

스테인레스 안정화 층을 갖는 YBCO Coated Conductor의 전류 제한 특성에 관한 연구

두호익, 김민주, 두승규, 김용진, 이동혁, 한병성
전북대학교 전기공학과

Study on current limiting characteristics of YBCO coated conductor with stainless steel stabilizer layer

Ho-Ik Du, Min-Ju Kim, Seung-Gyu Du, Yong-Jin Kim, Dong-Hyeok Lee, Byoung-Sung Han
Dept. of Electrical Engineering Chonbuk Nat. Univ.

Abstract : This study researched into the manufacture of current-limit module of using YBCO coated conductor. Regarding over-current of exceeding the critical current, the quench characteristics were researched according to the stabilizing layer through tendency in resistance, which is generated in conductor, by applying over-current to YBCO coated conductors, which have stabilizing layer. YBCO coated conductors, which were used in experiment, include one kind such as the conductor, which used stainless as the stabilizing layer. The critical current is 70 A. And, the critical temperature is with 90 K. First of all, the quench generation was researched under over-current of exceeding the critical current by using this YBCO coated conductors. The tendency of a rise in the detected voltage according to the applied current was measured. And, the tendency of a rise in resistance through voltage-current curve was measured. As a result, the point of time in thermal quench of conductor, which has stainless as the stabilizing layer, could be confirmed to be fast.

Key Words : HTS, SFCL, YBCO coated conductor

1. 서 론

초전도체의 켄치 발생은 초전도 소자가 감당할 수 없는 임계전류, 임계장장이 인가되거나, 임계온도가 일정 값 이상으로 발생하는 하는 경우 소자의 급격한 저항 상승으로 인하여 초전도에서 상전도로 전이되는 것을 말한다. 따라서 초전도 기기에 있어서 켄치가 발생한다는 것은 기기의 정상운전을 보장할 수 없을 뿐만 아니라 기기 또는 시스템 전체의 손상 가능성까지도 야기하게 된다. 이러한 사고 상황으로부터 초전도전력기기를 보호하고, 계통의 안정성을 확보하기 위해 초전도 전류제한기가 제안되고 있다. 기존의 고온초전도 전류제한기는 YBCO 박막을 이용한 형태와 BSCCO 벌크를 이용한 형태가 대표적으로 사용되어 왔으나[1], 각각의 소자가 갖는 문제점으로 인해 실계통 적용을 어려움을 안고 있다. 이에 본 논문에서 2세대 고온초전도 선재인 YBCO coated conductor을 이용하여 전류제한 소자를 제작하고, 전류제한소자의 전류 제한 특성 및 안정성을 평가하였다.

2. 실험

2.1 실험장치

시험에 사용된 전류제한소자는 약 70 A의 임계전류와 90 K의 임계온도를 갖는 스테인레스 안정화 층의 YBCO

coated conductor이다. 소자의 전체 길이 250 cm이고, 나선형의 권선형태로 제작되었다.

그림 1은 실험 장치의 개략도를 나타낸다. 그림에 나타난 바와 같이 과전류 인가 시 제작된 초전도 전류제한소자가 SW₁과 SW₂의 개폐동작과 기준저항에 의해 조절된 인가전류에 의해 소자의 켄치가 결정되도록 구성되었다. 이 때 인가전압은 실험에 사용된 초전도 전류제한소자의 켄치 시 소자가 감당할 전력량을 고려하여 설정하였다. 구성된 회로에 과전류를 인가한 후 켄치 시 각 전류제한소자에서 검출되는 전압을 측정하여 각각의 켄치 거동을 분석하였다.

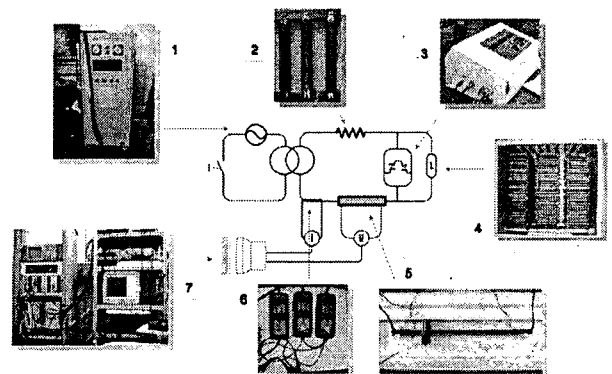


그림 1. 시험장치 개략도

3. 결과 및 고찰

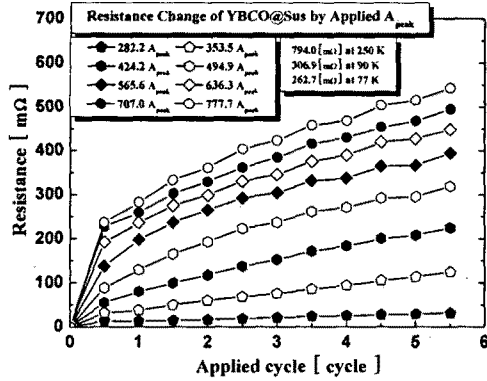


그림 2. 인가 전류 및 시간에 의한 저항 변화

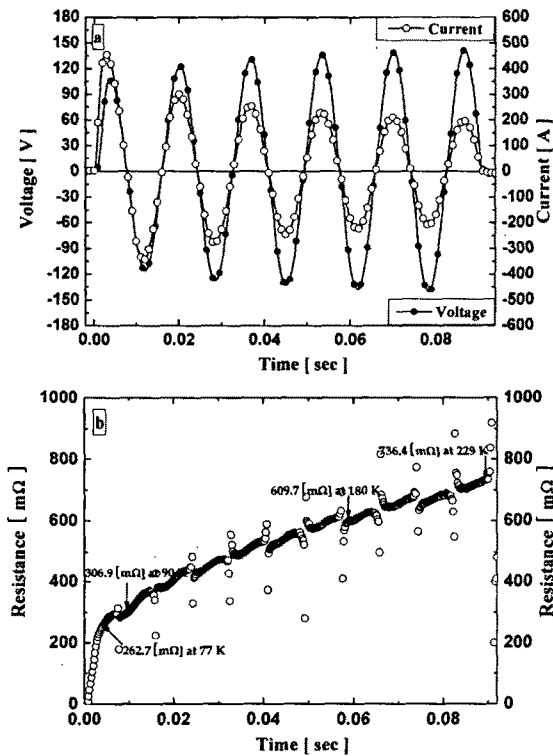


그림 3. 750 A_{rms} 인가 시 (a) 전압-전류와 (b) 저항 변화

그림 2는 스테인레스를 안정화 층으로 갖는 YBCO 박막형 선재에 200 A_{rms} - 550 A_{rms} 까지 범위의 전류를 각각 50 A_{rms} 단위로 증가시키며 인가하여 선재에서 검출된 저항 변화를 나타낸 결과이다. 검출된 결과로부터 알 수 있듯이 스테인레스를 안정화 층으로 갖는 선재의 경우 첫 주기에서의 저항 증가 경향이 급격하게 일어남을 확인할 수 있다. 이는 임계온도 초과 후 전류 분류에 의해 초전도 층과 안정화 층으로 나누어 흐르던 전류가 인가전류와 시간이 증가함에 따라 비저항이 큰 스테인레스 층으로만 통전되기 때문이다. 비저항이 큰 스테인레스에 의해 급격한 상전이 일어나고 이렇게 발생한 저항은 초기 사고전류를 빠르게 제한하게 된다. 이러한 경향은 전류제한소자가 가져야 할 특성 중 하나이다.

그림 3은 전류제한소자 전체에서 통전 주기 내에 완전 상전이가 이루어진 750 Arms를 인가한 경우의 전압-전류와 저항 변화를 나타낸 곡선이다. 그림 3(a)에서 보면, 첫 주기부터 전체 통전전류에 대한 전류제한 특성을 보이고 있다. 첫 주기에서 통전전류를 50 % 가량 제한한 490 A_{peak}로 제한하기 하기 시작하여, 전체 통전 주기에서 포함되는 영역 없이 점진적으로 전류가 감소되고 있다. 특히 전체 통전 주기 중 1주기에서 2주기로 넘어가는 과정에서 전류제한 폭이 가장 크며, 이는 그림 3(b)의 저항 증가 경향을 통해 확인할 수 있다. 이 시점에서 발생한 저항 역시 크게 발생하여 전류제한소자의 온도를 임계온도 이상으로 끌어 올리고 있다. 이후 발생저항은 마지막 주기까지 시간에 따라 선형적으로 증가하며 마지막 주기에 이르면 229 K의 온도를 갖는 736.4 [mΩ]까지 증가되는 것을 확인할 수 있다. 또한, 전류제한소자의 마지막 주기 도달 온도는 YBCO 박막에서의 완전 켄치 시 온도인 250 K에 미치지 않고 있다. 이는 YBCO 박막의 완전 켄치 시 도달 온도를 기준으로 할 때 제한한 전류제한소자의 상태가 안정 영역에 있는 것으로 판단할 수 있으며, 따라서 제작된 전류제한소자는 YBCO 박막과 유사한 전류제한 성능을 가지며, 전류제한소자의 안정성까지 확보되었다고 판단 할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서 얻을 수 있는 실험 결과는 초전도 전류제한기의 전류제한소자로 YBCO coated conductor를 적용하여도 기존의 초전도 전류제한소자가 갖는 특성을 얻을 수 있다는 것이다. YBCO coated conductor는 기존의 전류제한 소자에 비해 기계적 가공 특성이 우수하고, 안정화 층의 선택에 따라 상전이 속도를 조절할 수 있으며, 완전 켄치 시 도달온도 역시 YBCO 박막의 켄치 온도인 250 K를 기준으로 할 때, 안정상태에 있는 것을 확인할 수 있다. 물론, 실계통 적용시, 소자 전체 길이가 길어짐에 따라 부분 켄치에 대한 문제점을 가질 수 있으나, 이는 초전도 전류제한기 설계 시 용량 등급을 고려하여 제작한다면 보완할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2007년도 교육과학기술부의 재원으로 한국과학기술진흥재단(KRF-2007-521-D00177)의 지원 받아 수행된 연구임.

참고 문헌

- [1] Ho-Ik Du, Min-Ju Kim, Seung-Gyu Doo, Yong-Jin Kim, Byoung-Sung Han "Resistance Increase Behavior of HTS Wire with Stabilizer Layer on Applied Over-currents", *Trans. on Electrical and Electronic Materials*, vol. 10, no. 2, pp. 62-65, April 25, 2009.