단락 사고 검출용 고온초전도체의 초전도성 회복 시간 변화 측정

임성우*, 김혜림*, 현옥배*, 성태현*, 심정욱**
한전전력연구원 전략기술연구소*, LS 산전 전력연구소**

Recovery time after quench of Au/YBCO thin film for fault accident detection

Seong-Woo Yim*, Hye-Rim Kim*, Ok-Bae Hyun*, Tae-Hyun Sung*and Jung-wook Sim**
Korea Electric Power Research Institute*, LS industrial system**

Abstract : 최근 KEPRI-LSIS가 공동 개발한 하이브리드형 초전도 한류기 동작 시, 사고 검출을 담당하는 초전도체의 최적 설계에 적용하기 위하여 Au/YBCO 박막의 퀜치 회복 특성을 조사하였다. 600 V_{rms}, 3 ms의 사고가 초전도 박막에 인가되었을 때, 퀜치가 종료된 이후 초전도성을 회복하기 위해 142 ms의 시간이 소요되었다. 또한 인가 시간이 증가함에 따라 소요 시간도 비례하여 증가하여 4 ms 동안 인가되었을 때, 퀜치 회복 시간은 272 ms로 측정되었다.

Key Words : hybrid type SFCL, quench & recovery characteristics, YBCO thin film

1. 서 론

최근 한전과 LS 산전이 공동 개발한 22.9 kV 배전급 하이브리드형 초전도 한류기는 사고 시 한류 동작에 있어 획기적인 성능 향상을 보였을 뿐만 아니라 계통 적용을 위한 첫번째 요구 사항 중 하나라 할 수 있는 퀜치 후 단시간 초전도 회복의 필요성에 매우 유연히 대처할 수 있을 것으로 기대된다. 그림 1의 개념도와 같이 하이브리드형 초전도 한류기는 초전도체와 한류 소자로 구성되어, 초전도체는 무손실 통전과 사고 시 퀜치 검출 을 담당하고 한류 동작은 상전도 한류 소자가 담당한다. 따라서 초전도체는 사고 발생 시 사고 검출에 필요한 매우 짧은 시간 동안 (수 밀리 초 이내)의 전력을 소비하므로 퀜치 후 초전도성 회복에 필요한 시간도 매우 짧아질 수 있다.

한편, 하이브리드형 초전도 한류기의 최적 설계를 위해서는 초전도체의 인가 전압 및 사고 전류의 크기 및 인가 시간에 따른 퀜치 후 회복 특성에 대해 대한 명확한 이해가 요구된다. 특히, 반주기 이내 또는 1 주기 내의 사고 전류에 대한 회복 특성에 대해 세부적으로 조사할 필요가 있다. 본 연구에서는 사고 전류 인가 시간 변화에 따른 퀜치 후 회복 특성을 조사하여 향후 하이브리드형 초전도 한류기의 설계에 적용할 목적으로 실험을 행하였다.

2. 실험 방법

본 연구에 사용된 초전도 한류 소자는 4 인치 사파이어 기판 위에 Au/YBCO 초전도 박막이 증착 패턴된 형태로 물리적 특성은 표 1에 제시된 바와 같다. [1] 기 확보된 Au/YBCO 한류 소자의 퀜치 특성에 기초하여, 그림 2에 제시된 바와 같은 단락 사고 시험 회로를 구성하였으며 한류 소자의 퀜치 후 초전도성 회복 특성을 조사하였다.

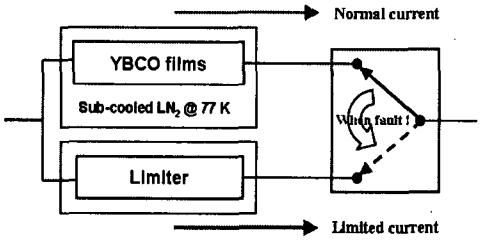


그림 1. 하이브리드형 초전도 한류기의 개념도.

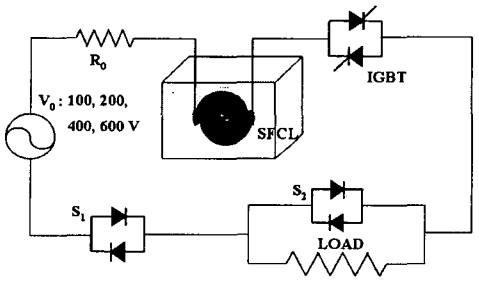
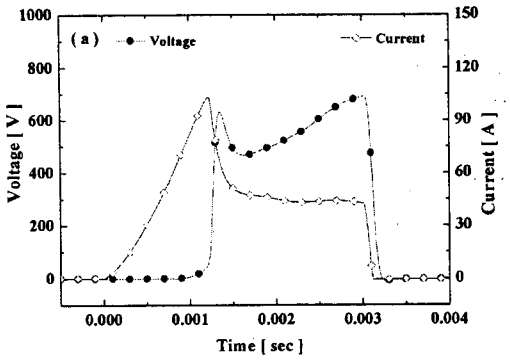


그림 2. 퀜치 회복 시험 구성 회로 개략도.

표 1. 초전도 한류소자 설계 사양

SFCL	Au / YBCO / Sapphire substrate
설계 패턴	Bi-spiral line
패턴 길이	100 cm
Ic & Tc	48 A (1 μV/cm, @ 77 K), 85 K
정격 전압	6 V/ cm (Max. : 12 V /cm)
저항	49.2 Ω (@ 295 K)

한류 소자의 퀜치가 종료된 직후, 회로를 통하여 약 200 mA_{rms}의 전류를 인가하고 한류 소자의 저항에 의해 나타나는 전압을 검출하였다. 한류 소자가 액체 질소에 의해 냉각되고 온도가 임계온도 이하로 감소하여 측정 전압이 0이 되는 시점을 검출하여 한류소자의 초전도성 회복시간을 계측하였다.



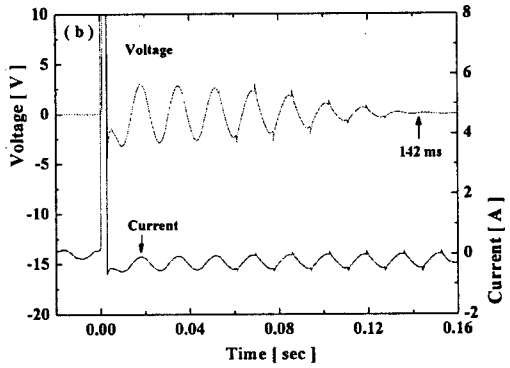


그림 3. 600 V_{rms}, 3 ms 인가 시
a) 퀜치 특성 b) 회복 특성

3. 결과 및 고찰

그림 2에 나타내어진 IGBT 제어 회로에 의해 사고 인가 시간을 조절하여 Au/YBCO 한류 소자의 퀜치 및 회복 특성을 조사하였다. 그림 3a는 600 V_{rms}, 3 ms 동안의 사고가 인가된 경우, 한류 소자의 퀜치 특성을 나타내고 있다. 퀜치가 종료되었을 때, 한류 소자의 저항은 16 Ω으로 증가하였고 이 때 발생한 줄열에 의해 온도는 약 100 K 까지 상승하였다. 그림 3b에는 퀜치가 종료된 후, 한류 소자가 다시 초전도성을 회복하기 까지 소요된 시간을 조사한 결과이다. 그림으로부터 한류 소자의 초전도 회복 시간은 142 ms가 소요되었음을 알 수 있다.

그림 3b의 결과를 400 V_{rms}의 사고를 인가한 경우의 회복 시간과 비교하여 그림 4에 제시하였다. 인가 전압이 서로 상이함에도 불구하고 퀜치 회복 시간에는 많은 차이가 없는 것으로 나타났다. 이는 bi-spiral 형태로 설계된 Au/YBCO 박막에 비교적 작은 퀜치 에너지가 인가됨으로써 박막의 일부로부터 퀜치가 발생하였으며 이에 따라 초전도성을 회복되는 시간에도 영향을 미친 것으로 판단된다.

그림 5에는 사고 인가 시간 변화에 따른 한류 소자의 퀜치 회복 시간을 나타내었다. 인가 시간이 증가함에 따라 퀜치 회복 시간도 비례하여 증가하는 경향을 보였으며, 4 ms 동안 인가되었을 때 퀜치 회복 시간은 약 272 ms가 소요되는 것으로 조사되었다.

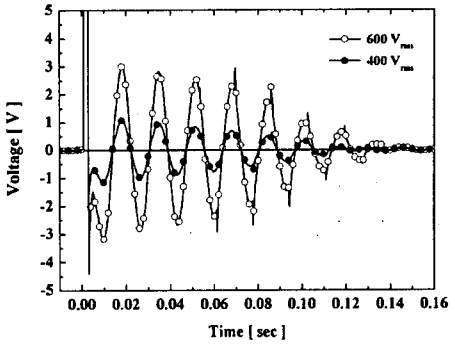


그림 4. 400 및 600 V_{rms} (2.8 ms)인가 시 퀜치 회복 특성.

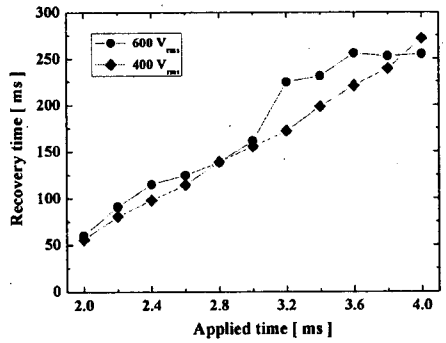


그림 5. 인가 시간 변화에 따른 퀜치 회복 시간.

4. 결 론

Bi-spiral 형태로 설계 제작된 Au/YBCO 초전도 박막을 이용하여 단락 사고에 대한 한류 특성 및 퀜치 후 회복 특성을 조사하였다. 일반적으로 초전도 한류기가 계통 보호에 적용되기 위해서는 500 ms 이하의 퀜치 회복 시간이 요구된다. 본 연구를 통하여 반 주기 이내의 사고 전류가 인가되는 경우에는 Au/YBCO 초전도 박막이 이러한 조건을 만족시킬 수 있는 것으로 판단되었다. 결과로부터 초전도 소자의 최적 설계를 통하여 하이브리드형 초전도 한류기가 제작된다면 재투입을 고려한 계통 보호 협조 시스템에 성공적으로 적용될 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 차세대초전도응용기술개발 사업단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

[1] H. R. Kim, H. S. Choi, H. R. Lim, I. S. Kim, and O. B. Hyun, "Resistance of superconducting fault current limiters based on $YBa_2Cu_3O_7$ thin films after quench completion," *Physica C*, vol. 372-376, pp. 1606-1609, 2002