

고온초전도 coated conductor의 임계전류 측정 표준화 연구 I

오상수, 이남진*, 김호섭, 영도준*
한국전기연구원, 한국과학기술원*

A study of standardizing Critical-Current Measurements for coated conductor I

Sang-Soo Oh, Nam-Jin Lee*, Ho-Sup Kim, Do-Jun Youm*
Korea Electrotechnology Research Institute, KAIST*

Abstract : For the application of superconductor technology, we need critical properties of superconductors such as a critical current (I_c). I_c is varied as processing method by action of flux pinning center. Our research activities are reported on the establishment of standard measurement method for critical current in coated conductor. And then, we researched pre-studies for standardization of critical current evaluation method using IEC/TC 90 standard.

Key Words : Superconductor, Coated conductor, Standardizing critical current measurement

1. 서 론

초전도 응용기기에 응용 가능한 초전도체로 가장 유망한 고온 초전도체에 대한 연구는 현재 2세대 초전도 또는 coated conductors (CCs)라고 불리는 고온 초전도체에 대부분의 연구 및 개발이 집중되고 있다. CCs 선재는 몇몇 회사에 의해 상용화 되었으며, 전력응용 기기에서의 응용에 연구가 집중되고 있다.

1993년 여름에, VAMAS-TWA16은 Bi계 산화물 초전도체에서 임계 전류의 테스트 방법에 관한 연구를 시작하였다. 1997년 9월에, TWA16은 Ag-sheathed Bi-2212와 Bi-223 산화물 초전도체에서의 임계전류 측정 방법에 대한 지침 (VAMAS guideline)을 마무리하였다. Ag-sheathed Bi-2212와 Bi2223 산화물 초전도체에 대한 DC 임계 전류 테스트 방법에 관한 VAMAS의 사전 표준화 작업은 IEC 표준의 기초로 하였다 [1].

초전도체와 같은 복합 초전도체의 임계 전류는 많은 변수에 의존한다. 이러한 변수에는 시편 홀더 재료의 열적 수축, 전류 소스로부터 기인되는 ripples 또는 spikes, 시편에 대한 자장의 분포 및 각도, 시편 형상, 전류 그리고 전압 선의 접촉 방법, 전류선의 용량, 그리고 안정화재의 부피 분율 등이 있다.

본 연구는 2006년 2월 3일 배포된 IEC/TC 90 규격을 참조하였다. 이 방법의 목표 정확도는 0 T 그리고 77 K에서 5 % 보다 적은 coefficient of variation (COV=표준편차/임계전류의 평균 x 100) 이다, 따라서 이번 연구에서는 직선이며 테잎 형태의 Cu stabilizer/Ag/LaMnO₃/IBAD-MgO/Y₂O₃/Al₂O₃/Hastelloy C276/Cu stabilizer의 구조를 가지는 coated conductor의 DC 임계 전류의 결정에 대한 사전 연구를 위해 (1) 시편의 냉각시간, (2) 전류 선의 용량을 변화하여 임계 전류의 변화를 관찰하였다.

2. 실험 방법

IEC/TC 90 규격에 따라 측정 홀더를 제작하였다. 홀더는 직선 시편이 놓일 수 있는 편평하게 하였으며, 전류 접촉은 홀더와 전류 접촉 사이의 전이 영역에서 응력 집중을 피하기 위해 측정 홀더에 단단하게 고정하기 위하여 In_{66.3}-Bi_{33.7} solder (용점 = 72°C)를 사용하였다. 초전도체 시편의 V-I 특성을 측정하기 위해 4단자 dc 통전법을 이용하였으며, 전압 신호를 얻기 위해 Keithley사의 2182 nanovoltmeter. 그리고 전류를 인가하기 위하여 Agilent Technologies 사의 6671A를 사용하였다. 임계 전류의 측정은 외부 자장의 인가없이 액체 질소의 비점인 77 K에서 행하였다. 그리고 임계 전류의 결정은 1 μV/cm 기준으로 하였다.

3. 결과 및 고찰

IEC/TC 90 규격에서 냉각 시간은 적어도 5분 이상을 권고 하였다. 따라서 CC 도체에서 냉각 유지 시간에 따른 V-I 곡선을 측정하여 그림 1에 나타내었다. 외부 곡선은 임계 전류 이하에서의 전압의 변화를, 내부 곡선은 임계 전류 값을 보여 주기 위해 나타내었다. 측정 유지 시간은 처음 5분 유지후 3분 간격으로 측정하여, 86.963, 86.271, 86.128, 86.208, 86.195 A의 결과를 얻었다. 그리고 평균 임계 전류는 86.353 A, 표준 편차는 0.345 그리고 COV 0.399 % 이었다. 이는 IEC/TC 90의 목표 정확도인 5% 이하보다 훨씬 적은 값을 얻었다. 이와 같이 5분 이상의 냉각 유지 시간은 임계 전류를 결정하는 데 거의 영향을 주지 않았으나 냉각 시간이 길수록 임계 전류 이하에서 기저 전압이 낮아지며, 안정화 되는 것을 확인하였다.

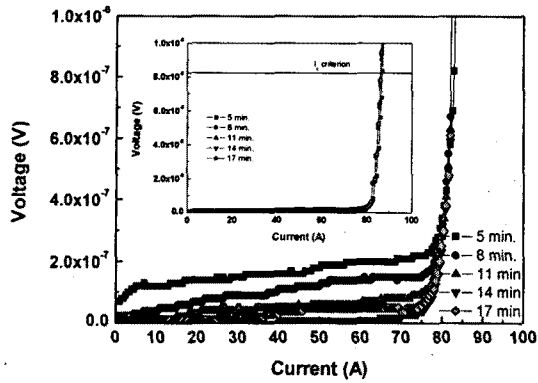


그림 1. 냉각유지 시간 변화에 따른 I-V 곡선, 전류-전압 단자 사이의 거리 = 0.8 cm, 전압 단자 사이의 거리 = 8.4 cm, 전류선(2 x 6 mm² 편조선 1개).

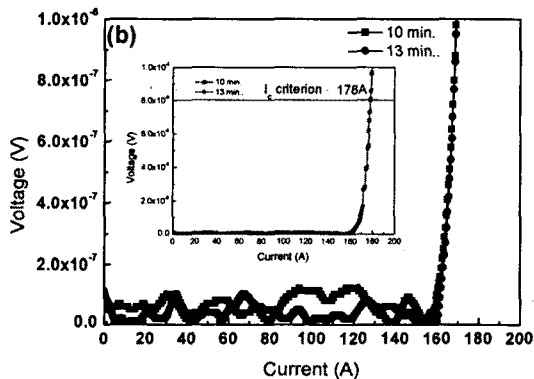
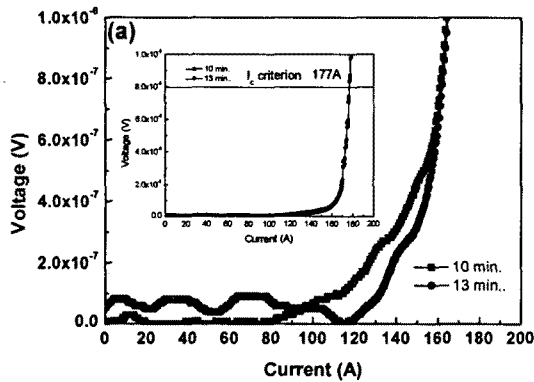


그림 2. 전류선의 용량에 따른 I-V 곡선, 전류-전압 단자 사이의 거리 = 1 cm, 전압 단자 사이의 거리 = 8 cm
(a) 전류선(2 x 6 mm² 편조선 1개)
(b) 전류선(2 x 6 mm² 편조선 3개)

그림 2는 전류 선의 굵기에 따른 I-V 곡선을 나타내었다. (a)의 임계 전류 값은 177 A, (b)의 임계 전류 값은 178 A로 약 1 A의 차이를 보였다. 전류 선의 용량 변화에 따른 실험 역시 COV는 약 0.4 % 정도 IEC/TC 90을 만족 하였으나 임계 전류 이하에서 전압은 전압선의 용량이 클수록 기저면이 낮아진다는 것을 알았다. 이러한 원인은 전류 선의 용량이 적을수록 전류선이 발열 하여 초전도 내부로 열이 확산이 원인인 것으로 사료된다.

그림 1과 2의 결과로부터 냉각 유지 시간은 길고, 전류 선의 용량이 클수록 재현성 임계 전류 값의 측정이 가능하다는 것을 확인하였다. 임계 전류값 이하에 전압의 분포는 초전도 전이 지수인 n-값과 상관이 있다. 따라서 정확한 n-값을 얻기 위해서는 냉각 유시간과 전류 선의 용량, 즉 전류선의 발열에 의한 초전도체 쪽으로 확산이 발생하지 않도록 하여야 한다.

본 연구는 coated conductor의 임계 전류 표준화에 대한 선행적 연구로서 서론에서 언급한 여러 인자 들이 초전도 특성에 미치는 영향에 대해서 연구할 계획이다.

4. 요약

본 연구는 IEC/TC 90 규격을 참조하여 Cu stabilizer/Ag/LaMnO₃/IBAD-MgO/Y₂O₃/Al₂O₃/Hastelloy C276/Cu stabilizer의 구조를 가지는 coated conductor의 DC 임계 전류의 결정에 대한 사전 연구를 위해 (1) 시편의 냉각시간, (2) 전류 선의 용량을 변화하여 임계 전류의 변화를 관찰하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 5분 이상의 시편 냉각시간은 COV 가 약 0.4 % 정도로 거의 임계 전류 결정에 영향을 주지 않았으며, 냉각 시간이 길면 길수록 임계 전류 이하에서 전압의 기저면이 낮아지는 경향을 보였다.
- (2) 전류 선의 용량이 클수록 임계 전류 이하에 전압의 기저면이 낮아지는 경향을 보였다.

감사의 글

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

참고 문헌

[1] IEC 61788-3 Ed.2, "IEC 61788-3 Ed.2: Superconductivity . Part 3: Critical current measurement DC critical current of Ag- and/or Ag alloy-sheathed Bi-2212 and Bi-2223 oxide superconductors", IEC/TC 90, 2006.