

아크 소호재의 종류 및 입도에 따른 휴즈의 차단 특성에 관한 연구

· 김인성, · 한동희, · 장문순, ** 이세현***
 한국전기연구소, * (주)세원산업, ** 대전기능대학***

Interrupting Characteristics of Fuses Element in Different Fillers

In-Sung Kim, Dong-Hee Han, Moon-Soon Jang, Sei-Hyun Lee
 KERI, SEWON Ltd., Taejon Polytechnic College

Abstract - This paper deals with the interrupting characteristics of fuses element in different media of arc extinguisher. Aluminum hydro-oxide, boron nitride, silica and there size have been investigated here for their prospects as filling media in heavy current, high breaking capacity fuses.

The result of these study are compared with those on silica sand at high current. This study demonstrates that silica sand is far superior filler in fuses for heavy current interrupting then the compound tested.

밀봉시에는 사전에 충분히 건조하여 수분침투에 의한 절연 특성의 저하를 방지하였다. 내부 절연관에 봉입(sealing)시킨 소호재로는 일반적으로 많이 알려진 무기를 충전재료로써 물성은 다음 표1과 같다.

표 1, 아크 소호재의 물성

| 종류 \ 물성 | Dielectric constant | Resistivity (Ωcm) | M · P (K) | Thermal (W/m · K) |
|--------------------------------|---------------------|------------------------------------|-----------|-------------------|
| SiO ₂ | 3~5 | 10 ¹⁴ ~10 ¹⁵ | 1700 | 1.25 |
| BN | 4.2 | 10 ¹⁴ | 2977 | 3~5 |
| Al ₂ O ₃ | 8~10 | 10 ¹⁶ | 2255 | 25~29 |

1. 서 론

전기를 사용하는 전력기기, 전자제품, 가정과 사무실의 수용가는 외부로부터 전력을 공급받는데 설계된 정격 이상의 과부하 전류(over current)나 이상전압(transient voltage)등의 원인으로 인하여 고장이 나며 오작동이 발생된다. 또한 제품 및 기기의 고장은 과부하나 단락 전류를 유발하여 수용가나 선로를 차단하게 되어 다른 용도의 제품 사용까지도 방해하는 일이 발생되는데 이런 사고를 미연에 방지하기 위하여 정격으로 설계된 휴즈를 사용하게 된다. 휴즈의 설계에는 정격전압, 정격전류가 고려된 엘리먼트(element) 모양, 절연관(insulation tube)의 길이, 아크 소호 공간과 엘리먼트를 감싸고 아크를 소호시키는 소호재 등 많은 변수가 있으며 무엇보다도 최적의 과부하 용단이나 단락전류(short circuit) 차단을 위해서 아크 소호재(media of arc extinguisher)의 중요성을 무시할 수 없다.

휴즈의 내부관에는 이상전류가 발생시에는 아크를 소호하기 위하여 휴즈 내부에 아크 소호재가 충전되는데 소호재의 종류와 량, 입도의 크기는 아크 소호 특성에 지대한 영향을 미친다. 충전되는 소호재의 비열과 용융점이 다른 경우에 소호재를 SiO₂(silica), BN(boron nitride), Al₂O₃(alumina)와 실리카에서는 입도의 크기가 4~10, 50, 200 μm 일때 아크 에너지의 소호 양상은 차단 시간에 영향을 주게된다.

본 연구에서는 이러한 아크 소호재의 물성과 차단 시간 전류에 관한 상관관계를 조사 연구하였다.

2. 본 론

2.1 소호재 및 시료의 제작

2.1.1 아크 소호재(media of arc extinguisher)
 아크 소호재는 SiO₂(silica), BN(boron nitride), Al₂O₃ (alumina)와 실리카에서는 모래(sand)와 분말로써 90 % 이상의 분포로 평균입도 크기가 4~10, 50, 200 μm이며 순도는 99 % 이상의 벨기에 Sibelco사 제품을 사용하였으며 휴즈의 내부 절연관에

2.1.2 엘리먼트 시료의 제작

전력용 휴즈 엘리먼트의 구조는 기능상 상시 사용하는 정격의 과부하 용단 엘리먼트와 이상 과도전류 유입시 짧은 시간에 용단 시켜주는 차단 엘리먼트, 회로에 직렬로 결선시켜주는 양단자로 구성되며, 양단자는 접촉저항이 작아야하고 차단 엘리먼트 절연관 속에 밀봉하여 아크 소호재로 채워져 있는 구조이다. 본 실험에서 시료로 제작한 휴즈 엘리먼트는 그림 1과 같으며 길이는 115 mm, 엘리먼트의 폭은 5 mm, 두께는 1.1 mm, 재료는 순동(Cu)을 사용하였고 각 부위의 소재 및 기능으로

- ① 출력측 접속 단자(Cu rod)
- ② 과부하 용단엘리먼트(Pb+Sn Alloy, 30:70)
- ③ 단락전류 차단 엘리먼트(Cu)
- ④ 입력측 접속 단자(Cu)

를 나타내고 있다. 설계된 정격은 250 V, 300 A의 단락전류 차단 능력 9 kA, 2 cycle 미만이다.

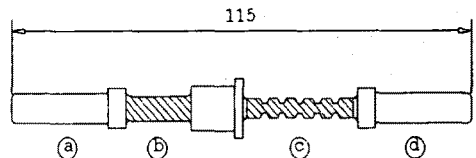
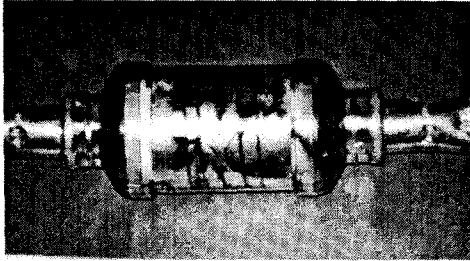


Fig. 1 휴즈 엘리먼트 시료

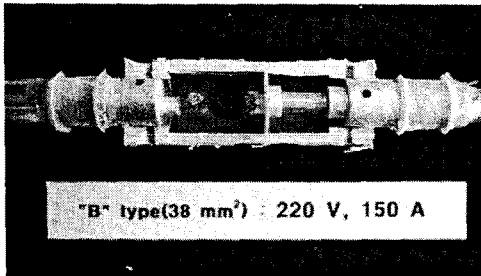
2.1.3 시료의 제작

시료는 위의 그림 1과 같은 엘리먼트를 먼저 제조한 후에 일정한 크기의 절연관을 준비하고 차단 엘리먼트 주변에 아크 소호 분위를 만들어주기 위하여 일정한 공간을 유지하도록 한다. 이때 준비된 절연관으로 밀봉 처리를 하였으며 내부에는 건조된 아크 소호재를 채웠다.

차단부위와 과부하 용단 부위는 휴즈 엘리먼트가 작동하는 기능이 다르기 때문에 두 개의 방(bank 1, 2)으로 나뉘어졌으며 아크 소호재는 용단시 아크가 발생하는 차단 엘리먼트의 영역에만 채웠었으며 Pb+Sn 용단 엘리먼트는 재료의 잠열과 열전도도만을 고려하였고 아크에 의한 열 흐름은 실험의 어려움상 측정할 수 없었다. 아래의 그림 2는 엘리먼트와 소호재가 충전된 휴즈 시료와 시료의 단면을 나타내고 있다.



(a) 시제품 시료 250 V, 300 A



(b) 용단 실험후 시료의 단면

Fig. 2 실험된 시료의 외부 및 단면

2.2 실험 방법

실험에 사용된 회로는 그림 3과 같으며 시료는 아크 소호재 종류 세가지와 실리카 소호재의 입도 크기가 다른것에 대하여 250 V의 전압에 각각 5, 6, 8, 9 kA

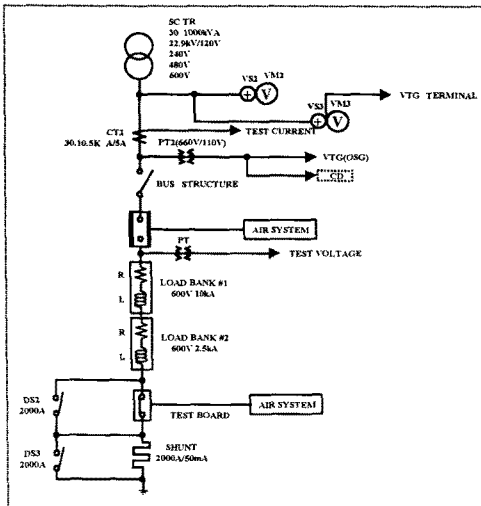


Fig. 3 차단전류 인가 실험회로

의 단락 예상전류를 시료에 투입하였으며 R-L회로에서

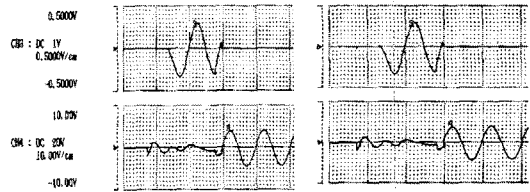
R의 저항을 맞추어 인가할 전류를 calibration 하였다.

2.3 차단 실험 결과

2.3.1 아크 소호재의 종류별 차단 특성

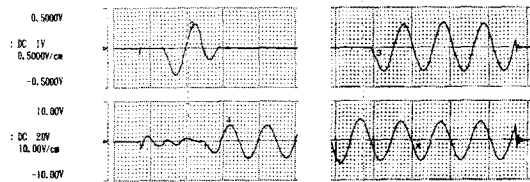
단락전류 차단 엘리먼트의 분위기에 충전되는 아크 소호재를 SiO₂(silica), BN(bron nitride), Al₂O₃(alumina)와 상대적으로 소호재가 없을 경우의 차단 특성 그래프로써 아래의 그림 4와 나타냈다. 9 kA의 전류가 흐르면서 엘리먼트의 노치(notch) 부분이 끊어지고 곧 전압은 회복되는 형태이다. BN(bron nitride), Al₂O₃(alumina)는 차단되는 cycle이 유사한 시간을 나타내고 소호재가 없는 경우는 5 cycle 이상에서 차단되어 전압이 회복되었다. 반면 SiO₂(silica)는 거의 이상적인 1 cycle 정도에서 엘리먼트가 용단되면서 소호 특성이 우수하게 나타났다.

밀폐된 일정 공간에서 9 kA 차단형 Cu 휴즈 엘리먼트의 휴즈 내부의 밀폐된 차단방 공간에서는 9 kA 전류를 인가할 때 소호재 측면에서 Dielectric constant (ϵ_s), Resistivity(Ωcm), Thermal ($\text{W/m} \cdot \text{K}$) 보다는 아크열이 발생시 녹는점이 우선인 것으로 사료된다.



(a) Alumina

(b) Bron nitride



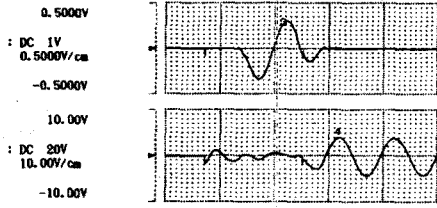
(c) Silica

(D) Non media

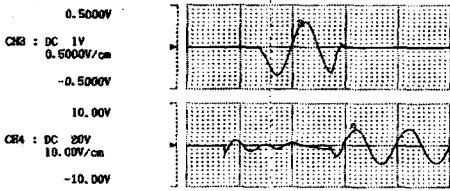
Fig. 4 소호재 따른엘리먼트 차단

2.3.2 실리카 소호재의 입도의 영향 소호 특성

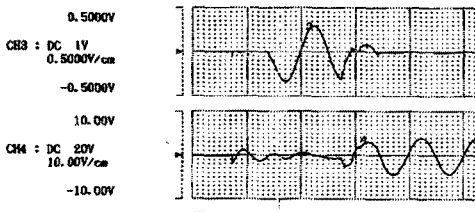
실리카(silica) 소호재는 전력용 휴즈에서 가장 많이 사용되고 있는 무기물 소호재이다. 장점으로서는 값이 싸고 우리나라의 경우 질이 좋은 실리카가 많이 있기 때문이기도 하다. 소호재의 크기는 평균 90 % 이상의 입도 분포를 적용하였으며 사용전에는 충분히 건조하여 밀봉시켰다. 9 kA의 단락전류 차단 실험 결과를 그림 5에 나타내었다. 실리카 소호재의 기본적인 물성은 녹는점, 전도도, 유전율 동일한데 단지 입도가 큰 경우가 작은 4~10 μm 일 때 보다 차단 시간이 짧게 나타났다. 엘리먼트의 형상과 전류, 전압이 동일하기 때문에 궁극적으로 아크에너지가 같다고 보면 단지 소호 능력에 의하여 차단 시간이 짧아짐을 알 수 있다. 입도 크기의 영향은 입자가 작아 공간이 없는 경우 보다는 적당한 입자의 의해 공간이 형성되어 아크 소호 확산이 원활한 결과 소호가 더 빨라지므로 차단 시간이 짧은 것으로 사료된다. 실제로 아크가 소호되는 과정에서 아크 에너지량을 계산한 결과도 실리카 소호재가 작을 때 보다 적당한 공간이 있는 수백 μm 범위일 때 아크소호 능력이 더 뛰어난 것으로 조사되었다.



(a) 200~300 μm 실리카 소호재



(b) 50~80 μm 실리카 소호재

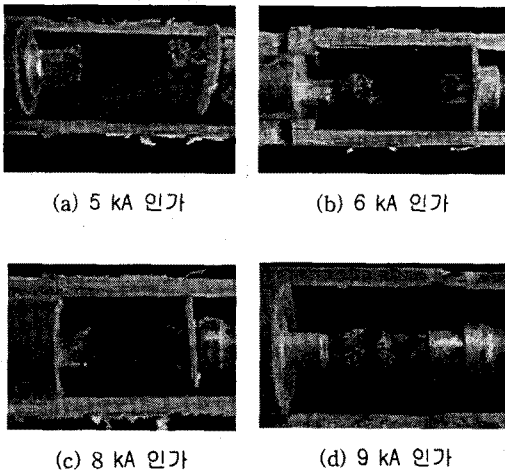


(c) 4~10 μm 실리카 소호재

Fig. 5 실리카 소호재의 입도별 차단 시간

2.3.3 Burn back의 형태

아크 소호재를 실리카로 하여 5, 6, 8, 9 kA를 단락 전류 차단 실험을 한 결과 엘리먼트의 용단된 모양을 그림 6과 같이 나타내었다. 수백 μm 의 실리카를 사용한



(c) 8 kA 인가

(d) 9 kA 인가

Fig. 6 단락전류 실험후 차단된 엘리먼트

차단 엘리먼트는 양호한 용단 특성을 나타냈으며 5 kA 인 경우 과도하게 용단되어 엘리먼트가 정격보다 아크 에너지가 큰 것으로 사료되며 반대로 9 kA에서는 엘리먼트가 차단된 이후에도 좌·우측 엘리먼트의 연결 부분이 남아있으므로 아크 에너지 보다 노치(notch)의 폭이 크거나 아크 소호 능력이 월등하여 용단 부위가 국부적일 때 아크가 소호되어 단자의 흔적이 남아있는 것으로 사료된다.

3. 결 론

휴즈 내부에 충전되는 엘리먼트 용단 아크 소호재의 열 전전도, 녹는점, 전기저항, 유전율 등의 특성을 고려하여 소호재의 종류를 SiO_2 (silica), BN(bron nitride), Al_2O_3 (alumina), Non media와 실리카 소호재의 입도 크기가 4~10, 50~80, 200~300 μm 일때 엘리먼트의 차단 특성과 아크 에너지의 영향을 조사하였으며 설계된 휴즈 엘리먼트의 정격 대비 단락에 가까운 전류 5, 6, 8, 9 kA를 인가했을 때 아크 소호의 특성과 차단 시간에 대한 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 엘리먼트에 형성되는 전류-전압-시간에 의한 아크 소호 작용은 전기저항, 유전율, 열전도도 보다는 아크 에너지 크기에 영향을 받아 소호재의 녹는점에 의존하는 경향을 나타내었다.
2. 엘리먼트가 용단되어 전류가 차단되는 시간은 BN, Alumina, Non media 보다 실리카에서 가장 짧게 나타났다.
3. 실리카 소호재의 입도 크기를 달리하여 실험한 결과 아크가 적당히 흐를 수 있는 크기의 수 백 μm 일 때 아크 소호 특성이 가장 양호하였다.
4. Cu 단락전류 차단 엘리먼트의 설계는 적당한 절연공간, 엘리먼트의 형상, 소호재의 종류, 엘리먼트의 크기 등의 여러 가지가 중요한 요소로 작용하나 아크 소호재 효과가 크기 때문에 휴즈 내부에는 아크 소호재를 충전 시키는게 소호재가 없는 휴즈 엘리먼트의 5~6cycle의 차단 시간보다는 안전 및 차단 시간을 짧게 하는 요소로 확인되었으며 기기나 전자 제품을 이상전류로부터 보호하기 위해서는 적합한 종류, 크기, 량의 아크 소호재 충전은 중요하다.

(참 고 문 헌)

- [1] M.A. Saqib and A.D. stokes, "Characteristics of fuse arcing in different fillers", ICEFA 99, pp. 275~278, 1999.
- [2] M.A. Saqib, A.D. stokes, B.W. James and I.S. Falconer, "Measurements of electron density in a high-voltage fuse arc", Proceeding of ICEFA 99, pp. 129~132, 1999.
- [3] M.A. Saqib, A.D. stokes and P.J. Seebacher, "An insight into the fulgurite of a high-voltage fuse", industrial engineering theories application and practice, Hong Kong, Dec. 1998.
- [4] D. Konig, J. Trott, H.J. Muller and B. Muller, "Switching performance of high-voltage fuses element in different solid and gaseous filling media", Proceedings of the third ICEFA 87, Eindhoven, Netherland, May 11~13, 1987.
- [5] J. Paukert, "Search for new extinguishing media for LV fuse", Proceedings of the third ICEFA 87, Eindhoven, Netherland, May 11~13, 1987.