

분할형 YBCO CC의 임계전류 측정방법

한병욱*, 이세연*, 김영일*, 김우석**, 이지광***, 박찬**, 최경달*
 한국산업기술대학교*, 서울대학교**, 우석대학교***

Measurement of Critical Currents of Striated YBCO Coated Conductors

Byung Wook Han*, Se Yeon Lee*, Young Il Kim*, Woo-Seok Kim**, Ji Kwang Lee***, Chan Park**, Kyeongdal Choi*
 Korea Polytechnic University*, Seoul National University**, Woosuk University***

Abstract - 본 논문에서는 안정화 층이 없는 YBCO CC(Coated Conductor)의 YBCO층을 임의의 수로 분할한 경우에 대하여 전기적인 특성을 알아보기 위해 각 소선의 임계전류 값을 측정하는 방법을 제안하였다. 안정화 층이 없으므로 통전 중 주울 열에 의한 선재의 소손을 막기 위해 전류를 펄스와 형태로 인가하여 측정하였으며, 선형적으로 전류를 인가하는 측정 방법에 의한 결과와 비교하였다. 결과적으로 안정화 층이 없는 경우의 전기적 특성 측정을 위해서는 본 논문에서 제안한 방법이 우수함을 보였다.

1. 서 론

고온초전도 선재를 사용한 전력기기는 저항에 의한 손실이 없어 효율을 높일 수 있으며, 작은 면적에 높은 전류를 흘릴 수 있으므로 소형화 및 경량화를 할 수 있는 장점을 가지고 있다. 또한 이러한 장점을 이용하여 한류기, 송전케이블, 변압기 등에 대한 연구가 활발히 진행 중이다 [1][2].

최근에 1세대 고온초전도 선재인 BSCCO 선재에 비하여 전자기적 특성이 매우 우수한 2세대 고온초전도 선재인 YBCO 선재의 개발이 매우 활발히 진행 중이며, 2세대 선재의 상용화가 시작됨에 따라서 이를 전력기기에 적용하고자 하는 연구 역시 국내외에서 시작되고 있다. 하지만, YBCO 선재는 1세대 고온초전도 선재와는 달리 중형비가 매우 큰 박막형 테이프 형태의 선재이므로 교류자장에서 매우 큰 손실밀도를 발생시키는 단점을 가지고 있다. 따라서 교류형 전력기기에 적용하기 위해서는 교류손실 저감형 선재의 필요가 절실하며, 이를 위한 한 가지 방법으로 선재의 YBCO층을 임의의 수로 분할하여 통전층의 중형비를 줄이는 방법을 적용할 수 있다[3][4].

본 논문에서는 손실 저감을 위해 제작한 안정화 층이 없는 분할형 YBCO CC의 전기적인 특성을 알아보기 위한 각 소선별 임계전류 특성을 측정하였다. 매우 얇은 초전도층을 정확하게 분할하기 위하여 포토마스크를 이용한 에칭을 사용하였고, 안정화 층이 없으므로 통전 중 주울 열에 의한 선재의 소손을 막기 위한 전류 인가 방법을 제안하였으며, 각 방법에 의한 측정 결과를 비교 분석하였다.

2. 분할형 YBCO CC의 임계전류

2.1 선재 사양

본 연구에서는 Superpower社에서 제작된 YBCO CC를 사용하였으며, 선재의 사양은 표 1과 같다.

본 연구의 실험에서 사용된 분할형 YBCO CC는 반도체 공정에서 사용되는 포토마스크 방법을 이용하여 에칭으로 선재를 분할하였으며, 12 mm 폭의 YBCO CC를 그림 1과 같이 각각 YBCO_2S와 YBCO_4S로 구분하였다.

2.2 측정 방법

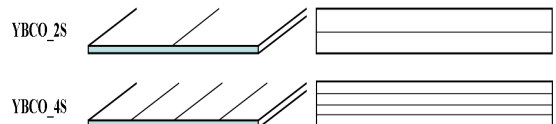
임계전류 특성을 측정하기 위한 회로도에는 그림 2와 같다. 이 그림에서 직류 전류원을 랩뷰로 컨트롤하여 YBCO CC에 원하는 전류의 파형을 인가하였으며, 인가된 전류는 전류측정용 션트 저항(300 A, 50 mA)을 이용하여 측정하였다. 임계전류 측정 준비 과정에서 샘플 선재의 손상을 피하기 위해서 전류도입부와 전압탭에 솔더링을 사용하지 않았고, 인듐 포일을 사용한 압착으로 전류도입부를, 스프링 핀의 접촉으로 전압탭을 구성하였으며, 실험장치의 모습을 그림 3에 나타내었다. 측정된 전압과 전류는 오실로스코프를 이용하여 확인하였다.

임계전류를 측정하기 위해서는 직류 전류를 인가하며 측정하는 것이 일반적이며, 이때 직류 전류를 통전 시키는 방법으로 그림 4의 (a)와 (b)의 두 가지 방법을 고려해 볼 수 있다. 본 논문에서는 안정화 층이 없는 선재의 임계전류 측정을 위하여 그림 4 (b)와 같은 형태의 펄스파형 전류를 사용하고자 하며, 시험 방법에 따른 타당성을 확인하기 위해서 안정화 층이 있는 BSCCO 선재와 안정화 층이 없는 YBCO CC에 대

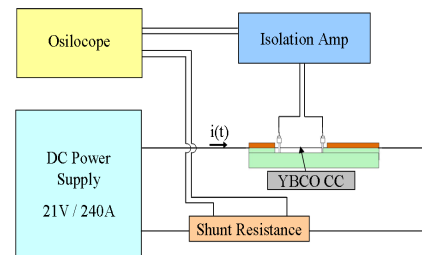
해서 시험적으로 임계전류를 측정하였고, 측정 결과를 그림 5와 그림 6에 각각 나타내었다. 직선과 형태와 펄스파 형태로 직류 전류를 통전시켰을 때, 동일한 결과가 측정되는 것을 확인 하였고, 따라서 펄스파 형태의 전류 인가 방법에 대한 타당성을 확인 할 수 있었다. 직선과 형태의 전류를 안정화 층이 없는 YBCO CC에 통전 시키면, 그림 6에 나타낸 바와 같이 임계전류보다 훨씬 낮은 전류에서 선재가 소손됨을 확인하였다. 그러나 그림 4의 (b)와 같은 펄스파의 형태로 전류를 통전 시키면, 안정화 층이 없는 선재도 소손되지 않고, 그림 6에 보이는 바와 같이 측정되는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 이유는 직선파의 형태로 전류를 통전시키면 시간에 따라서 에너지가 선재 내부에 쌓이기 때문에 선재가 열화 되어 소손되나, 펄스파의 형태로 전류를 통전시키면 에너지가 선재 내부에 쌓이지 않고 짧은 시간동안 다시 냉각이 되어 선재의 소손 없이 임계전류의 측정이 가능한 것으로 볼 수 있다. 이 부분에 대한 추가연구가 현재 본 연구진에 의해 계속 진행 중이다.

<표 1> YBCO CC의 사양

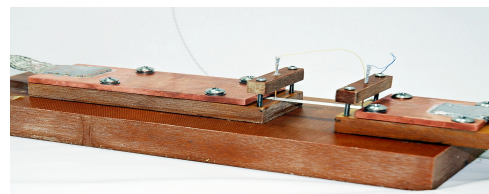
분류	값
임계전류(I_c)	290 A (77K, Self_Field, $1\mu V/cm$)
선재 폭	12 mm
선재 두께	0.5 mm
초전도층 두께	1 μm
기판 두께	0.05 mm (Hastelloy)
기판 저항률	125 $\mu\Omega \cdot cm$



<그림 1> 실험에 사용된 선재의 명칭과 구성도



<그림 2> 임계전류 특성 측정 회로도

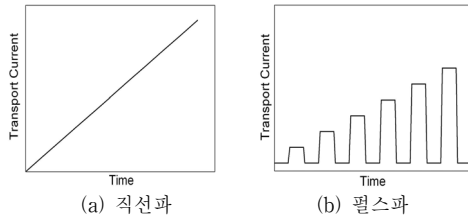


<그림 3> 실험에 사용된 단자대

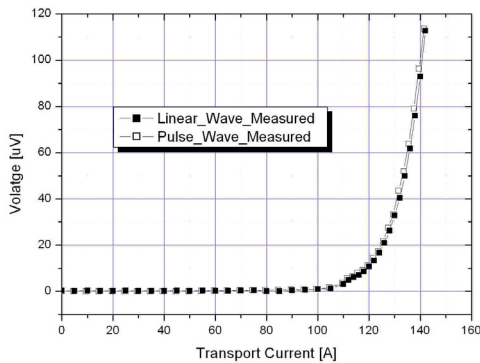
2.3 측정결과

본 논문에서는 분할된 안정화 층이 없는 YBCO CC의 임계전류를 펄스와 형태의 전류를 인가하여 측정 하였으며, 그림 2에 보인 회로도를 이용하였다. 각 소선별 임계전류를 각각 측정하기 위해서 소선의 폭에 맞게 제안 된 절연지와 인듐포일을 사용하여 소선별로 전류를 인가하였으며, 그 모양을 그림 7에 나타내었다.

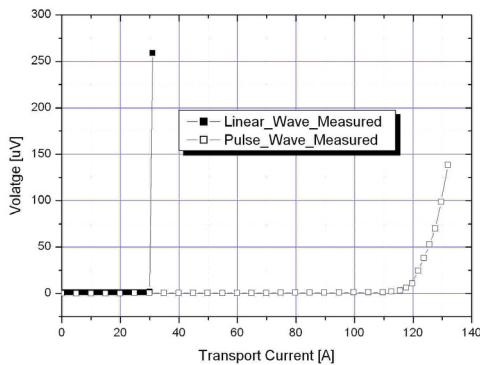
그림 8은 YBCO CC를 2개로 분할한 선재의 각각에 대한 임계전류 측정 결과이다. 분할하기 전의 YBCO CC의 임계전류는 290 A이므로, 2개로 분할한 경우 각각의 임계전류의 예상값은 대략 145 A 근방에서 측정되어야 한다. 그러나 분할된 영역의 임계전류는 각각 120 A, 88 A 로 측정 이 되었다. YBCO CC를 4개로 분할한 선재의 각각에 대한 임계 전류 측정 결과는 그림 7과 같고, 4개로 분할한 경우 각각의 임계전류는 72.5 A 근방에서 측정되어야 한다. 그러나 분할된 영역의 임계전류는 각각 74 A, 71 A, 73 A, 65 A였다.



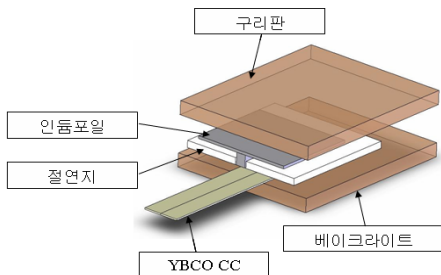
<그림 4> 전류 통전 방법



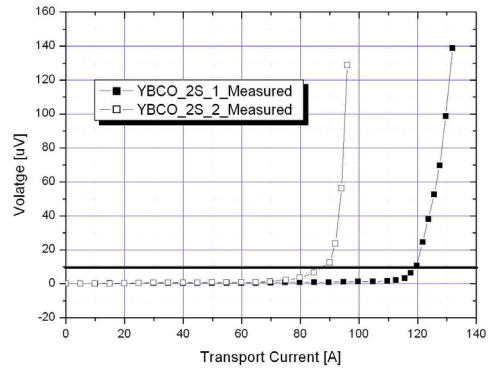
<그림 5> 전류 통전 방법에 따른 안정화 층이 있는 선재의 측정 결과



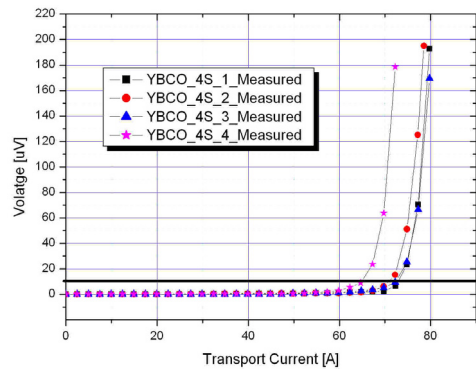
<그림 6> 전류 통전 방법에 따른 안정화 층이 없는 선재의 측정 결과



<그림 7> 각 소선별 전류 통전 방법



<그림 8> YBCO_2S의 임계 전류 측정 결과



<그림 9> YBCO_4S의 임계 전류 측정 결과

분할형 YBCO CC의 각각에서 측정된 임계전류가 이론적으로 생각한 값과 차이를 보이는 이유는 선재를 분할할 때 초전도 층이 일부 손상되었을 가능성과 절단면의 산화에 의한 영향으로 선재의 임계전류가 감소한 것으로 생각되어지며, YBCO 층의 초전도 특성의 불 균일 분포 역시 영향을 주었을 것으로 생각된다.

3. 결 론

본 논문에서는 안정화 층이 없는 분할형 YBCO CC의 임계전류를 소선별로 측정할 수 있는 방법을 제안하였다. 솔더링에 의한 선재의 손상 및 열화를 방지하기 위해서 스프링 핀에 의한 접촉으로 전압을 측정 하였으며, 전류를 통전시키기 위해서 기존의 직선과 형태가 아닌 펄스와 형태로 전류를 통전시켰다. 그 결과 YBCO CC가 손상되지 않고 2분할 및 4분할 된 분할형 선재의 소선별 임계전류를 측정할 수 있었다.

측정 결과 4분할 선재의 임계전류는 비교적 예상 값과 유사하게 측정이 되었으나, 2분할 선재의 경우에는 예상되는 값에서 많은 오차를 보였다. 제작된 측정 시스템은 다양한 측정 결과에 의하여 적절한 것으로 판명되었으므로 측정에 의한 오차는 아니라고 판단된다. 2분할 선재의 에칭 과정의 재현성에 문제가 있을 수 있으며, 또한 샘플 자체의 초전도 층의 특성이 심한 불균일성이 존재할 가능성도 있다고 보인다. 추후 동일한 선재의 추가 제작을 통하여 후속 연구를 진행할 예정이다.

감사의 글
본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 차세대 초전도 응용기술개발 사업단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

[참 고 문 헌]

[1] K.Funaki, et al., "Development of a 22kV/6.9kV Single-Phase Model for a 3MVA HTS Power," Transformer, IEEE Trans. On Applied Superconductivity, Vol. 11, No. 1, pp.1578-1581, March, 2001.
 [2] 박찬배의 5인, "1MVA 고온초전도 변압기 개념설계 및 3차원 전장 장 해석," 대한전기학회 논문지, 제 52권, 제1호, pp. 23-26, 2003
 [3] T. P. Sheahen, et al., "Method for Estimating Future Markets for High Temperature Superconducting Power Devices," EPRI Report, pp.1-6, 2000.
 [4] 변상범의 8인, "분할형 YBCO CC의 전기적 특성," 대한전기학회 하계 학술대회 2008.