

Bi-2223테이프의 사고전류 특성

류경우*, 차귀수**
*전남대학교, **순천향대학교

Fault Current Characteristics of a Bi-2223 Tape

Kyung-Woo Ryu*, **Guee-Soo Cha
*Chonnam National University, **Soonchunhyang Univ.

kwryu@chonnam.chonnam.ac.kr

Abstract - Temperature and resistance of a Bi-2223 tape for fault currents up to 10 I_c were measured in two types of samples taking into account real applications. The results indicate that the Bi-2223 tape is safe from burn-out for fault currents with a few cycles up to 10 I_c. For fault currents of over an order of magnitude higher than the nominal current, the temperature of the Bi-2223 tape depends strongly on fault durations.

1. 서 론

현재 대표적인 고온 초전도체라 할 수 있는 Bi-2223테이프의 경우 최근 제조공정의 획기적 진보에 힘입어 수백 미터의 길이에서도 공학적 임계전류밀도(J_c: 77 K, 자기자장에서)가 140 A/mm²로, 초전도전력응용 중에서도 낮은 자장에서의 응용인 송전케이블 및 변압기 등에 적용이 기술적으로는 가능해진 단계에 이르렀다.

현재로서 유일한 실용 고온 초전도체라 할 수 있는 Bi-2223테이프가 초전도 송전케이블 및 변압기 등에 응용될 경우, 기존 전력계통에서 빈번히 발생하는 정격전류보다 수십 배나 큰 수 사이클동안의 사고전류에 대하여 소손(burn-out)으로부터 안전해야 하며, 또한 이와 같이 임계전류보다 매우 큰 사고전류에 의하여 Bi-2223테이프에는 급격한 저항성장이 일어나 사고전류를 제한하는 긍정적인 효과도 발생하게 된다.

따라서 본 연구에서는 임계전류보다 대단히 큰 수 사이클의 사고전류를 실험적으로 모의하였으며, 상기에서 언급한 바와 같이 Bi-2223테이프의 주요 응용 분야인 송전케이블 및 변압기 응용에서의 실제 환경을 고려하여 두 종류의 시험 샘플을 제작하였으며, 이들 샘플의 사고전류에 대한 온도·저항 특성(이하 사고전류 특성이라 함)을 조사하였다.

2. 실험 샘플 및 실험 방법

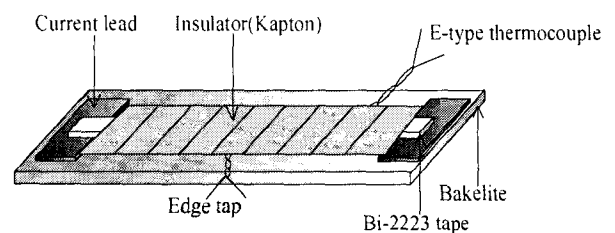
2.1 실험 샘플

실험에 사용된 Bi-2223테이프의 사양을 표1에, 사고전류 특성을 조사하기 위해 제작된 두 종류의 샘플을 그림1에 각각 나타내었다. 그림1의 a)는 현재 연구·개발되고 있는 송전케이블(상온절연 또는 저온절연 케이블)에서 Bi-2223테이프의 냉각 상황을 고려하여 테이프 양면에 절연물이 있는 구조로 하였고, b)는 변압기에서 권선형태를 고려하여 팬케이크형으로, 전기절연 방식은 Bi-2223테이프 자체절연방식(이하 도체절연방식이라 함) 또는 층간절연방식으로 하였다.

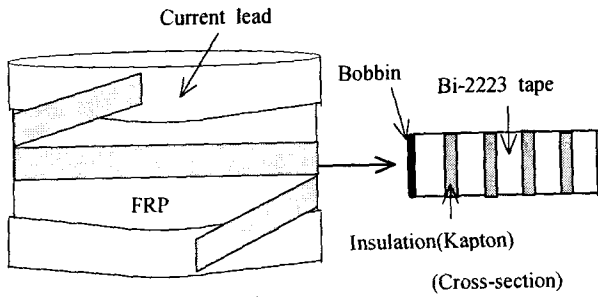
Bi-2223테이프의 온도 측정을 위해서는 E형 열전대를, 저항 측정을 위해서는 탭간 거리가 70 mm인 edge탭을 각각 사용하였으며, 팬케이크형 샘플의 경우 열전대 및 전압탭은 보빈으로부터 3번째 층에 설치하였다.

Table I. Specifications of a Bi-2223 tape

모재	사이즈 (mm×mm)	조성 (Bi-2223/모재)
Ag	3.5×0.3	23/77
Ag/AgMgNi	3.5×0.3	27/43/30



a) Cable type sample.



b) Pancake type sample.
Fig.1. Schematic of the samples.

2.2 실험 방법

Bi-2223테이프의 사고전류 특성 실험에 이용된 실험장치 및 저항산출방식은 [1]과 동일하고, 실험 온도는 모두 77 K로 동일하며, 그림2에는 전형적인 사고전류에 대한 edge탭의 전압 파형 및 온도를 각각 나타내었으며, 특히 수 사이클의 사고전류에 대한 Bi-2223테이프의 온도는 사고전류가 종료된 후 발생하는 최대 온도로 하였다.

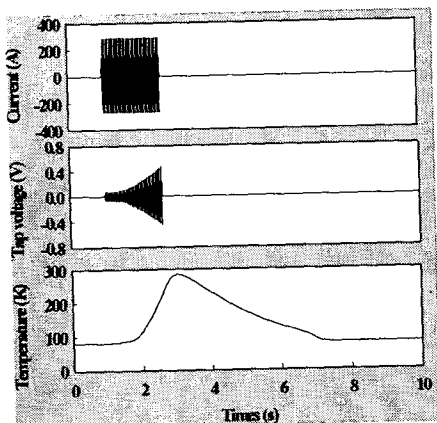


Fig.2. Tap voltage and temperature of the sample for a fault current.

3. 실험 결과 및 고찰

그림3에는 케이블형 샘플에 DC과임계전류를 흘렸을 때 측정된 Bi-2223테이프의 사고전류 특성을 나타내었다. 그림3에서 ○ 및 ●는 Bi-2223테이프의 측정된 온도상승 및 저항을, 실선은 측정된 온도, Bi-2223테이프의 모재 (Ag) 저항률 - 온도 관계 및 표1의 조성으로부터 계산된 저항을 각각 나타내었다.

그림3의 결과로부터 과임계전류가 작아 온도 상승이 거의 없는 경우는 계산된 저항이 측정치보다 매우 큰 것을 볼 수 있고, 이는 Bi-2223테이프가 완전히 상전도 상태로 전이되지 않았음을 의미한다. 그러나 과임계전류가 커 Bi-2223테이프의 온도가 임계온도인 약 110 K보다 큰 경우는 계산된 저항은 측정치와 잘 일치하는 것을 볼

수 있고, 이 경우는 Bi-2223테이프가 완전한 상전도 상태로 전이되었음을 의미한다.

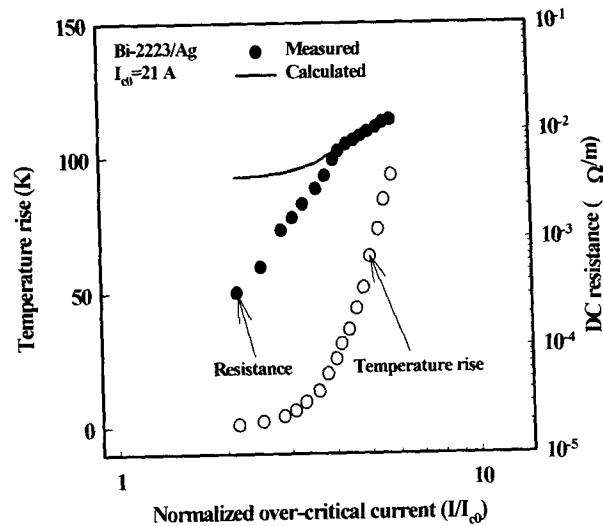


Fig.3. Temperature rise and resistance vs. normalized over-critical current in the cable type sample.

그림4에는 케이블형 샘플에 사고전류를 흘렸을 때 측정된 Bi-2223테이프의 사고전류 특성을 나타내었다. 그림4에서 △, □ 및 ○는 5사이클, 50사이클 및 100사이클의 사고전류에 대한 온도상승을, ▲, ■ 및 ●는 5사이클, 50사이클 및 100사이클의 사고전류에 대한 저항을 각각 나타내었다.

그림4의 결과로부터 Bi-2223테이프의 사고전류 특성은 특히 응용시스템에서 중요한 정격전류보다 수십 배나 큰 사고전류에 대해서는 사고지속시간(사이클 수)이 증가함에 따라 Bi-2223테이프의 온도는 급격히 증가하며, 수 사이클의 사고지속시간에 대해서는 임계전류(21 A)의 약 10배로 되는 사고전류에 대해서도 Bi-2223테이프의 온도상승은 거의 없음을 볼 수 있다.

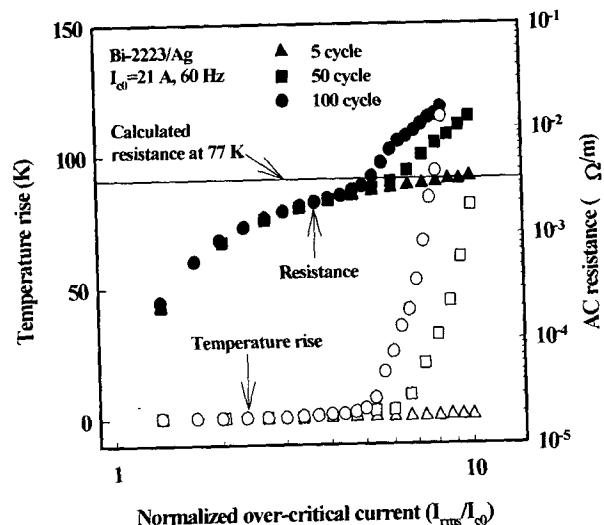


Fig.4. Temperature rise and resistance vs. normalized over-critical current in the cable type sample for various fault durations.

그리고 Bi-2223테이프의 저항은 온도상승이 없는 경우는 과임계전류가 증가함에 따라 77 K에서 계산된 저항에 도달하여 포화됨을 볼 수 있고, 이는 큰 과임계전류에 의해 Bi-2223테이프가 상전도 상태로 전이됨을 의미한다. 또한 온도상승이 있는 경우는 보통 금속에서 저항 - 온도 특성과 마찬가지로 온도상승에 의한 Bi-2223테이프의 저항증가를 볼 수 있다.

그림5에는 도체절연방식의 팬케이크형 샘플에 사고전류를 흘렸을 때 측정된 Bi-2223테이프의 사고전류 특성을 나타내었다.

그림5의 결과로부터 수 사이클의 사고지속시간에 대해서는 임계전류(24 A)의 약 10배로 되는 사고전류에 대해서도 Bi-2223테이프의 온도상승은 거의 없음을 볼 수 있다. 또한 도체절연방식의 팬케이크형 샘플에서 Bi-2223테이프의 사고전류 특성은 케이블형 샘플과 비교하여 샘플 구조에 큰 차이가 있음에도 불구하고 그림4의 케이블형 샘플에 대한 실험결과와 거의 유사함을 볼 수 있고, 이는 두 샘플에서 Bi-2223테이프의 배열은 상이하지만 Bi-2223테이프 도체 자체의 전기절연 측면에서 유사함에 기인하는 것으로 사려된다.

그림6에는 층간절연방식의 팬케이크형 샘플에 사고전류를 흘렸을 때 측정된 Bi-2223테이프의 사고전류 특성을 나타내었다.

그림6의 결과로부터 층간절연방식의 팬케이크형 샘플에서 Bi-2223테이프의 사고전류 특성은 그림5의 도체절연방식과는 상이함을 볼 수 있고, 특히 층간절연방식에서 온도상승이 도체절연방식보다 작으며, 이는 동일한 사고전류에 대해서는 층간절연방식이 도체절연방식보다 소손으로부터 더욱 안전함을 의미한다.

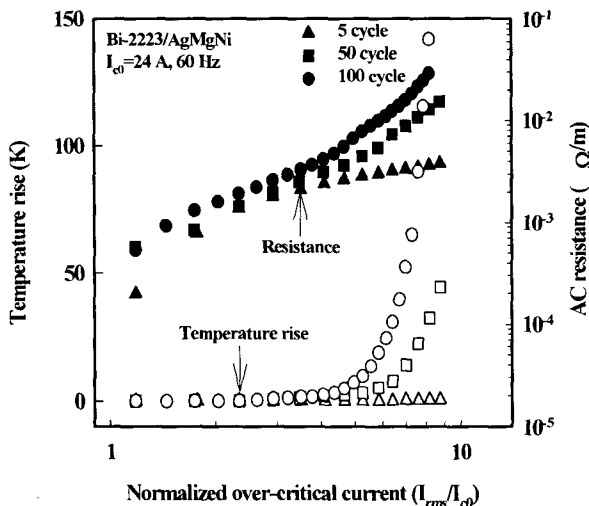


Fig.5. Temperature rise and resistance vs. normalized over-critical current in the pancake type sample with conductor insulation.

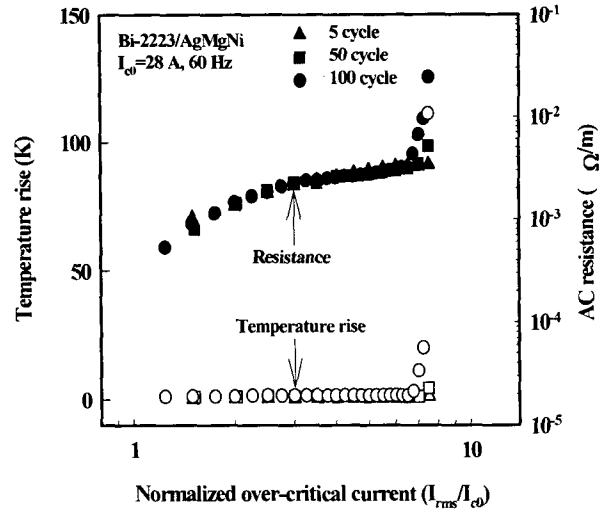


Fig.6. Temperature rise and resistance vs. normalized over-critical current in the pancake type sample with layer insulation.

4. 결론

이상의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) Bi-2223테이프의 온도가 임계온도(110 K)보다 커지거나 또는 충분히 큰 과임계전류에 의해 완전히 상전도 상태로 전이되는 경우는 소재의 저항률 - 온도 관계로부터 계산된 저항과 측정치는 잘 일치한다.
- 2) Bi-2223테이프의 임계전류보다 약 10배 큰 수 사이클의 사고전류에 대해서는 온도상승이 거의 없어 소손으로부터는 안전하다.
- 3) 응용에서 중요한 정격전류보다 수십 배 큰 사고전류에 대한 Bi-2223테이프의 온도는 사고지속시간이 길어질수록 급격히 증가하기 때문에 이에 특히 주의해야한다.
- 4) Bi-2223테이프의 사고전류 특성은 케이블형 샘플과 도체절연방식의 팬케이크형 샘플이 서로 유사하였으며, 층간절연방식이 도체절연방식보다 Bi-2223테이프의 소손 측면에서 유리하다.

본 연구는 산업자원부의 지원으로 수행되었다

[참고 문헌]

- [1] 이성수, 박권배, 류경우, 차귀수, "고온초전도테이프의 사고전류 특성," 2000년도 대한전기학회학계학술대회논문집, pp. 804 - 806, 2000.