

절연층을 고려한 Bi-2223/Ag 선재의 교류 과전류 특성

두호익, 임성우*, 박충렬, 최병환 한병성

전북대학교 전기공학과, 한전전력연구원 전략기술연구소 초전도그룹*

AC over-current characteristics of Bi-2223/Ag tape considering insulating layers

Ho-ik Du, Seong-Woo Yim*, Chung-Ryul Park, Byung-Hwan Choi, Byoung-Sung Han
Dept. of Electrical Engineering Chonbuk Nat. Univ., KEPRI*

Abstract : Applying the AC over-currents over the critical current to Bi-2223/Ag tape having 56 A I_c , resistance increase with the duration of current appication was measured and analyzed. In addition, the influence of the tape's electrical insulation on the over-current characteristics was investigated and compared with each other. From the results, we will establish the safe operating condition against the AC over-currents and the protection of the tape for the practical power application such as cable and transformer.

Key Words : AC over-current, Bi-2223/Ag tape, Protection

1. 서론

초전도 전력기기 응용에 일반적으로 널리 사용되는 Bi-2223/Ag 선재는 전력응용기기 적용에 적합한 기계적 특성을 지니고 있다. 그러나 응용기기로의 제작 후 상용 교류 전류 운전 시 선재에 임계전류를 초과하는 과전류가 인가되면 초전도체와 피복재로 구성된 선재 구조에 의해 은 피복재와 초전도체로 분류되어 통전 된다. Bi-2223/Ag 선재의 이러한 분류현상은 교류 인가 시 발생하는 줄열에 의해 초전도체에 저항 증가를 초래하게 되고, 구조상 양 소재 간의 물성적 특성에 의존하는 과전류 통전 특성을 분석하고 해석하는데 많은 문제를 발생시켜 왔다. 그러나 다행히도 그간의 연구를 통해 분류현상이 선재에 끼치는 과전류 통전 특성에 대한 분석 및 해석에 관한 연구가 활발히 이루어져 그 성과를 거두어 왔다.

이에 본 연구에서는 그간의 시험 방법을 토대로 나선 형태의 선재를 이용하여 교류 과전류 인가 시 Bi-2223/Ag 선재의 전압 전류 특성을 조사하고 켄치 거동을 분석하였다. 아울러 초전도 선재 응용 시 선재에 적용될 절연층이 추가된 조건에 대해서 기존의 시험 과정과 동일한 방법으로 실험을 수행하였다. 이를 위해 나선 형태의 선재와 각기 다른 절연층이 고려되어진 선재를 제작하여 과전류의 크기에 따른 전압-전류 통전 특성을 비교 분석하였다. 비교 시험한 결과들을 통해 초전도 상태와 상전도 상태가 공존하는 혼합상태에서 완전 켄치가 일어나는 지점까지의 특성을 조사하여 안정운전 조건을 확립하기 위한 기본적인 조건을 제시하고 보호기 적용의 근거를 마련하고자 한다.

2. 실험 내용 및 방법

측정에 사용된 실험회로도 및 고온초전도선재인 Bi-2223/Ag 테이프의 사양을 그림 1과 표 1에 나타내었다. 표 1에 제시된 바와 같이 77K, 0T 하에서 56A의 임계전류를 갖는 Bi-2223/Ag

선재를 이용하여 과전류 통전 특성을 조사하였다. 과전류 통전 특성을 조사하기 위하여 그림 1과 같은 실험 장치를 구성하였다. 임계전류를 초과하는 상용주파수의 교류는 전압원을 사용하여 인가하였다. 인가전압의 크기는 전압 탭을 10V 단위로 단계적으로 증가시켰으며, 저전압에서 대전류를 발생시키기 위해 1Ω의 기준저항 두 개를 병렬로 연결하였다. 무부하 상태를 만들기 위해 사고 전류 제거기를 회로 상에 투입하였다. 또한, 부하 저항으로써 무유도 저항을 사용하여 통전 중 인덕턴스 성분에 의한 전압-전류 간 위상차 발생을 억제하였다.

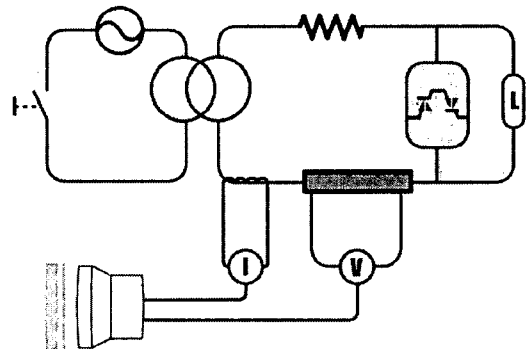


그림 1. 과전류 통전 특성 실험 회로도

표 1. 고온초전도 선재의 특성

| | |
|--------------------------------|------------------------------|
| 임계전류 [1μV/cm 기준, 77K, 0T 하] | 56 A |
| 임계온도 [K] | 106 K |
| 초전도체/피복재 | Bi-2223/Ag-alloy |
| 단면적 [mm ²] | 3.81 × 0.193 mm ² |

측정될 고온초전도 선재의 전체 길이는 전압단자 간격을 고려하여 50cm로 설정하였으며, 전류 도입선과 고온초전도 선재 단 말부에서 발생할 수 있는 줄열의 영향을 줄이기 위하여 양단에 5cm의 여유를 두어 실험에 사용된 전체 선재 길이는 60cm가 되었다. 그 중 50cm에 Kapton테이프를 사용하여 각각의 선재를 1층, 3층, 5층으로 절연하여 저항 증가와 온도상승의 절연에 대한 영향을 조사하였다. 전압측정 단자는 절연층이 끝나는 부분에 전압단자를 배치하고 전압 단자와 선재간의 단면적을 최소화 하여 측정 시 자기 자계에 의해 유기되는 전압이 최소가 되도록 고려하였다. 또한 인접 시험 장치로부터 불필요한 자계에 의한 유도 전압과 노이즈를 최대한 줄이기 위하여 전압 단자는 모두 꼬아서 계측기에 연결한 후, 양단에 전류도입선을 연결하고 4 단자법을 이용하여 인가 전류 크기에 따른 전류-전압 특성을 조사하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 2는 초전도 선재에 절연층을 적용하고 360 A_{peak}의 전류를 인가하였을 때의 저항 발생을 보여준다. 절연층을 적용하지 않은 나선과 절연층을 적용한 선재를 비교하여 볼 때 첫 주기부터 발생한 저항이 차이를 보이며, 3 주기 이후부터 그 차가 커짐을 알 수 있다. 그러나 절연층의 두께 및 종류에 따라서는 발생하는 저항 차가 거의 동일한 값을 보였다. 따라서 본 실험에서는 1층의 절연층을 갖는 선재를 택하여 한류기 적용을 위한 초전도 선재의 과전류 통전 특성을 행하였다.

그림 3은 1층의 절연층을 갖는 초전도 선재에 200 A_{peak} 이상의 과전류를 5.5 주기 동안 통전시키며 얻은 저항 발생 증가 곡선이다. 그림과 같이 335 A_{peak}를 인가하였을 때, 선재는 77 K를 초과하기 시작하였고, 353 A_{peak}를 인가한 경우, 통전 주기 안에서 임계온도인 106 K에도달하였다. 그림 4는 인가 전류를 증가시킨 상태에서의 통전 특성을 보였다. 602 A_{peak} 인가한 경우에서 알 수 있듯이 인가 전류가 증가될수록 선재는 플렉스 플로우 상태를 지나 통전 중 연계보호기가 작동하더라도 켄치 회복이 불가능한 상태로 빠르게 진입하는 것을 알 수 있다.

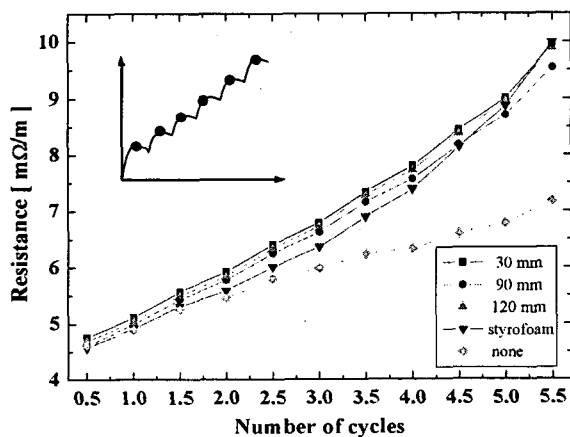


그림 2. 절연층의 두께 및 종류에 따른 저항 발생

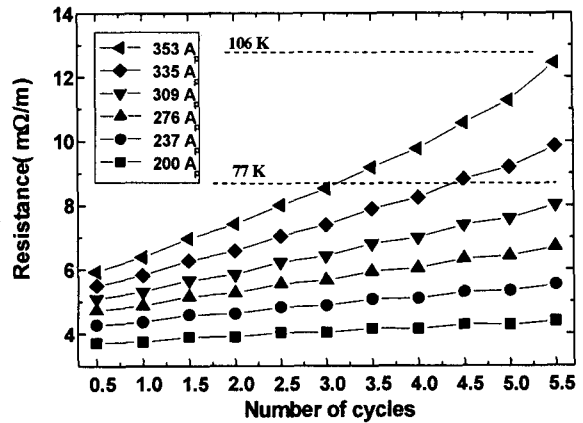


그림 3. 1층의 절연층을 갖는 초전도 선재의 저항 발생

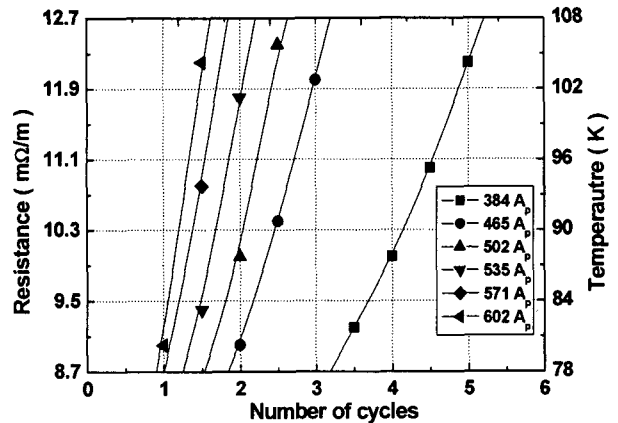


그림 4. 1층의 절연층을 갖는 선재의 과전류 통전 특성

4. 결론

실계통에 적용될 초전도 케이블을 고려하여 나선이 아닌 절연층이 적용된 고온초전도 선재를 이용하여 과전류 통전 시험을 행하고 그 특성을 조사하였다. 나선인 경우에 비해 절연층이 적용된 선재의 경우 플렉스 플로우 상태 및 완전 켄치 상태로의 진입이 빠르게 나타났으나, 절연층은 그 두께 및 종류에 따라 동일한 특성을 보였다. 또한 인가 전류의 크기에 따라 서로 상이한 플렉스 플로우 상태로의 진입 시간을 보이므로 이러한 경계를 기준으로 선재의 안정성을 평가할 수 있으며, 초전도 한류기의 적용 기준을 결정할 수 있을 것으로 판단된다.

참고 문헌

- [1] K. H. Jensen, C. Traholt, E. Veje, M. Daumling, "Over-current experiments on HTS tape and cable conductor", *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, vol. 11, no. 1, pp. 1781-1784, 2001
- [2] S. W. Yim, S. H. Lim, H. R. Kim, S. D. Hwang, and K. Kishio, "Electrical behavior of Bi-2223/Ag tapes under applied alternating over-currents," *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, vol. 15, no. 2, pp. 2482-2487, Jun. 2005.