

YBCO CC테이프 임계전류의 인장변형을 특성

신형섭, 김기현*, 오상수**

안동대 기계공학부, 안동대 대학원*, 한국전기연구원**

Tensile Strain Characteristics of Critical Current in YBCO Coated Conductors

Hyung-Seop Shin, Ki-Hyun Kim* and Sang-Soo Oh**

Andong Nat'l Univ., Andong Nat'l Univ.*, KERI.**

Abstract : The tensile strain dependency of critical current in YBCO coated conductors was examined at 77K and in the self magnetic field. A commercially available YBCO sample with Cu stabilizer layer was supplied. There existed a peak in the relation between the I_c and tensile strain, and the reversible variation of I_c with applied tensile strain was found. In the neutral axis Ni alloy RABiTS- $Y_2O_3/YSZ/CeO_2$ buffered YBCO tape, the I_c recovered reversibly until the applied strain reached to about 0.5%, representing that a significant residual compressive strain induced during cooling to 77 K influenced the axial strain tolerance of YBCO conductors. To investigate the strain and stress influence on the I_c , the stress-strain characteristics of YBCO conductors measured at 77 K were discussed.

Key Words : YBCO CC, Critical Current, Tensile Strain, Strain Effect.

1. 서론

마그넷, 모터, 발전기, 전력케이블과 같은 실용 초전도 응용기기에 사용되는 PIT 및 CC선재를 포함한 HT스테이프는 다양한 형태의 응력 및 변형을 받게 된다. 따라서 초전도 응용장치 설계시 데이터 확보 측면에서 YBCO CC 테이프 임계전류의 변형특성에 관한 연구는 필요하다. 지금까지 BSCCO테이프의 I_c 열화기구와 변형효과를 확립되어 오고 있다. 그러나 YBCO CC테이프의 I_c 열화기구는 제대로 확립되어 있지 않은 실정이라서[1,2], 본 연구에서는 77K에서 인장시험을 통해 YBCO CC선재에서 임계전류의 인장 변형 특성을 조사하였다.

2. 실험 방법

Fig. 1은 Cu안정화층을 적층함으로써 YBCO막층이 테이프의 중심축에 위치하도록 한 시판 CC선재의 단면을 나타내고 있다. 선재의 두께는 0.15mm 이고, 단면구성은 Ni-5wt%W/ $Y_2O_3/YSZ/CeO_2/YBCO/Ag/Cu/Sn$ 으로 되어 있다.

YBCO CC테이프의 인장시험은 Fig. 2에 보인 바와 같이 만능재료시험기(Instron 8516, 5 kN)를 사용하였다. 시험편

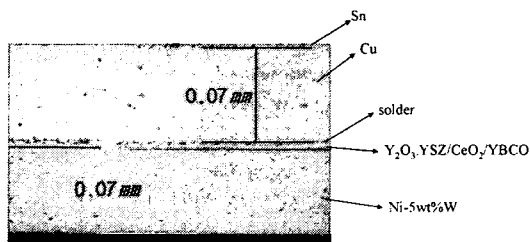


Fig. 1 Cross-sectional view of Neutral-axis RABiTS YBCO conductor.

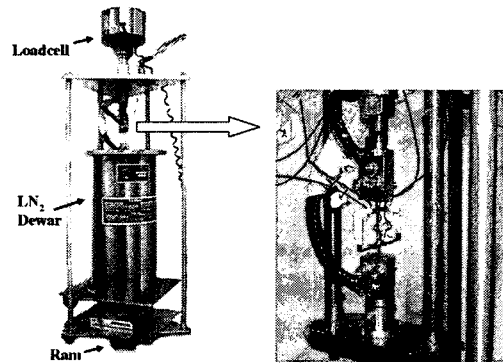


Fig. 2 Setup of specimen installed with Nyilas developed double extensometers for measuring strain.

의 길이 80 mm, 상하부 그립간 간격 40 mm로 하였고, 게이지길이 25 mm의 이중변위계(Ti합금)를 시험편에 설치하여 77K에서 시험편에 발생한 진 변형을 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 3은 77K에서 Cu-안정화층을 갖는 RABiTS YBCO CC테이프의 인장시험 결과로, 영률 $E=140$ GPa, 0.2%유효항복응력은 305 MPa, 비례한도는 275 MPa을 나타내었다.

Fig. 4는 YBCO CC테이프의 I_c 의 인장변형 특성을 나타내는데, I_c 는 인장변형을 증가와 함께 증가하지만 약 0.1%에서 피크치를 나타낸 후 가역적으로 감소하였다. 시험도중 매번 하중을 제거하여 임계전류의 회복 여부를 조사하였다. 이때 제하시 I_c 가 부하시 I_c -인장변형률 선도를 벗어나기 시작하는 변형률 값을 임계비가역변형률, ϵ_{irr} 로 정의를 하였고, Cu-안정화 층이 냉각동안 YBCO필름에 압축잔류변형을 발생시켜, 균열발생 저지효과를 나타내,

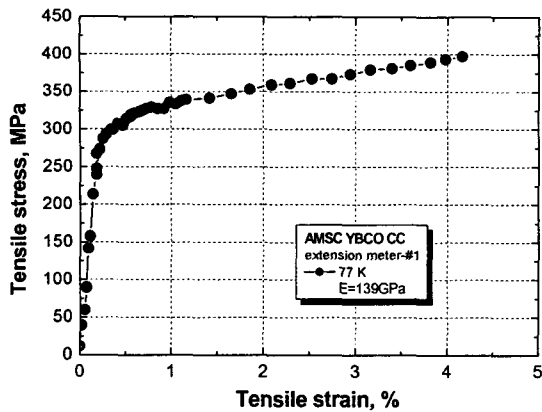


Fig. 3 Stress-strain curves of neutral axis RABiTS YBCO CC tapes laminated with Cu layer(AMSC).

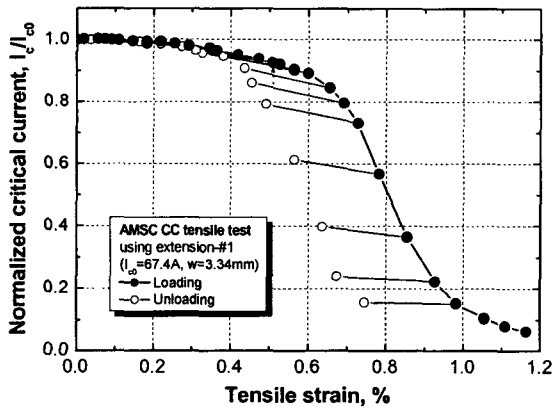


Fig. 4 I_c/I_{c0} - tensile strain relation of neutral axis RABiTS YBCO coated conductors at 77K and in the self field.

$\epsilon_{irr.} = 0.51\%$ 의 우수한 값을 나타내었다. YBCO필름에 균열 혹은 손상이 발생하는 경우, I_c 는 비가역적 저하를 나타내, 이러한 거동은 Bi-2223선재와는 다르고, I_c 의 변형률의 존성도 기판의 존재로 인해 Bi-2223선재에 비하여 완만하게 나타났다.

YBCO CC테이프의 열화거동은, 두 단계로 나눌 수 있다. 제 1단계에서는 모든 구성부가 탄성적 거동을 나타내 응력이 제거되었을 때 I_c 가 회복하는 영역, 제 2단계는 기판 혹은 안정화층의 소성변형에 따라 YBCO층에 균열발생으로 인해 I_c 가 비가역적인 저하를 나타내는 영역이다. 한편 Fig. 5는 I_c 에 미치는 인장응력의 영향을 나타낸 것으로, 비가역응력은 $\sigma_{irr.} = 290$ MPa으로, 항복응력과 비례한도사이의 값이다. I-V선도를 사용하여 상전도로 천이 영역인 $0.2 \sim 5 \mu V/cm$ 의 전압구간에 구한 n -값을 Fig. 6에 나타내었다. n_0 -값은 약 23으로, Bi-2223선재보다 높아, 안정화층면에서는 다소 유리하다는 것을 알 수 있다. n -값의 인장변형을 특성은 I_c -인장변형을 거동과 유사하다. 제1단계 변형구간에서 n -값은 하중이 제거되면 원래 상태로 회복되었다. YBCO필름에 균열 등 손상이 발생하게 되면 임계전류의 저하가 일어나면서 전송전류의 분류가 나타남을 알 수 있다.

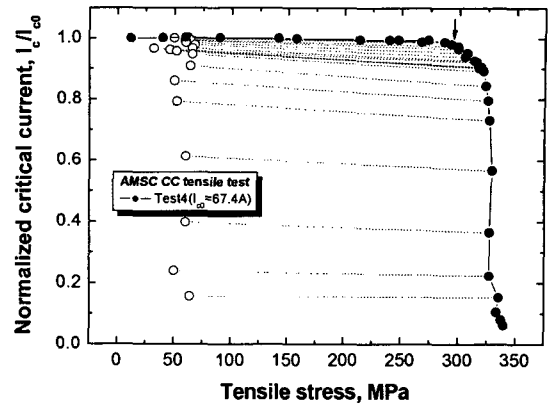


Fig. 5 I_c/I_{c0} - tensile stress relation of neutral axis RABiTS YBCO coated conductors at 77K

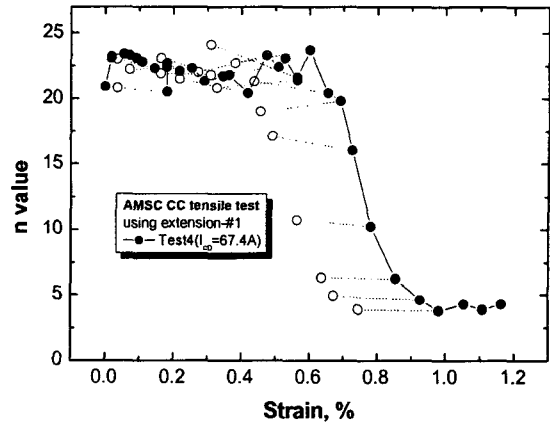


Fig. 5 Relation between n -value and tensile strain of neutral axis RABiTS YBCO coated conductor at 77 K.

4. 결론

RABiTS YBCO CC테이프에서 I_c 는 인장변형률의 증가와 더불어 약 0.1%에서 피크치를 나타낸 후 가역적으로 변화하였다. Cu-안정화 층이 냉각동안 YBCO필름에 압축 잔류변형률을 발생시켜서 균열발생의 저지효과가 나타나, $\epsilon_{irr.} = 0.51\%$ 를 나타내었다. YBCO CC테이프의 I_c 저하거동은 2단계 변형으로 설명할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 차세대 초전도 응용기술 개발 사업단의 연구비지원으로 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] N. Cheggour, J. Ekin, C. C. Clickner, D. T. Verebelyi, C. L. H. Thieme, R. Feenstra and A. Goyal, Appl. Phys. Lett, Vol. 83, p. 4223, 2003.
- [2] M. Sugano, K. Osamura, W. Prusseit, R. Semerad, K. Itoh and T. Kiyoshi, Supercond. Sci. Technol. Vol. 18, p. 369, 2004.