

논문 21-10-15

안정화 층을 갖는 YBCO Coated Conductor와 BSCCO 선재의 결합이 과전류 통전 특성에 미치는 영향

Effect of Transport Current Properties on Connecting of YBCO Coated Conductor having Stabilizer Layer and BSCCO Tape

두호익^{1,a}, 김민주¹, 박충렬¹, 두승규¹, 김용진¹, 한병성¹

(Ho-ik Du^{1,a}, Min-Ju Kim¹, Chung-Ryul Park¹, Seung-Gyu Doo¹, Yong-Jin Kim¹, and Byoung-Sung Han¹)

Abstract

YBCO coated conductor called the second-generation superconducting tapes have resistance increase significantly more than BSCCO tapes in terms of the speed or amount when quench occurs, they may have different ranges of application. Such characteristics are thought to get different properties by selection of stabilizing materials in manufacturing superconducting tapes. It is important in selecting superconducting tapes which will be applied to power devices in the future. In this study, one kind of BSCCO tapes and two kinds of YBCO CC with different stabilizing materials and one kind of YBCO CC with non stabilizing materials were used to compare and examine transport characteristics in flux-flow state and quench state with each tape joint of HTS tapes.

Key Words : BSCCO tape, YBCO coated conductor, Stabilizing materials

1. 서론

고온초전도 선재는 선재가 갖는 높은 임계 특성으로 인해 대전력응용기기인 전류 도입선, 초전도 케이블, 초전도 마그넷 등에 적용 되고 있다. 기존의 고온초전도 선재는 1세대 선재라 불리어지는 PIT 기법으로 제작된 BSCCO 선재가 대표적이다. 그러나 BSCCO 선재는 높은 임계특성에도 불구하고 선재가 갖는 기계적 특성 및 자장 하에서의 취약성으로 인해 그 응용에 한계를 보이고 있다[1]. 따라서 BSCCO 선재가 갖는 단점을 보완하기 위한 대체 선재의 개발이 필요하게 되었고, 이에 따라 YBCO Coated Conductor라 명명되어지는 2세대 고온초전도 선재인 Coated Conductor(이하 CC)가 개발 되었다. CC는 BSCCO 선재가 갖는 단점을 극

복합과 동시에 안정화 재료의 종류에 따라 상이한 임계 특성을 갖고 있으므로 그 적용 범위가 BSCCO 선재에 비해 광범위하다고 볼 수 있다[2]. 따라서 본 논문에서는 CC를 이용한 대전력응용기기로의 적용 가능성을 검토하였다. 특히, 퀘칭 발생 후 초전도 선재가 갖는 안정화 층에 따라 선재에서 발생하는 저항의 크기와 저항 증가 경향에 중점을 두었다. 이를 위해 우선 BSCCO 선재와 CC의 임계온도에 따른 저항 특성을 고찰하였다. 그리고 각 선재별 과전류 통전 특성을 분석한 후 기존의 BSCCO 선재와 각기 다른 안정화 층을 갖는 CC를 결합하여 과전류 인가 시 통전 특성을 단일 선재와 비교 분석하였다.

2. 실험

표 1은 본 실험에 사용된 초전도 선재의 제원이 다. BSCCO 선재는 60 A의 임계전류를 갖고 임계온도는 95 K이며, 안정화 층으로는 은이 사용되었다. YBCO CC의 임계온도는 90 K로 동일하나, 구

1. 전북대학교 전기공학과

(전북 전주시 덕진구 덕진동 1가 664-14)

a. Corresponding Author : dudoc@chonbuk.ac.kr

접수일자 : 2008. 8. 8

1차 심사 : 2008. 9. 9

심사완료 : 2008. 9. 22

리를 안정화제로 사용한 YBCO CC의 임계전류는 85 A이고, 스테인레스를 안정화제로 사용한 선재의 임계전류는 60 A이다. 임계전류는 다르지만 임계온도에 따른 저항을 검출하기 위해 비슷한 임계온도를 갖는 선재를 선정하였다.

표 1. 선재 사양.

Table 1. Superconducting tape property.

Producer	YBCO Coated conductor (Superpower)
Stabilizer	Cu
Length of pattern	100 cm
I_c & T_c	80 A ($1 \mu\text{N}/\text{cm}$, @ 77 K), 90 K
Rated voltage	1.5-2 V/cm (@300 K)
resistance	0.198 m Ω (@ 300 K)
Producer	YBCO Coated conductor (AMSC)
Stabilizer	Stainless steel
Length of pattern	100 cm
I_c & T_c	70 A ($1 \mu\text{N}/\text{cm}$, @ 77 K), 90 K
Rated voltage	0.6 V/cm (@300 K)
resistance	3.7 m Ω (@ 300 K)
Producer	Bi-2223 conductor (Superpower)
Stabilizer	Ag
Length of pattern	100 cm
I_c & T_c	60 A ($1 \mu\text{N}/\text{cm}$, @ 77 K), 90 K

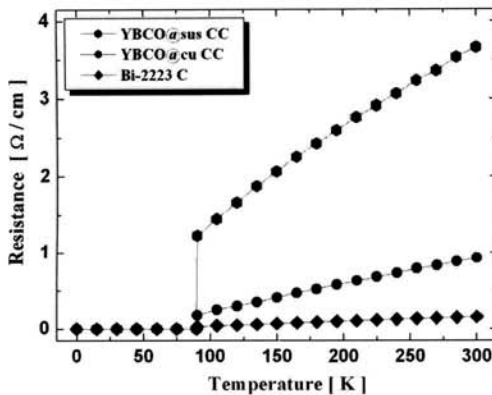


그림 1. 각 선재의 임계온도에 따른 저항 특성 곡선.

Fig. 1. Resistance characteristic curve by temperature each tape.

그림 1은 각 선재별 온도에 따른 비저항 증가 곡선을 나타내었다. 각각의 선재는 임계온도 이상에서 급격한 저항 증가를 보이나 선재의 종류 및 안정화제에 따라 그 경향을 달리 하고 있다. 임계온도를 기준을 할 때 BSCCO 선재의 저항은 90 K

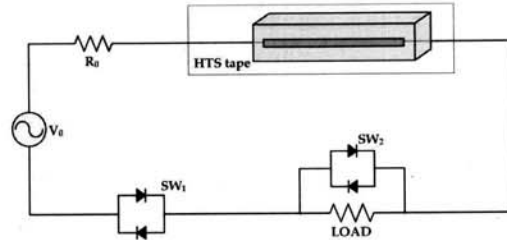


그림 2. 시험 장치 구성도.

Fig. 2. Schematic diagram of the experimental circuit.

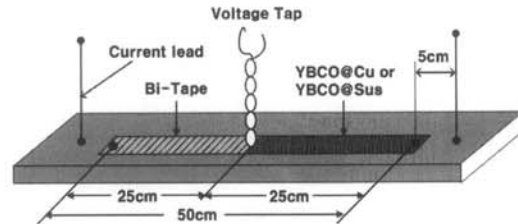


그림 3. 선재 결선도.

Fig. 3. Schematic diagram of the tape.

에서 0.03 [m Ω /cm]이고, 구리를 안정화 층으로 갖는 CC의 경우 90 K에서의 저항은 0.1814 [m Ω /cm]이다. 또한 스테인레스를 안정화 층으로 하는 CC는 90 K에서 1.2276 [m Ω /cm]의 저항을 나타낼 수 있다. 각각의 초전도 선재에 대한 임계온도 대비 저항 값은 큰 차이를 보이며, 그것은 안정화 층의 재료 및 초전도 선재의 단면적에 따라 상이한 값을 갖는 것으로 판단된다.

그림 2는 시험 장치 구성도이다. 사고 전류에 대한 소자의 보호와 더불어 통전 전류를 조절하기 위해 0.3 Ω 의 기준저항(R_0)을 사용하였다. 아울러 사고 모의를 위해 SW_1 과 SW_2 를 순서에 따라 위상제어를 통해 동작시켰다. 그리고 특히, YBCO CC의 경우 단일 선재와 복합 선재가 갖는 전압등급을 고려하여 인가전압을 40 V_{rms} 에서 45 V_{rms} 까지 한정하였으며, 사고 주기는 약 6주기로 설정하였다.

그림 3은 선재의 상태를 유지하며 시험 단자를 결선한 포머이다. 포머 상에 선재를 밀착시키고 선재의 표면 상에 전류 단자 및 전압 단자를 설치하여 인가전압에 따른 전압 전류의 양을 4단자 법을 통하여 측정하였다. 시험에 사용된 각각의 선재의 전체 길이는 단일 선재와 복합 선재의 경우 50 cm로 정하였으며, 결합을 위한 단일 선재의 길이는 각각 25 cm로 구성하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 4, 5, 6은 50 cm의 길이를 갖는 단일 선재에 과전류 통전 시 전압 전류 발생 따른 저항 변화를 나타내었다. 우선, 그림 4의 BSCCO 선재의 경우 전체 인가 전압에 걸쳐 완만한 저항 증가 경향을 보인다. 이는 BSCCO 선재가 갖는 안정화 층의 재료인 은의 낮은 비저항 특성과 CC에 비해 큰 단면적이 기인한 결과로 판단된다. 이것은 선재의 단면적에 비례하여 인가전압과 시간에 의해 발생된 줄열이 축적되기 때문이다. 그림 5의 구리를 안정화 층으로 갖는 CC의 경우, BSCCO 선재에 비해 높은 저항 값을 갖고 저항 증가 경향 역시 가파르게 상승하는 것을 볼 수 있다. 구리의 비저항

이 은보다 높고, 단면적이 BSCCO 선재에 비해 작기 때문이다. 그림 6의 스테인레스를 안정화 층으로 갖는 CC는 BSCCO 선재와 구리를 안정화 층으로 갖는 선재에 비해 월등히 높은 저항 값을 보인다. 단면적을 비교해 보면, BSCCO 선재보다는 단면적이 작고 구리를 안정화 층으로 갖는 선재 보다는 단면적이 크다. 또한 비저항 특성을 보면 앞의 두 종류의 선재에 비해 높은 값을 갖고 있다. 따라서 선재의 저항 증가를 크게 하거나 작게 하는 것은 단면적 보다는 안정화 층의 비저항에 따라 차이가 확연히 나타남을 확인 할 수 있다.

그림 7은 BSCCO 선재와 구리를 안정화 층으로 갖는 CC 결합 시 과전류 통전에 따른 저항 발생을

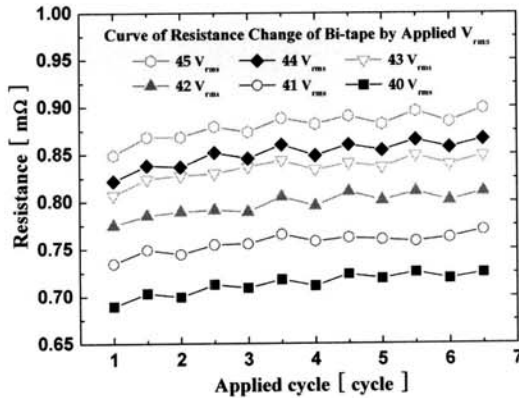


그림 4. BSCCO 선재의 저항 특성.
Fig. 4. Resistance characteristic of the BSCCO tape.

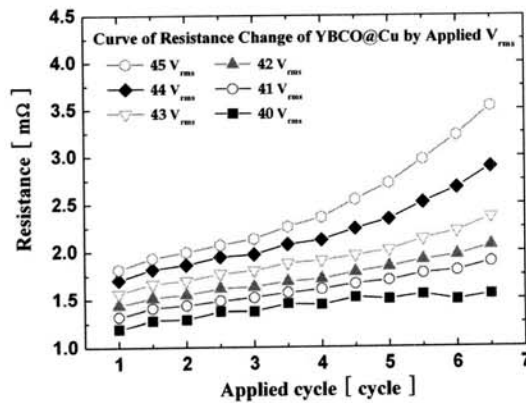


그림 5. YBCO@Cu CC의 저항 특성.
Fig. 5. Resistance characteristic of the YBCO@Cu CC.

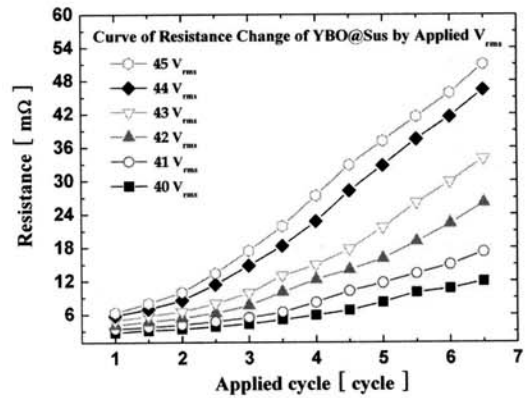


그림 6. YBCO@Sus CC의 저항 특성.
Fig. 6. Resistance characteristic of the YBCO@Sus CC.

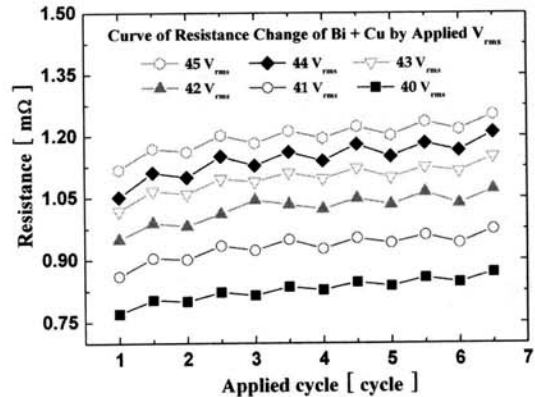


그림 7. BSCCO Tape과 YBCO@Cu CC의 저항 특성.
Fig. 7. Resistance characteristic of the BSCCO tape and YBCO@Cu CC.

나타내었다. CC의 저항 특성을 결합 전과 비교해 보면 저항 발생의 크기나 증가 경향이 BSCCO 선재를 단독으로 측정 한 결과와 비슷한 경향을 보인다. 이러한 이유는 구리를 안정화 층의 갖는 CC에 비해 상대적으로 낮은 BSCCO 선재의 비저항 값과 BSCCO 선재와 CC가 갖는 비저항 값이 거의 동일하기 때문이다. 따라서 비저항의 값의 차가 작은 경우는 비저항 값이 작은 선재의 경향을 따르고 있는 것으로 판단된다. 그러나 스테인레스를 안정화 층으로 갖는 CC와 BSCCO 선재를 결합한 그림 8의 결과를 보면 저항 증가 경향이 CC를 단독으로 사용한 경우와 동일하게 나타난 것을 볼 수 있다. 이것은 두 선재가 갖는 안정화 층의 비저항 값의

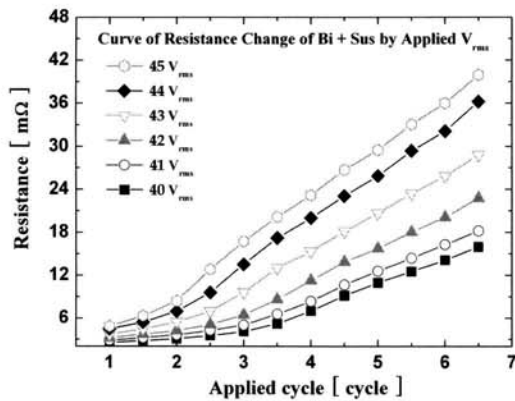


그림 8. BSCCO Tape과 YBCO@Sus CC의 저항 특성.

Fig. 8. Resistance characteristic of the BSCCO tape and YBCO@Sus CC.

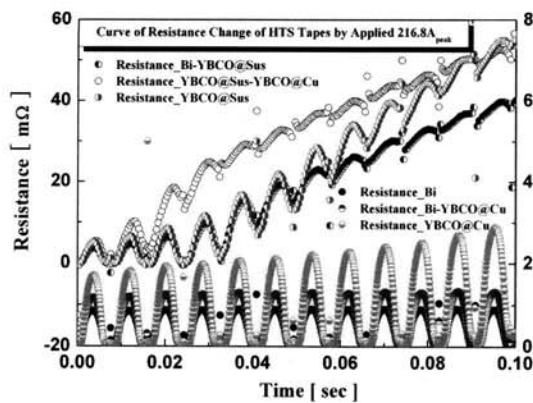


그림 9. YBCO@Sus CC의 저항 특성.

Fig. 9. Resistance characteristic of the BSCCO tape.

차가 크고, 이로 인해 켄치 후 발생한 저항이 스테인레스를 안정화 층으로 갖는 CC가 모두 분담하기 때문이다. 따라서 비저항 값의 차가 큰 경우는 비저항 값이 상대적으로 큰 선재가 발생 저항의 대부분을 분담하는 것으로 판단해 볼 수 있다. 이러한 경향은 그림 9의 216.8 A_{peak}(46 V_{rms})를 인가한 모든 선재의 경우에서도 동일한 결과를 보이고 있다.

4. 결론

본 논문에서는 대전력용용기기로의 적용이 기대되는 고온초전도 선재에 대한 과전류 통전 특성을 단일선재와 복합 선재를 통해 비교 분석하였다. 결합 전과 후에 걸쳐 안정화 층이 갖는 비저항 특성이 전체 통전 특성에 미치는 영향이 큰 것으로 판단된다. 특히, 안정화 층이 갖는 비저항 값의 차가 크고 작음 따라 복합 선재의 경우 저항 경향이 결정되는 것을 확인하였다. 그리고 개별 선재의 길이가 단일 선재에 비해 짧아진 복합 선재의 경우 BSCCO 선재보다 상대적으로 안정화 층의 비저항 값이 높은 구리를 안정화 층으로 갖는 CC나 스테인레스를 안정화 층으로 갖는 CC의 전압 분담이 큰 것으로 보인다. 따라서 선재 결합 시 안정화 층의 비저항 값이 큰 선재의 전압 등급을 높이기 위한 적절한 기준이 필요할 것으로 사료된다.

감사의 글

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

참고 문헌

- [1] D. K. Park, S. E. Yang, Y. S. Yoon, M. C. Ahn, H. M. Kim, Y. S. Kim, J. W. Park, and T. K. Ko, "Analysis of the operational characteristics of a resistive SFCL by using YBCO coated conductor", Applied Superconductivity Conference, 2006.
- [2] J. Ogawa, H. Nakayama, S. Odaka, and O. Tsukamoto, "AC loss characteristics of YBCO conductors carrying transport current in external AC magnetic fields", Cryogenics, Vol. 45, p. 23, 2005.