 미세구조와 관련하여 분석하였다. 또한 피뢰기 소자의 열폭주는 열폭주가 발생한 경로 및 주위에서만 미세구조변화가 발생하였고 열폭주 경로에서 먼 곳은 미세구조의 변화가 없음을 확인하였다.

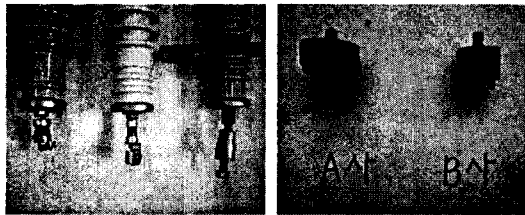
2. 본 론

2.1 시료

본 연구에 사용된 피뢰기는 배전선로에서 사용되던 것으로 사용중에 채무전압이상의 과전압이 인가되어 단로기가 분리된 것으로 세부사항은 표 1에 나타냈다. 단로기가 피뢰기 접지측에 부착되어 있는 그림과 단로기가 동작하여 파손된 형태를 그림 1에 나타냈다.

표 1. 시료의 사양

시료번호	제조회사	정격전압	소자개수	제조년월
A-1	A사	18 kV	5	95
A-2	A사	18 kV	5	95
B	B사	18 kV	3	97



(a) 정상 단로기 (b) 동작한 단로기
그림 1. 정상 단로기 및 동작한 단로기

2.2 실험결과 및 고찰

2.2.1 외관 및 전기적 특성시험

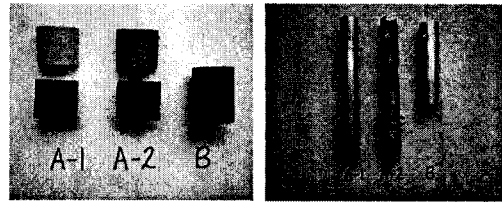
단로기가 분리된 피뢰기는 접지측 캡이 용융된 흔적이 있던 시료 A-2와 캡에 전혀 손상이 없던 A-1과 B로 구별되었다. 1,000 V 메거르 측정된 절연저항에서 시료 A-2는 불량으로 판정(1,000 MΩ 미만)되었고, 시료 A-1과 B는 정상적인 것으로 판정되었다. 또한 동작개시전압도 시료 A-1은 28 kV, 시료 B는 30.2 kV로 정상으로 확인되었다. 표 2에 특성검사 결과를 요약하였다.

표 2. 특성검사 결과

시료번호	외관상태	절연저항	동작개시전압
A-1	양호	양호	양호
A-2	불량	불량	불량
B	양호	양호	양호

2.2.2 피뢰기 소자관찰

피뢰기를 분해하여 관찰하였다. 피뢰기 소자는 그림 2(a)에서와 같이 A-1과 A-2는 열폭주가 발생하여 소자가 반으로 갈라져 있었다. 소자 A-1은 단지 열폭주에 의한 균열이 발생한 반면 A-2는 소자의 외측에 도포되어 있는 절연코팅층까지 용융되었다. 시료 B는 단로기 동작하였음에도 불구하고 소자가 정상적인 것으로 확인되었다. 소자에서 발생하는 열을 방산하기 위해 사용되는 금속관은 시료 A-2에서만 용융과 변색이 발생하였을 뿐 시료 A-1과 B는 열을 받았던 흔적이 없었다.



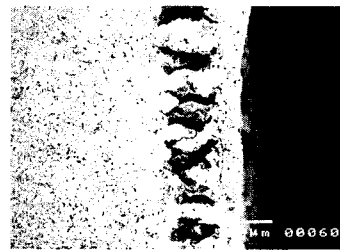
(a) 소자 (b) 금속관
그림 2. 피뢰기 소자 및 금속관

2.2.3 열폭주 주위의 미세구조

그림 3은 열폭주가 발생한 피뢰기 소자의 단면을 50배로 관찰한 사진이다. 그림 3(a)는 A-1피뢰기 소자의 열폭주가 발생한 초기로써 파손 형태가 사다리 모양을 하고 있다. 이러한 형태가 진전되면 그림 (b)와 같이 사다리 형태가 없어지고 경로가 용융되었다.

열폭주가 발생한 경로를 자세하게 관찰하기 위해 열폭주 경로, 경로와 가까운 곳, 먼 곳으로 구분하여 미세구조 및 성분을 분석하였다.

그림 4는 그림 3(b)의 용융된 부분의 성분을 EDS로 분석한 것으로 절연코팅층의 원료인 실리콘 산화물과 전극 성분인 알루미늄 금속도 관찰되었다. 따라서 열폭주가 발생하면서 전극으로 부착된 알루미늄이 이동하여 상부전극과 하부전극을 전기적으로 단락시켜 절연저항을 감소시키며 피뢰기 특성을 잃게 하는 것으로 판단된다.



(a) 시료 A-1



(b) 시료 A-2

그림 3. 열폭주가 발생한 피뢰기 소자의 단면

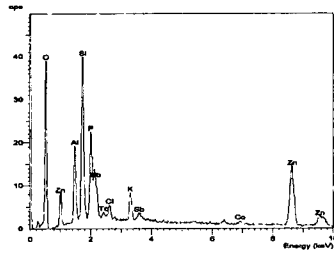
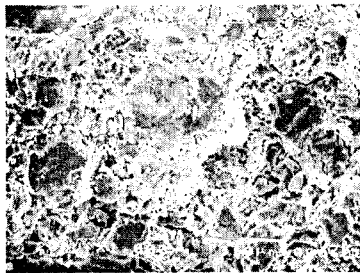


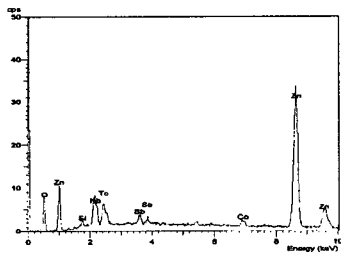
그림 4. 시료 A-2의 용융 돌출된 부분의 성분

2.2.4 A-1시료의 미세구조 및 성분

그림 5는 시료 A-1의 열폭주 발생경로의 미세구조(a) 및 성분(b)을 나타냈다. 앞에서 언급하였던 바와 같이 시료 A-1은 열폭주 초기 상태로서, 열폭주 경로에서 관찰된 산화아연 입자의 외부는 용융되었으나, 내부까지는 용융되지 않았다. 그림 5(b)에서와 같이 열폭주 경로에서 관찰된 용융된 입자에는 규소가 미량 관찰되었다. 규소는 절연코팅층에 사용되는 비정질 원료로 소자가 용융되면서 소자내부까지 침투된 것으로 판단된다.



(a) 미세구조



(b) 성분

그림 5. A-1의 열폭주경로 미세구조 및 성분

그림 6는 열폭주 경로 주위의 미세구조로서 경로에서 반경 약 4 mm 까지 입자가 덮여 있는 형태를 띠고 있고 규소의 성분을 함유하고 있는 것으로 미루어 표면에 규소산화물이 부착되어 있는 것으로 판단된다.

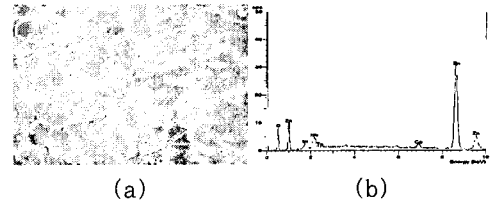


그림 6. 열폭주 경로 주위의 미세구조 및 성분

그림 7은 열폭주 경로에서 멀리 떨어진 위치의 미세구조로서 입자의 형태가 정상입자의 형태를 유지하고 있다.

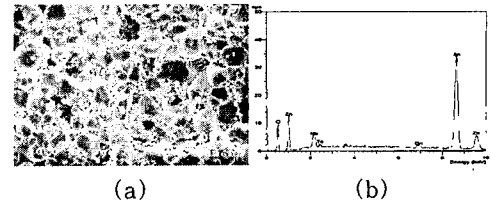


그림 7. 열폭주 경로에서 떨어진 곳의 미세구조 및 성분

열폭주는 피뢰기가 방열하였을 경우에 열방산이 가장 어려운 소자 중심에서 주로 발생하고 열폭주 경로 및 주위에 있는 입자를 용융시키고, 먼 곳에 위치한 입자는 영향이 없는 것으로 확인되었다.

2.2.5 A-2시료의 미세구조 및 성분

시료 A-2시료는 열폭주가 상당히 진행되어 열폭주가 발생한 경로는 물론 절연코팅층까지 용융된 것으로서 열폭주에 의해 소자 균열이 발생되어 절연코팅층의 실리콘 성분이 균열사이로 유입되었다. 그림 8는 열폭주 경로의 미세구조로서 산화아연 입자가 절연코팅층 성분(SiO₂), 전극성분(Al), 첨가물(Sb, Cr, Co) 등과 용융되어 새로운 결정이 형성된 것으로 판단된다. 그림 9는 열폭주 경로 주위의 미세구조로서 산화아연 입자들이 위에서 설명한 성분들과 함께 용융되어 구형입자로 형성되었다.

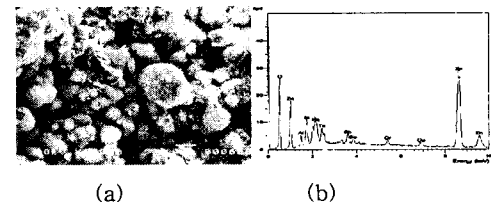


그림 8. A-2의 열폭주경로 미세구조 및 성분

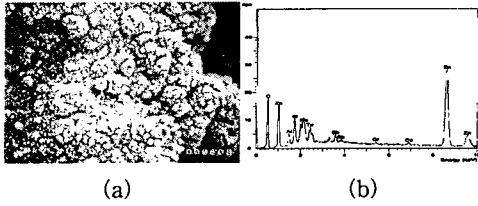


그림 9. 열폭주 경로 주위의 미세구조 및 성분

그림 10은 열폭주 경로에서 충분히 먼 곳에 있는 입자의 미세구조로써 정상적인 입자 및 입계로 구성되어 있다. 따라서 매우 심한 열폭주 현상이 발생하였을 경우라도 단지 열폭주 경로 및 주위만 영향을 끼칠 뿐 나머지 충분히 떨어져 있는 입자는 미세구조가 변하지 않는 것을 확인하였다.

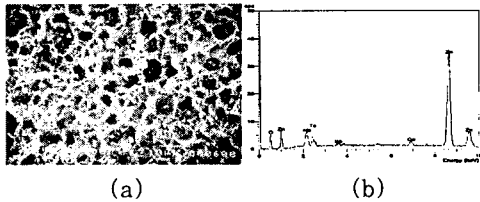
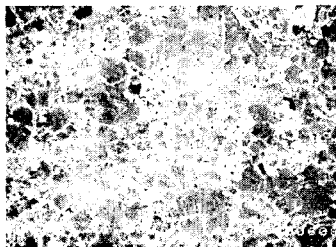


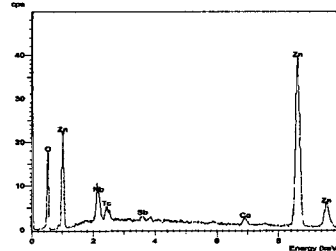
그림 10. 열폭주 경로에서 떨어진 곳의 미세구조 및 성분

2.2.6 B사 시료의 미세구조 및 성분분석

그림 11은 단로기는 동작하였지만 열폭주가 발생하지 않는 소자의 미세구조 및 성분이다. 그림에서와 같이 입자의 크기가 소자 전체에서 일정하고 용융된 흔적이 관찰되지 않았다. 따라서 단로기가 동작하였더라도 피뢰기 소자가 충분히 견딜 수 있던 전류가 흘렀던 것으로 판단된다. 결국 단로기가 동작하였을 경우에 유입되는 낙뢰, 유도뢰, 서지의 크기에 따라서 단로기가 동작하더라도 소자의 특성변화가 없는 정상 피뢰기임을 확인하였다.



(a)



(b)

그림 11. B사 시료의 미세구조 및 성분

3. 결론

피뢰기에 과전압이 인가되어 단로기가 동작한 피뢰기 소자의 미세구조 특성을 평가하였고, 그 결과는 아래와 같다.

1. 단로기가 분리되었을 경우에 피뢰기 하부 캡이 손상을 받은 피뢰기는 소자에 열폭주 현상이 발생하였고 소자가 파손되었으며 소자의 절연 코팅층도 용융되었다.
2. 단로기가 동작하였더라도 피뢰기 하부 캡이 정상인 경우는 열폭주 현상의 초기 단계이거나 열폭주가 발생하지 않았다.
3. 열폭주가 발생한 경로 및 주위만 입자의 변형이 발생되었으며, 경로에서 충분히 떨어진 곳의 입자는 정상입자와 차이가 없었다.
4. 피뢰기 소자의 열화는 낙뢰, 유도뢰, 서지의 크기와 관련이 있고, 단로기의 동작유무로 피뢰기 소자의 열화여부를 결정하기는 어려운 것으로 판단된다.

[참고문헌]

- [1] W. D. Kingery, Introduction to ceramics, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1960.
- [2] 송일근외, 배전기자재 수명예측 기준제정, 전력연구원 중간보고서, 1999.
- [3] 泉 邦和外, "폴리머용 피뢰기의 장기성능", 일본전력중앙연구소보고, 1997.