

## 외부자계가 Bi-2223테이프의 통전손실에 미치는 영향

김창완\*, 한형주\*, 류경우\*, 최병주\*\*  
\*전남대학교, \*\*서라벌대학

### The Influence of External Magnetic Field on Transport Loss in a Bi-2223 tape

Chang-Wan Kim\*, Hyung-Ju Han\*, Kyung-Woo Ryu\*, Byung-Ju Choi\*\*  
\*Chonnam National Univ., \*\*Sorabol college

nanumi@channeli.net

**Abstract** - The transport loss of a Bi-2223 tape exposed to external magnetic field was investigated. The results show that the transport loss is independent on voltage lead arrangements in case the magnetization loss is compensated. An serious increase of the transport loss due to external magnetic fields is observed. The loss is described well by dynamic resistance loss in relatively high fields, but another mechanism than the dynamic resistance must be responsible for the increase of the loss in low fields. The transport loss is also dependent strongly on the orientation of the applied field.

#### 1. 서론

최근 Bi-2223테이프를 전력기기에 응용하기 위한 연구가 활발히 진행중이다. 전력기기 응용에 앞서 시스템의 효율 및 경제성에 미치는 중요한 요소인 Bi-2223테이프의 교류손실을 이해하는 것이 무엇보다도 선행되어야 할 과제이다.

Bi-2223테이프의 교류손실 중의 하나인 통전손실에 영향을 미치는 인자로서는 테이프의 종횡비, 필라멘트 트위스트의 유·무 등과 같은 내적요인과 전압리드의 배열 및 외부자계 등과 같은 외적인자로 구분되어지며, 특히 외적인자가 통전손실에 큰 영향을 미치는 것으로 알려져있다 [1-2]. 따라서 본 연구에서는 전력기에서 Bi-2223테이프가 경험하는 실제 상황을 고려하여 외부자계가 테이프의 통전손실에 미치는 영향과 전압리드의 배열이 통전손실의 측정에 미치는 영향에 대하여 조사하였다.

#### 2. 실험 샘플 및 실험방법

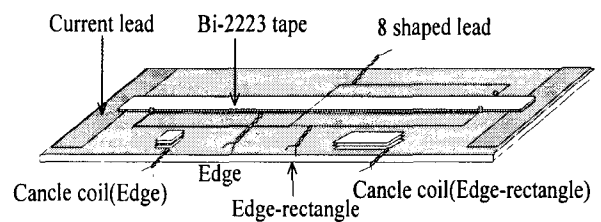
##### 2.1 실험 샘플

표1에는 실험에 사용된 Bi-2223테이프의 주요사양을 나타내었다.

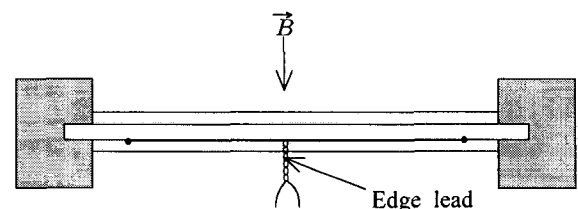
Table 1. Specifications of a Bi-2223 tape

항 목	특 성
사이즈	3.5 mm × 0.3 mm
Bi-2223/AgMgNi	25/75
필라멘트수	37
트위스트 유·무	무

그림1-(a)은 수직자계용 샘플이며 전압리드의 배열이 통전손실에 미치는 영향을 조사하기 위해서 3종류의 전압리드를 장착하였으며 전압탭 간 거리는 0.1 m로 하였다. 전압리드의 접촉위치는 먼저 테이프 가장자리 선을 따라 배열하였고(이하 edge리드) 또 다른 하나는 가장자리 선으로부터 5.3 mm 떨어진 사각루프 배열로 하였다(이하 edge-rectangle리드).



(a) Perpendicular fields



(b) Parallel fields.

Fig.1. Schematic of the samples.

다른 한 종류는 테이프의 양쪽 가장자리에 뾰족한 후 8자 형태로 배열하였다(이하 8자형리드). 또한 외부자계에 의해 edge리드와 edge-rectangle리드에서 발생된 유도성 전압을 상쇄하기 위해 상쇄코일을 장착하였다. 그림 1-(b)은 수평자계용 샘플이며 edge리드를 장착하였다.

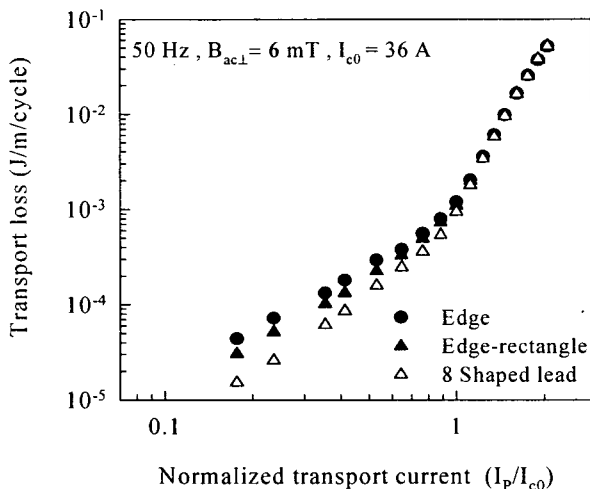
## 2.2 실험 방법

Bi-2223테이프면에 외부자계가 인가된 경우에 통전손실을 측정하기 위한 실험장치를 구성하였다[3]. 50 V, 30 A전원과 20 V, 300 A전원을 2 채널 함수발생기로 제어하여 직류 및 정현파의 교류 통전전류를 각각 자석과 샘플에 인가하였으며 자석과 샘플에 흐르는 전류를 측정하기 위해서 셉트를 사용하였고, 셉트 및 실험샘플의 전압리드로부터 나오는 신호는 절연앰프를 통해 디지털스코프에서 기록하였다. 이때 샘플 리드전압 중에서 외부자계에 의해서 발생하는 유도성 전압은 상쇄코일을 이용하여 소거하였다.

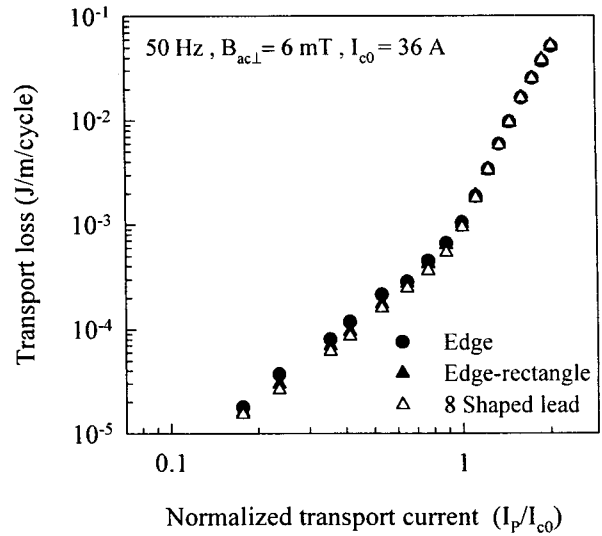
고온 초전도체테이프의 통전손실을 측정하는 방법에는 직접법(direct wave integration method)과 락인앰프법(Lock-in amplifier method)이 있는데[4], 본 연구에서는 직접법을 이용하여 손실을 측정하였다.

## 3. 실험 결과 및 고찰

그림2-(a). 및 그림2-(b).는 테이프의 면에 수직한 작은 외부 교류자계가 인가된 경우에 전압 리드의 배열이 통전손실에 미치는 영향을 조사한 결과이다. 그림2-(a).는 외부교류자계가 인가되었을 때의 자화손실을 보상하지 않은 경우의 결과이고, 그림2-(b).는 보상을 한 경우의 결과이다. 그림2-(a).의 결과로부터 알 수 있듯이 edge-rectangle리드와 edge리드에 대한 손실 측정 결과는 비교적 잘 일치하였으나 8자형리드의 경우는 임계전류이하에서 다른 두 종류의 리드와 매우 상이한 결과를 보였다.



(a) Uncompensated case.



(b) Compensated case.

Fig.2. Transport loss vs. normalized transport current.

그러므로 자화손실을 보상하지 않은 경우에 통전손실은 전압리드의 배열에 대단히 큰 영향을 받는다는 것을 알 수 있었다. 반면 그림2-(b).의 결과로부터 알 수 있듯이 보상을 한 경우에는 상이한 전압리드의 배열에서도 통전손실은 잘 일치하였다. 이때 edge리드는 일반적으로 손실 측정에 사용되어지는 edge-rectangle리드에 의해 측정된 손실 값과 비교적 잘 일치하였고 또한 외부 교류자계에 의해서 발생된 유도성 전압이 작기 때문에 이하의 실험에서는 edge리드를 사용하여 통전손실을 측정하였다.

그림3은 외부 자계가 인가된 경우 직류 전압 - 전류 관계를 측정된 결과이다. 그림3의 결과로부터 알 수 있듯이 외부 교류자계가 증가함에 따라서 전계가 급격하게 증가하는 반면 50 mT의 직류 자계가 인가된 경우 직류 전압 - 전류관계 곡선의 형태는 변하지 않고 외부자계가 인가되지 않은 경우의 곡선이 왼쪽으로 이동한 것과 유사하다. 이것은 외부 직류자계에 의한 임계전류의 감소에 기인하는 것으로 사려된다.

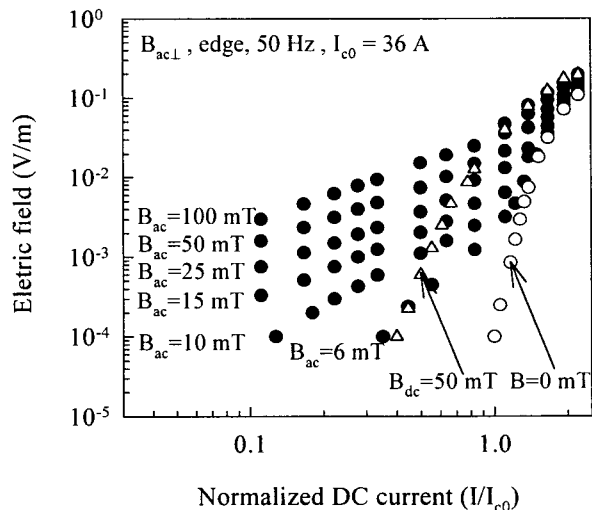


Fig.3. DC voltage-current characteristics for several perpendicular fields.

## 4. 결 론

이상의 조사 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 통전손실은 외부자계에 의한 자화손실이 보상되기만 하면 전압리드의 배열에 무관하다.
- 2) 통전손실은 교류외부자계의 세기에 대단히 영향을 받으며, 비교적 고자계인 경우는 동저항 손실이 지배적 메카니즘인 반면 저자계인 경우는 또 다른 메카니즘이 있는 것으로 사려된다.
- 3) 통전손실은 교류외부자계의 방향에 대단히 영향을 받으며, 수직자계인 경우는 수평자계보다 약 10배정도 큰 반면 45도 경사자계와는 거의 유사하다.

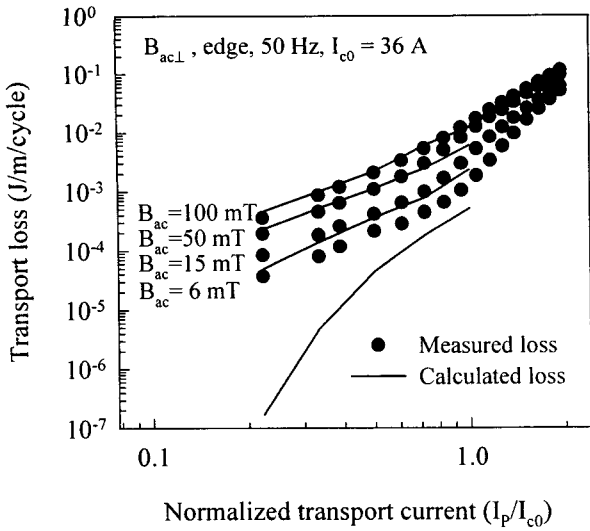


Fig.4. Transport losses for various perpendicular fields.

그림4는 외부자계가 인가된 경우 측정된 통전손실과 직류 전압-전류관계로부터 계산된 동저항 손실을 비교한 결과이다[3],[5-6]. 그림4의 결과로부터 외부 교류자계가 증가함에 따라 통전손실이 매우 증가함을 보였으며, 또한 15 mT 이상의 외부자계에 대해서는 측정된 통전손실과 계산된 동저항 손실이 잘 일치하는 것으로 보아서 동저항 손실이 지배적인 메카니즘임을 알 수 있었으나 6 mT 정도의 작은 외부자계에 대해 측정된 손실은 계산된 동저항 손실과 큰 차이를 보였다. 따라서 작은 외부자계 영역에서 통전손실은 동저항 이외의 또 다른 메카니즘이 있는 것으로 사려된다.

그림5는 외부교류자계가 테이프면과 이루는 방향이 통전손실에 미치는 영향을 조사한 결과이다. 테이프면에 수직인 자계와 45° 경사자계가 인가되었을 때 통전손실은 유사하였으나 수평자계가 인가된 경우 통전손실은 급격하게 감소하였다. 따라서 통전손실은 외부교류자계의 방향에 대단히 영향을 받음을 알 수 있었다.

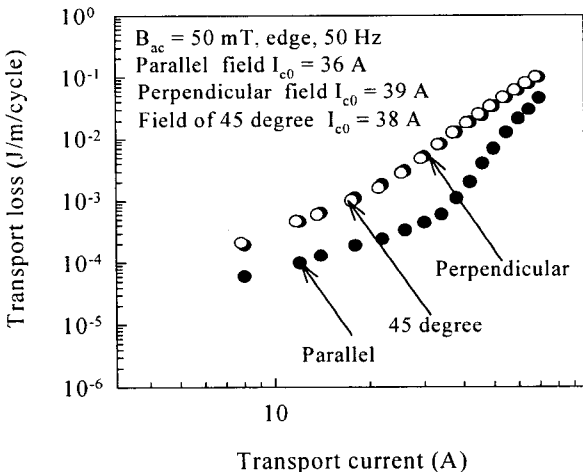


Fig.5. Transport losses for different field orientations.

본 연구는 한국전력공사의 지원에 의하여 기초 전력공학공동연구소 주관으로 수행되었음.

## (참 고 문 헌)

- [1] 류경우, 박권배 외, "장척 Bi-2223테이프 자기자계손실 특성," 전기학회논문지, 49B권, pp. 240-245, 4, 2000.
- [2] M. Cizek, A.M. Campbell, B.A. Glowacki, "The effect of potential contact position on AC loss measurements in superconducting BSCCO tape," *Physica C*, pp. 203-208, 1994.
- [3] 김창완, 한형주, 류경우, "외부자계가 고온 초전도테이프의 통전손실에 미치는 영향," 전기학회학계논문집, B권, pp. 931-933, 2000
- [4] N. Amemiya, K. Miyamoto, S. Murasawa, H. Mukai, and K. Ohmatsu, "Finite element analysis of AC transport current and / or exposed to DC or AC external magnetic field," *Physica C*, 1998.
- [5] J.J. Rabbers, B. ten Haken, H.H.J. ten Kate, "Measuring transport current loss of BSCCO/Ag tapes exposed to external AC magnetic field," *Physica C*, pp. 101-105, 1998.
- [6] J.J. Rabbers, B. ten Haken, F. Gómory, H.H.J. ten Kate, "Self-field loss of BSCCO/Ag tape in external AC magnetic field," *Physica C*, pp. 1-5, 1998.