

전류분포가 3분-도체의 임계전류 특성에 미치는 영향

조영호, 류경우
전남대학교

Influence of Current Distributions on Critical Current Characteristics in a 3-conductor

Young-ho Jo, Kyung-Woo Ryu
Chonnam National University

Abstract - AC loss is an important issue in the design of high- T_c superconducting power cables which consist of a number of Bi-2223 tapes wound on a former. In the cables, the tapes have different critical currents intrinsically. And they are electrically connected to each other and current leads. In this work we have prepared a conductor composed of three Bi-2223 tapes with different critical currents. The critical current characteristics in the conductor have experimentally investigated. The results show that for uniform current distributions the conductor's critical current is proportional to the critical current of the Bi-2223 tape to which a voltage lead is attached. However it depends on the current non-uniformity parameter in the conductor rather than the tape's critical currents for nonuniform current distributions.

Table 1. Specifications of a Bi-2223 tape.

항 목	특 성
사이즈	3.1 mm × 0.17 mm
Bi-2223/Ag/Ag합금	38 %/40 %/22 %
필라멘트 수	55
트위스트 유·무	무

1. 서 론

다수 본의 초전도테이프를 구성되는 초전도전력케이블에서 발생하는 교류손실은 케이블의 효율을 저하시킬 뿐만 아니라 냉동기 비용의 증가를 초래하여 기존 구리 도체케이블과의 가격경쟁에서 경제성을 저하시키는 주된 요인으로 작용한다. 따라서 초전도케이블의 상용화를 위해서는 먼저 교류손실에 대한 충분한 이해와 더불어 정확한 평가가 선행되어야 한다. 그러나 초전도체의 교류손실은 기존 철심의 히스테리시스 손실과 같이 자기적인 손실인 관계로 정확하게 측정하기가 대단히 어렵다.

따라서, 본 논문에서는 다수 본의 초전도테이프를 구성되는 전력케이블의 교류손실에 대한 연구에 앞서 전력케이블의 형상과는 다소 상이하지만, 초전도테이프의 본수가 적어 평가결과에 대한 분석이 용이한 점에 착안하여 3본의 Bi-2223초전도테이프를 구성되는 샘플(이하 3분-도체)을 제작하였으며, 교류손실 측정에 앞서 3분-도체에 흐르는 전류분포가 3분-도체의 임계전류 특성에 미치는 영향을 조사하였다[1].

2. 본 론

2.1 실험 샘플 및 방법

표 1에는 3분-도체 제작에 사용된 Bi-2223테이프의 주요 사양을, 그림 1에는 제작된 3분-도체 샘플을 각각 나타내었다.

특히 3분-도체 샘플의 제작 시, 케이블 제작에 실제로 사용되고 있는 Bi-2223테이프는 본질적으로 불균일한 임계전류특성을 지니고 있다는 점에 착안하여 임계전류가 수 십%정도 상이한 테이프들을 사용하였으며, 3분-도체 도중에서 발생될 수 있는 인접한 테이프사이의

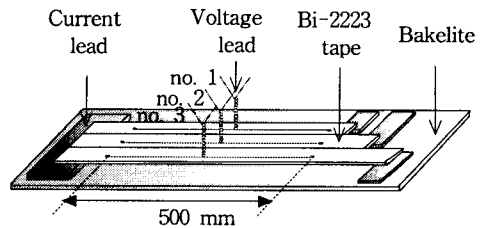


Fig. 1. Schematic of the 3-conductor sample

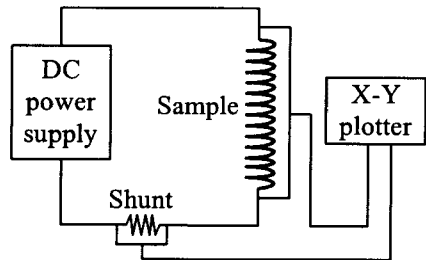


Fig. 2. Experimental setup.

전류 재분배에 의한 영향을 배제하기 위하여 테이프 사이는 전기적으로 완전히 절연하였으며, 전압리드의 납땀부사이의 거리는 모두 500 mm로 동일하게 하였다 [2]-[3].

그림 2에는 3분-도체의 임계전류특성 평가에 사용된 실험장치의 개략도를 나타내었으며, 실험은 액체질소 온도(77 K)에서 하였다. 그림 2에서 580 A_{rms}, 8 V_{rms} 전원으로 직류 전류를 샘플에 인가하였다. 임계전류 평가기준으로서는 고온초전도체에서 일반적으로 채택되고 있는 1 μV/cm를 사용하였다.

2.2 실험 결과 및 고찰

그림 3에는 각 테이프에 균일하게 전류가 흐를 경우, 3본-도체(각 Bi-2223테이프의 임계전류는 72 A, 46 A, 76 A)에 대하여 측정된 임계전류특성을 나타내었다. 그림 3에서 x축의 일련번호는 그림 1에서 보는 바와 같이 전압리드의 일련번호임과 동시에 3본-도체 샘플에서 Bi-2223테이프의 일련번호를 나타낸다. 또한 왼쪽 y축은 각 전압리드 전압과 도체 전류로부터 측정된 3본-도체의 임계전류를 나타내며, 오른쪽 y축에는 3본-도체를 구성하는 각 Bi-2223테이프의 임계전류를 참고로 나타내었다.

그림 3에서 균일 전류분포일 경우, 3본-도체의 임계전류는 Bi-2223테이프 자신의 임계전류에 비례하는 것을 볼 수 있다. 즉 임계전류가 큰 테이프의 전압리드(no.1, no.3)로부터 측정된 3본-도체의 임계전류는 임계전류가 작은 테이프의 전압리드(no.2)로부터 측정된 임계전류보다 크다. 또한 3본-도체의 임계전류는 전압리드가 부착된 Bi-2223테이프 자신의 임계전류에 테이프의 본수인 3을 곱한 값과 비교적 잘 일치하는 것을 볼 수 있다.

따라서 그림 3의 결과로부터 균일 전류분포일 경우는 다음과 같이 요약될 수 있다. 먼저 3본-도체를 구성하는 테이프의 임계전류가 불균일한 경우, 3본-도체의 임계전류는 전압리드의 접촉위치에 따라서 상이해져, 도체의 임계전류를 유일한 값으로 정의하는 것이 불가능한 반면 테이프의 임계전류가 균일한 경우, 3본-도체의 임계전류는 전압리드의 접촉위치에 관계없이 일정하게 되어 도체의 임계전류는 유일한 값으로 정의가 가능해진다. 물론 이 경우 도체의 임계전류는 1본 테이프의 임계전류에 본 수인 3을 곱한 전류로 된다.

또한 다수 본의 초전도테이프로 구성되는 전력케이블의 경우, 테이프의 불균일한 임피던스특성 및 임계전류특성 등 때문에 각각의 테이프에는 불균일한 전류가 실제로 흐를 수 있게된다. 따라서 이러한 점에 착안하여 본 연구에서는 불균일한 전류분포가 3본-도체의 임계전류특성에 미치는 영향에 대하여 조사하였다. 먼저 각 테이프에 흐르는 전류의 불균일한 정도를 정량적으로 정의하기 위하여 전류 불균일 파라미터(γ)를 도입하였으며 이는 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\gamma = \frac{I_1}{I_2} \text{ or } \frac{I_3}{I_2} \quad (1)$$

여기서 I_1 , I_2 , I_3 은 그림 1에서 보는 바와 같은 no.1, no.2, no.3의 Bi-2223테이프에 흐르는 전류를 각각 나타낸다. 특히 본 실험을 위해 제작된 모든 3본-도체 샘플의 경우, no.1 및 no.3 테이프의 임계전류가 거의 동일할 뿐만 아니라 이들 두 테이프에 흐르는 전류 또한 외부 리액터를 이용하여 동일하게 제어하였기 때문에 전류 불균일 파라미터를 정의하는데 있어서 기준 전류로서는 no.2 테이프에 흐르는 전류를 선정하였다.

그림 4 a)는 전류 불균일 파라미터를 1.58로 한 경우 즉 no.1 및 no.3 테이프에 흐르는 전류가 no.2 테이프보다 1.58배 큰 경우, 3본-도체의 임계전류특성을 나타내는 반면, 그림 4 b)는 전류 불균일도 파라미터를 0.67로 한 경우, 3본-도체의 임계전류특성을 나타낸다. 그림 4에서 x축의 일련번호 및 왼쪽 그리고 오른쪽 y축의 임계전류는 그림 3에서와 같다.

그림 4에서 보는 바와 같이 불균일 전류분포인 경우, 3본-도체의 임계전류특성은 균일 전류분포인 경우(그림 3)와는 달리 Bi-2223테이프 자신의 임계전류에 무관한 반면 전류 불균일 파라미터에 크게 의존하는 것을 볼 수 있다. 즉, 그림 4 a), b) 모두에서 동일하게 no.2 테이프의 임계전류가 no.1 및 no.3 테이프의 임계전류보다 작지만 그림 4 a)의 경우는 전압리드(no.2)로부터

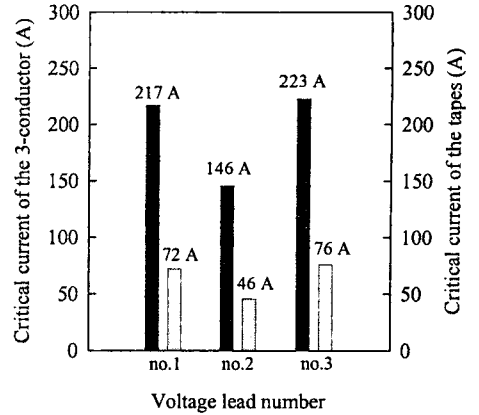
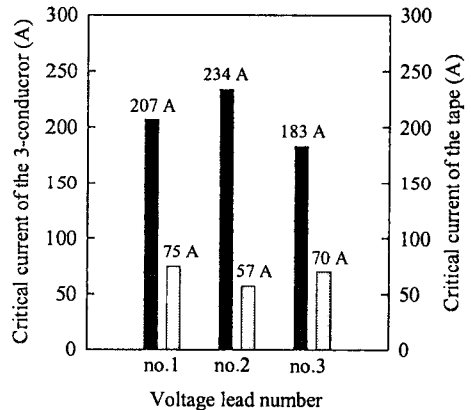
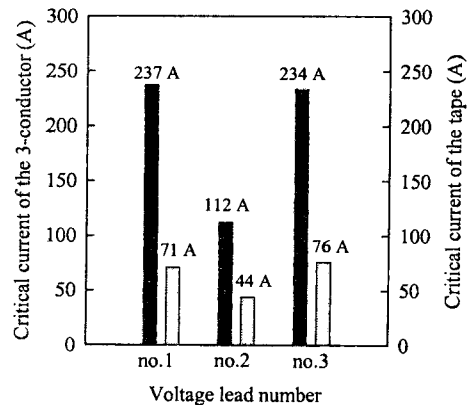


Fig. 3. Voltage lead's contact position dependence of the critical current in the 3-conductor: uniform current distribution.



a) 전류 불균일 파라미터(γ)= 1.58



b) 전류 불균일 파라미터(γ)= 0.67

Fig. 4. Voltage lead's contact position dependence of the critical current in the 3-conductor: nonuniform current distribution.

측정된 3분-도체의 임계전류(234 A)가 가장 큰 반면, 그림 4 b)에서는 동일한 전압리드 no.2로부터 측정된 3분-도체의 임계전류(112 A)가 가장 작은 것을 볼 수 있다.

따라서 그림 4의 결과로부터 불균일 전류분포일 경우는 다음과 같이 요약될 수 있다. 임계전류가 불균일한 테이프를 구성된 3분-도체의 임계전류는 균일 전류분포인 경우(그림 3)와 달리 전압리드의 접촉위치보다는 전류 불균일 파라미터에 더욱 의존하여, 도체의 임계전류를 유일한 값으로 정의하는 것이 역시 불가능하게 된다.

이상의 그림 3 및 그림 4의 실험결과로부터 전력케이블처럼 다수 본의 Bi-2223테이프를 구성되는 도체의 경우, 테이프의 임계전류특성이 균일하고, 각 테이프에 흐르는 전류 또한 균일한 경우를 제외하고는 모든 경우에 대하여 도체의 임계전류를 유일한 값으로 정의하는 것은 불가능하게 됨을 알 수 있다. 이와 같은 사실은 이하에서 논의할 다수 본의 테이프를 구성되는 도체에서 발생하는 교류손실은 도체의 임계전류에 의해 단순히 기술될 수 없음을 의미한다.

3. 결 론

이상의 전류분포가 3분-도체에서 임계전류 특성에 미치는 영향에 대한 주요결과를 요약하면 다음과 같다.

균일 전류분포의 경우

- 1) 3분-도체를 구성하는 테이프의 임계전류가 불균일한 경우, 전압리드의 접촉위치에 대단히 의존하며, 도체의 임계전류를 유일한 값으로 정의하는 것은 불가능하다.
- 2) 반면, 테이프의 임계전류가 균일한 경우, 전압리드의 접촉위치에 무관하며, 도체의 임계전류는 1분 테이프의 임계전류에 본 수인 3을 곱한 전류가 된다

- 2) 반면, 테이프의 임계전류가 균일한 경우, 전압리드의 접촉위치에 무관하며, 도체의 임계전류는 1분 테이프의 임계전류에 본 수인 3을 곱한 전류가 된다

불균일 전류분포의 경우

- 3) 전압리드의 접촉위치보다는 전류 불균일 파라미터에 대단히 의존하여, 도체의 임계전류를 유일한 값으로 정의하는 것은 불가능하다.

감사의 글

본 연구는 한국과학기술재단 목적기초연구(과제 번호 : R01-2000-000-00248-0)지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

(참 고 문 헌)

- [1] 김창완, 정재훈, 류경우, 최병주, "고온 초전도모델전력케이블의 교류손실 특성," 대한전기학회학술대회논문집, pp. 681-683, 2001.
- [2] C.M. Friend, D.M. Spiller, L.Le Lay, S.A. Awan, T.P. Beales, "Using Electrical Measurements to Determine the Self-field AC Losses of Cable Models," *Physica C* 309, pp.187-196, 1998.
- [3] A. Kuhle, C. Treholt, S. Kruger Olsen, C. Rasmussen and O. Tonnesen, "Measuring AC-loss in High Temperature Superconducting Cable-Conductors using Four Probe Methods," *IEEE Trans. Applied Superconductivity*, Vol. 9, No. 2, pp.1169-1172, 1999.