

고온 초전도 한류퓨즈의 동작특성

최효상\*, 현옥배, 김혜림, 황시돌, 박권배  
한전 전력연구원

Operation properties of high  $T_c$  superconductive current limiting fuse

Hyo-Sang Choi\*, Ok-Bae Hyun, Hye-Rim Kim, Si-Dole Hwang and Kwon-Bae Park  
Korea Electric Power Research Institute (KEPRI)

**Abstract** - We present the basic properties of a superconductive current limiting fuse (SCLF) based on YBCO/Au films. The SCLF consists of meander type YBCO stripes covered with an Au layer for current shunt. The fault current was first limited to a designed value in less than 0.4 msec by resistance development in YBCO/Au upon quenching. This enables the SCLF to transfer small fault power and the suppressed current was sustained for more than 0.5 msec while Au layer melting and arcing. The arcing time was less than 2.5 msec, that is short enough to do self-interruption.

리한 meander형태로 구성하였다. 시편의 폭은 각각 1 mm이며 길이는 표 1에 나타내었다.

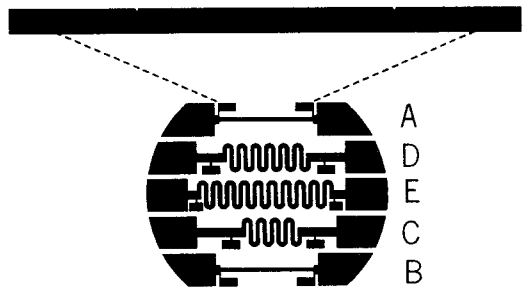


그림 1. 초전도 한류 fuse의 패턴모양

1. 서 론

최근 전력수요의 증가와 함께 전력계통이 대용량화 및 복잡화되어 높은 신뢰성과 안전성 확보가 요구되고 있다. 이러한 전력계통에 단락사고가 발생하면 단락전류로부터 수반되는 이상전압과 이상전류는 전기설비의 손상이나 절연과피를 야기시키게 되어 계통의 불안정 및 장치폭발 등의 사고를 유발하게 된다. 이러한 단락전류의 제거는 1차적으로 차단기를 들 수 있으나 차단기는 재투입이 가능한 장점을 가진 반면 최소 5주기 이상의 시간이 소요되고 장치가 크며 가격이 비싼 단점이 있다. 다음으로, 2차적인 단락전류 제거장치는 컷 아웃 스위치, 파워퓨즈 및 한류퓨즈 등이 사용되고 있다. 컷 아웃 스위치와 파워퓨즈는 차단기에 비해 상당한 경제성을 확보하고 있으나 1회용으로 밖에 사용할 수 없고 단락전류의 차단 및 소호시간이 길어지는 단점을 갖고 있다. 한편, 한류퓨즈도 1회용으로 밖에 사용할 수 없는 단점을 가지고 있으나 단락전류를 한류시키는 점과 동작  $t_{int}$ 가 차단기나 컷아웃 스위치 및 파워퓨즈에 비해 작기 때문에 연구자들에게 많은 관심을 끌고 있다.[1-2]

사고전류 차단 및 전류제한특성 측정을 위한 시험 장치를 그림 2에 나타내었다. 그림에서  $V_0$ 는 전원전압이며 본 실험에서는 200 V<sub>rms</sub>를 인가해 주었다. 직렬저항  $R_0$ 은 전류변화를 측정하기 위한 표준저항으로써 1 Ω이다. SCLF은 박막형 초전도 fuse를 나타낸다. 한편  $R_L$ 은 선로에 취부되어 있는 부하를 나타내며 정상상태에서 초전도 fuse가 갖는 쉐인저항을 감안하여 84 Ω을 가해 주었다. SW1은 계통의 정상상태를, SW2는 1선 지락사고와 같은 계통 고장시험을 수행하기 위한 스위치이다. 실험 전 과정에서 SCLF 부분은 정상상태 운전시 초전도 상태를 유지해 주어야 하기 때문에 액체질소 속에 잠겨 있도록 하였다.

본 논문에서는 한류퓨즈의 다른 형태로써, 아직까지 연구가 거의 되어있지 않은 초전도 한류퓨즈에 대한 실험결과를 토대로 하여 그 특성을 고찰함으로써 초전도체만의 장점인 고전류밀도를 이용한 새로운 개념의 초전도 한류퓨즈의 적용 가능성을 모색하고자 한다.

표 1. 각 초전도 한류퓨즈의 길이

구분	시편 A	시편 B	시편 C	시편 D	시편 E
길이(cm)	2	2	6.83	10.24	16.22

2. 본 론

2.1 실험 구성

사고전류를 차단하기 위하여 사용된 fuse 소자는 독일의 THIEVA사에서 제공한 직경 2 inch의 박막을 이용하였다. YBCO film은 LaAlO<sub>3</sub> 기판위에 증착되었으며 두께는 300 nm이고 quench시 발생하는 hot spot에 대처하기 위하여 200 nm의 금(Au)을 in-situ로 입혔다. 시편은 그림 1에서 보여주는 바와 같이 2 inch 박막을 5개의 element로 나누어서 다양한 형태로 제작하였다. 시편 A는 그림의 확대된 부분에서와 같이 notch 2개를 두었으며, 시편 B는 rod형태, 시편 C, D, E는 길이를 서로 달

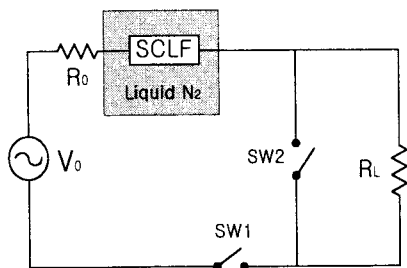


그림 2. 초전도 fuse의 실험 회로도

2.2 실험 결과

그림 3에 사고후의 각각의 형태에 대한 초전도 한류퓨

즈의 전류제한 및 차단특성을 보여준다. 시편 A에서 notch는 전류제한 및 방전시간을 조절할 목적으로 만들었으나 본래의 취지와는 달리, 다른 시편과 비교하여 전류제한 시간은 거의 동일하였으며 오히려 방전시간은 더욱 길어지는 것을 확인할 수 있다. 이는 notch가 있는 부분에서 용단이 먼저 일어나고 그 부분에서 flashover를 일으켰기 때문으로 생각된다. 한편 시편 B, C, D, E에서는 0.4 msec 이내에 켄치가 완료된 후 fuse element의 길이에 비례하여 한류전류값은 낮아지고 한류지속시간은 길어졌다. 방전특성은 시편 B, C, D가 비슷한 형태를 보였으나 시편 E는 다소 완만한 특성을 나타내었다. 이는 동일한 인가전압(200 V<sub>rms</sub>)하에서 상대적으로 낮은 한류전류값에 의하여 방전에너지 I<sup>2</sup>R값이 충분하지 않았기 때문으로 생각된다. 앞으로 한류전류 및 방전특성에 대하여 인가전압별로 적정조건을 구하는 연구가 좀더 이루어져야 할 것으로 생각된다.

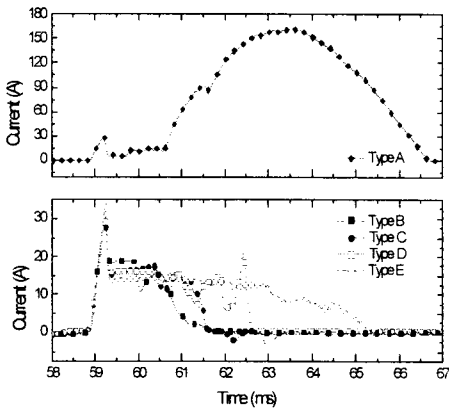


그림 3. 각 초전도 fuse의 한류 및 방전특성

Fuse element의 켄치특성을 좀더 자세히 살펴보기 위하여 그림 4와 같이 단위길이당 저항특성을 살펴보았다. Fuse element의 길이가 길어질수록 단위길이당 저항값은 낮았으며 따라서 방전개시시점도 늦추어졌다. 이는 앞에서 언급한 I<sup>2</sup>R값과 관련이 있는 것으로 생각된다. 한편 시편 A의 경우는 초기에 발생된 저항값이 약 2 msec후에 오히려 줄어드는 것을 볼 수 있는데 notch 부분에서 flashover에 의한 켄치 때문에 켄치저항값이 감소하였고 이로 인해 방전시간이 증대하는 결과를 보여준 것으로 여겨진다.

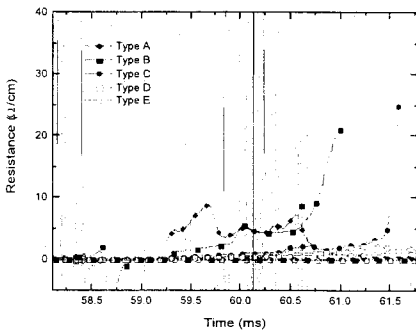


그림 4. 각 초전도 fuse의 단위길이당 저항특성

그림 5는 fuse 실험을 수행한 이후의 각 시편의 용단

특성을 보여주는 사진이다. 그림에서 보는 바와 같이 fuse element가 시작되는 부분(그림 a, b)과 meander line에서 곡률이 발생되는 부분(그림 c, 곡률부분에서 약 10% 가량 폭을 증대하였음)에서 용단이 발생하였다. 이는 그 부분에서 전계의 집중현상이 발생하기 때문으로 생각된다. 초전도 fuse의 동작특성을 좋게 하기 위해서는 element 전역에서 용단을 발생시켜 방전에너지를 분산을 유도하여야만 한다.

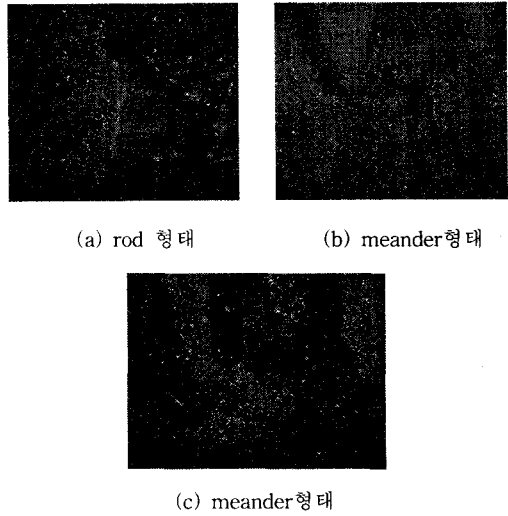


그림 5. 각 초전도 fuse의 용단된 부분의 사진

### 3. 결 론

이상에서 초전도 박막을 이용한 한류 fuse의 기초특성을 고찰하였다. 초전도 fuse는 사고직후 0.4 msec 이내에 켄치가 완료된 후 최소 0.5 msec이상 동안 한류동작을 수행하다가 방전되었다. 방전지속시간은 2.5 msec이내이었으며 자체 차단기능을 수행할 수 있을 정도로 충분히 짧았다. 이는 fuse element의 크기가 작기 때문으로 생각된다. 전체적으로 초전도 한류 fuse는 초전도체의 고전류밀도 특성을 이용한 기기이기 때문에 일반 퓨즈에 비하여 크기가 작고 간단한 구조로 설계할 수가 있었다. 또한, 냉매로 액체질소를 사용하기 때문에 방전시 유해가스가 발생하지 않아 환경친화적인 특성도 부수적으로 얻을 수 있었다. 한편, 초전도 한류 fuse에 대한 연구는 국내외적으로 연구성과가 아직 미미한 실정이다. 이런 관점에서 이번 연구결과는 나름의 의미를 부여할 수 있지만 아직 시작단계에 불과하다. 앞으로 fuse element의 적절한 형태 및 구성에 대한 설계, 인가전압 및 전류에 대한 한류전류 및 방전특성사이의 관련성, 초전도층위에 입혀진 금속의 fuse 특성 의존성과 기판의 종류 및 두께에 대한 특성등이 연구과제로 남아 있다.

### (참 고 문 헌)

- [1] N. Shimomura, M. Nagata, C. Grabowski, K. Murayama, and H. Akiyama, "Effects of wire shape on unstable behavior of parallel fuses", IEEE Trans. Plasma Science, vol. 24, No. 3, 1192-1193, 1996.
- [2] Hyo-Sang Choi, Ok-Bae Hyun, Hye-Rim Kim. "Quench characteristics of resistive superconducting fault current limiters based on YBCO films". Physica C. vol. 351, No. 4, 415-420, 2001.