

적층 Bi-2223도체의 자화손실 특성

Magnetization Loss Characteristics of a Stacked Bi-2223 Conductor

柳 旻 佑* · 韓 亨 周** · 崔 炳 柱*** · 羅 浣 洙§ · 朱 鎮 皓§§

(Kyung-Woo Ryu · Hyung-Ju Han · Byoung-Ju Choi · Wan-Soo Nah · Jin-Ho Joo)

Abstract - The ac loss is an important issue in the design of superconducting cables and transformers. In these devices the Bi-2223 tapes are usually placed face-to-face. In such arrangements ac loss is influenced by adjacent tapes. The effect is investigated by measuring the magnetization loss in the stacked conductor, which consists of various numbers of Bi-2223 tapes. For the single tape the magnetization loss in perpendicular field is larger than that in parallel field by about a factor 10. This agrees well with the prediction for hysteresis loss in slab and strip models. For the stacked conductor in perpendicular field the magnetization loss at low fields is greatly decreased, compared to the loss of the single tape. However the loss at high fields is nearly unaffected. This behavior is well described by the slab model.

Key Words : Hysteresis loss, magnetization loss characteristics, stacked Bi-2223 conductor.

1. 서 론

최근 상용화에 성공한 Bi-2223테이프는 77 K 및 자기자계에서 공학적 임계전류밀도가 약 100 A/mm²급으로 전력 케이블 및 변압기 등에 응용할 정도로 충분히 전류밀도가 높아, 프로토타입의 고온초전도 전력기기에 응용되고 있다. 이와 같은 60 Hz의 고온초전도 전력기기의 설계·제작에 있어서 무엇보다도 중요한 문제는 초전도체에서 발생하는 교류손실로서 통전전류를 통해서 초전도체에 공급되는 통전손실과 외부자장으로부터 초전도체에 공급되는 자화손실로 구분할 수 있다. 국내에서 지금까지는 이들 두 종류의 교류손실에 대한 실험적 연구는 1본의 Bi-2223테이프에만 국한되어 왔다 [1]-[3].

그러나 케이블 및 변압기 시스템에서 Bi-2223테이프는 테이프 단독으로 사용되기도 하는 다수본의 Bi-2223테이프를 적층한 구조(이하 적층 Bi-2223도체)로 응용되고 있다. 이와 같은 적층 Bi-2223도체에서는 인접한 테이프와의 자기적 상호작용에 의해 그 통전손실특성이 1본 테이프의 통전손실보다 상당히 커지는 것으로 알려져 있다[4]. 통전손실특성뿐만 아니라 적층 Bi-2223도체의 자화손실특성 또한 인접한 테이프에 흐르는 차폐전류사이의 상호작용에 의해 1본 테이프의

자화손실특성과 상이해지는 것으로 알려져 있다[5]. 따라서 본 연구에서는 Bi-2223테이프의 전력 케이블 및 변압기 등의 응용에 앞서 실제 응용 상황을 고려하여 먼저 1본 Bi-2223테이프에 수직·수평방향의 자장을 인가할 때 기초적인 자화손실특성을 조사하였다. 뿐만 아니라 적층 Bi-2223도체에 수직·수평방향의 자장을 인가할 때 자화손실특성을 조사하여 1본 테이프특성과 비교·검토하였으며, 적층 테이프의 본수가 자화손실특성에 미치는 영향 등을 조사하여, 전력 케이블 및 변압기 등의 시스템응용 측면에서 적층 Bi-2223도체의 자화손실특성을 검토하였다.

2. 자화손실 이론

정현과적으로 변하는 시변자장이 제2종 초전도체에 인가되면 초전도체에는 차폐전류가 흘러 반자성특성이 나타난다. 이와 같은 시변자장에 의해 자속이 초전도체 내부에서 운동을 하게되면 비가역적인 자기적 특성 때문에 초전도체에는 히스테리시스성의 손실이 발생하게된다. 이와 같은 초전도체의 자기적 특성을 잘 설명하는 간단하면서도 가장 널리 쓰이고 있는 이론으로서 Bean이론을 들 수 있으며, 이의 중요한 개념은 초전도체 내부에 흐르는 차폐전류밀도의 크기는 0 또는 초전도체의 고유한 특성인 임계전류밀도로 반드시 둘 중 하나가 되어야한다는 것이다[6]. 그리고 초전도체의 기하학적 형상이 비교적 간단한 경우에 한해서 외부자장에 의해서 발생하는 초전도체의 자화손실은 해석적으로 계산될 수 있으며, 특히 무한히 넓은 평판형 초전도체(이하 slab)의 면에 평행하게 인가한 외부자장에 의해 발생하는 초전도체 단위체적 당 slab의 자화손실(Q)은 식(1)(이하 slab모델)과 같이 나타낼 수 있다[3].

* 正 會 員 : 全南大 電氣工學科 副教授 · 工博

** 正 會 員 : 全南大 電氣工學科 碩士課程

*** 正 會 員 : 徐羅伐大 컴퓨터電氣시스템科 助教授

§ 正 會 員 : 成均館大 電氣電子컴퓨터工學部 副教授 · 工博

§§ 正 會 員 : 成均館大 金屬材料工學部 副教授 · 工博

接受日字 : 2002年 3月 4日

最終完了 : 2002年 8月 28日

$$Q = \frac{2B_m^3}{3\mu_0 B_p}; B_p > B_m$$

$$Q = \frac{2B_p B_m}{\mu_0} \left(1 - \frac{2B_p}{3B_m} \right); B_p < B_m \text{ (J/m}^3 \cdot \text{cycle)}$$

$$B_p = \mu_0 J_c a \text{ (T)} \tag{1}$$

여기서 B_m 은 외부자장의 진폭을, μ_0 는 자유공간의 투자율을, B_p 는 완전침투자장을, J_c 는 임계전류밀도를, a 는 slab두께의 1/2를 각각 나타낸다. 또한 원통형 초전도체에 수평 또는 수직자장이 인가될 때 자화손실도 식(1)과 유사하며, 두께가 얇은 띠형 초전도체(이하 strip)의 폭에 수직하게 인가된 외부자장에 의해 발생하는 초전도체 단위체적 당 strip의 자화손실(Q)은 식(2)(이하 strip모델)과 같이 나타낼 수 있다[6].

$$Q = \frac{2B_m^2}{\mu_0} \frac{\pi w}{2\beta d} \left(\frac{2}{\beta} \ln(\cosh \beta) - \tanh \beta \right) \text{ (J/m}^3 \cdot \text{cycle)}$$

$$\beta = \frac{B_m}{B_{ch}}; B_{ch} = \frac{\mu_0 J_c d}{\pi} \text{ (T)} \tag{2}$$

여기서 w 는 strip의 폭을, d 는 strip의 두께를 각각 나타내며, B_{ch} 는 특성자장(characteristic field)을, 나머지 문자에 대한 정의는 식(1)에서와 동일하다. 특히 비교적 큰 외부자장에 대해서는 식(2)은 다시 식(3)과 같이 근사적으로 나타낼 수 있다[7].

$$Q = B_m J_c w \text{ (J/m}^3 \cdot \text{cycle)} \tag{3}$$

식(3)에 의한 자화손실은 비교적 큰 외부자장($B_m > B_p$)을 slab의 면에 평행하게 인가할 때 자화손실(식(1))보다 $w/2a$ 배 만큼 큰 것을 볼 수 있다. 이는 고온초전도선재의 전형적인 형상인 테이프형상의 경우, 본질적으로 종횡비(테이프폭/테이프두께)가 크기 때문에 테이프의 면에 수직한 자장에 의해 발생하는 자화손실은 평행한 자장에 의한 자화손실보다 대략 종횡비만큼 클 수밖에 없음을 의미한다. 따라서 테이프형상으로 밖에 고온초전도선재를 제작할 수밖에 없는 경우는 테이프형상의 초전도체 폭과 두께를 가능한 한 작게 해서 자화손실을 저감시키지 못하면 기존 구리도체와의 효율 경쟁에서 불리하게 될 가능성도 배제할 수 없을 것이다.

3. 실험 샘플 및 방법

실험에 사용된 임계전류가 약 4배정도 서로 상이한 두 종류의 Bi-2223테이프에 대한 사양을 표1에, 그리고 이들 테이프를 적층하여 제작한 적층 Bi-2223도체 샘플을 그림1에 각각 나타내었다. 표1에서 Bi-2223테이프의 단면에서 필라멘트들이 배열된 영역을 코아로 정의하였으며, 그림1에서 실험 샘플을 적층할 때 테이프사이에는 두께 70 μm 인 Kapton테이프를 사용하여 전기적으로 절연시켜, 테이프사이의 결합을 완전히 차단하였다. 또한 1본 Bi-2223테이프 및 적층 Bi-2223도체의 자화손실특성 조사를 위한 샘플의 길이는 50 mm로 충분히 길게 하였으며, 픽업코일은 참고문헌 [3]을 참고하여 샘플

플 주위에 배열하였다. 그림1과 같이 준비된 샘플의 자화손실특성 평가를 위해 사용된 실험장치는 그림2에 나타내었다.

표 1 Bi-2223테이프의 사양
Table 1 Specifications of Bi-2223 tapes

테이프A	폭×두께	4.1×0.21 mm ²
	조성	Bi-2223(38)/Ag(40)/AgMg(22)
	필라멘트 폭×두께	150~300×7~15 μm^2
	트위스트피치	∞
	필라멘트 수	55
	코아 폭×두께	3.9×0.15 mm ²
임계전류(I _c)		130 A (at 77 K)
테이프B	폭×두께	3.88×0.26~0.32 mm ²
	조성	Bi-2223(25)/AgMgNi(75)
	필라멘트 폭×두께	170~420×15~55 μm^2
	트위스트피치	∞
	필라멘트 수	37
	코아 폭×두께	3.7×0.21~0.3 mm ²
임계전류(I _c)		28 A (at 77 K)

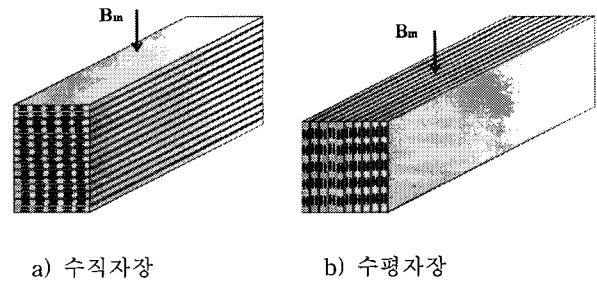


그림 1 적층 Bi-2223도체 샘플.
Fig. 1 Stacked Bi-2223 conductor sample.

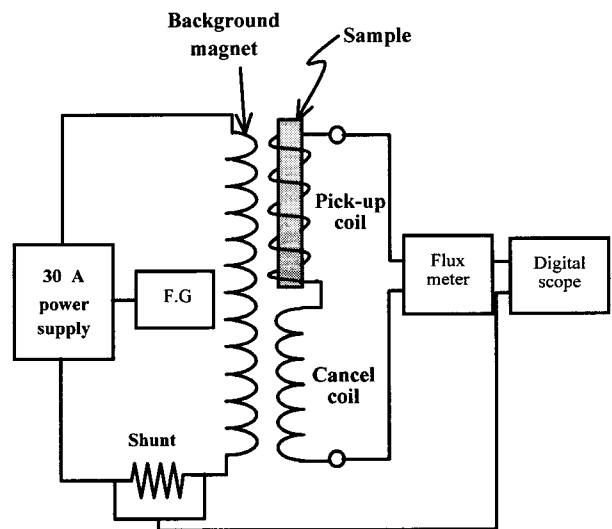


그림 2 실험장치의 개략도.
Fig. 2 Schematic of the experimental setup.

그림2에서 외부자장 발생용 철심자석(공극이 45 mm×175 mm×10 mm, 자석상수는 10.7 mT/A)을 여자하기 위해서는 30 A, 50 V 전원을 사용하였으며, 역극성으로 접속된 픽업코일 및 상쇄코일 양단의 전압을 자속계(fluxmeter)로 적분하여 자화곡선을 측정하였다. 또한 샘플의 자화손실과는 전혀 무관한 자석으로부터 인가되는 외부자장 및 이와 동상인 자화(M)의 성분은 액체질소 중에서 상쇄코일을 이용하여 상쇄시켰으며(이를 저온상쇄법)[3], 모든 실험은 77 K에서 수행되었다.

4. 실험 결과 및 검토

그림3에는 테이프면에 수직 또는 수평 방향으로 100 mT의 자장을 인가한 상태에서 저온상쇄법으로 측정된 15본 Bi-2223도체의 자화곡선을 나타내었다. 그림3에서 자화자속 밀도($\mu_0 M$)는 Bi-2223테이프의 코아에 대해 평균한 자속밀도를 나타낸다.

그림3으로부터 수직자장에 대한 자화자속밀도의 피크치는 수평자장보다 약 10배정도 큰 것을 볼 수 있고, 이와 같은 결과는 다른 연구보고에서도 잘 알려져 있다[8].

그림4에는 최근 상용화에 성공함으로써 케이블 및 변압기 등의 응용에서 귀중한 데이터로 사료되는 100 A/mm²급 Bi-2223테이프에 전류를 흘리지 않은 상태에서 테이프 면에 평행한 자장을 인가할 때 측정된 자화손실특성을 나타내었다. 그림4에서 단위체적 당 자화손실은 코아의 단위체적으로 나타내었으며, ●, ▲, ■ 및 ◆는 외부자장의 주파수를 5 Hz, 10 Hz, 50 Hz 및 100 Hz로 하였을 때 측정된 자화손실을 나타내었다. 또한 실선은 slab모델로부터 계산된 자화손실을 나타내며, 그림4에서 자화손실 계산 시 중요한 파라미터인 slab의 두께는 코아의 두께를 사용하였으며, 임계전류밀도의 결정에서는 코아의 단면적을 각각 사용하였으며, 이로부터 계산된 완전침투자장은 약 20 mT였다.

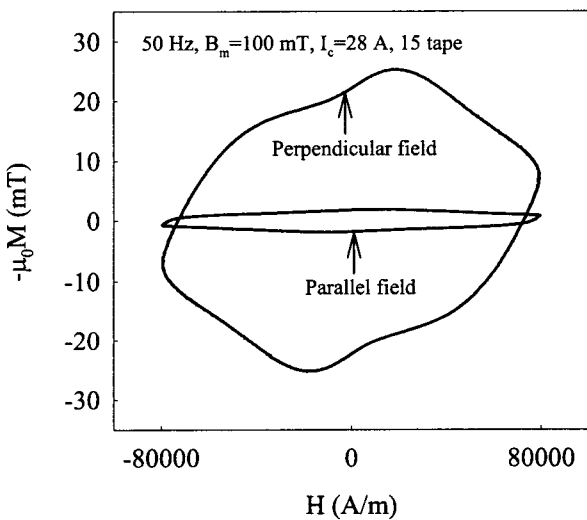


그림 3 저온상쇄법에 의한 적층 Bi-2223도체의 자화곡선.
Fig. 3 Magnetization curves of the stacked Bi-2223 conductor by a cryogenic temperature cancellation at 50 Hz.

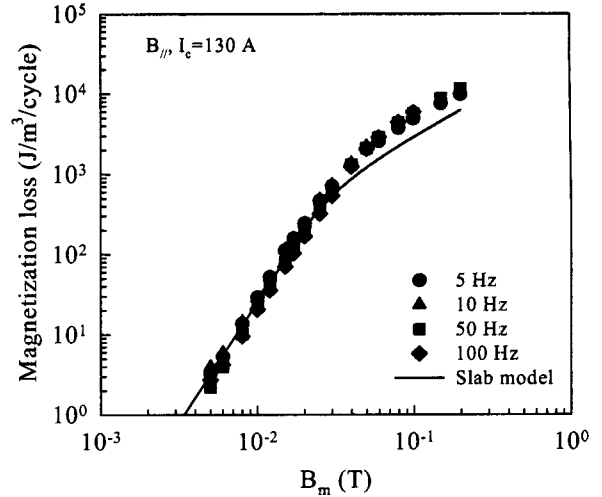


그림 4 1본 Bi-2223테이프 자화손실의 주파수 의존성.
Fig. 4 Frequency dependency of the magnetization losses in the single Bi-2223 tape.

그림4로부터 Bi-2223테이프의 자화손실은 주파수에는 거의 무관하며, slab모델로부터 계산된 자화손실과도 비교적 잘 일치함을 볼 수 있다. 이는 Bi-2223테이프의 자화손실 메카니즘은 히스테리시스손실이 지배적임과 Bi-2223테이프의 필라멘트가 외형적으로는 분리된 것처럼 보여도 자기적으로는 완전히 결합(fully coupled)되어있음을 의미한다. 따라서 Bi-2223테이프의 자화손실을 저감시키기 위해서는 무엇보다도 우선하여 각각의 필라멘트사이를 자기적으로 비결합된(decoupled) 상태가 되도록 Bi-2223테이프를 설계·제작해야 할 필요성이 있다.

그림5에는 외부자장의 방향에 대한 Bi-2223테이프의 자화손실특성을 나타내었다. 그림5에서 ● 및 ▲는 외부자장의 방향을 수직 및 수평으로 하였을 때 측정된 자화손실을, 실

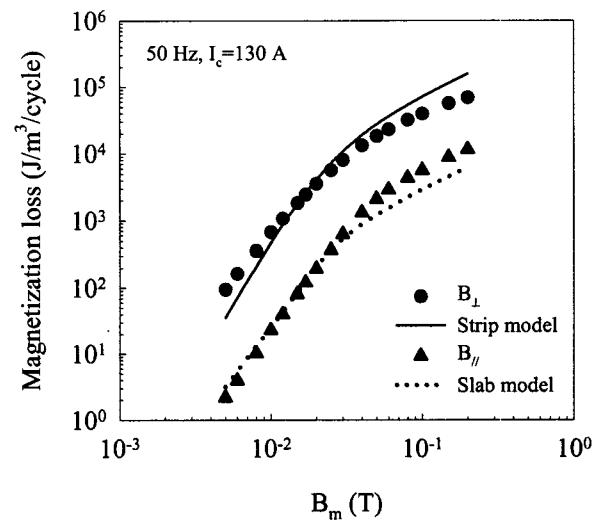


그림 5 1본 Bi-2223테이프 자화손실의 자장방향 의존성.
Fig. 5 Field orientation dependency of the magnetization losses in the single Bi-2223 tape.

선은 수직자장에 대하여 strip모델로부터 계산된 자화손실을, 점선은 수평자장에 대하여 slab모델로부터 계산된 자화손실을 각각 나타내었다. 그림5에서 각각의 모델로부터 자화손실을 계산할 때, 코아의 폭 및 두께를 각각 사용하였다.

그림5로부터 Bi-2223테이프의 자화손실특성은 자장방향에 대단히 의존하는 것을 볼 수 있고, 전 영역에서 수직자장에 대해 측정된 자화손실은 수평자장에 대한 손실보다 약 10배 이상 큰 것을 볼 수 있다. 또한 수직자장에 대해 측정된 자화손실은 strip모델로부터 계산된 손실과, 그리고 수평자장에 대해 측정된 자화손실은 slab모델로부터 계산된 손실과 비교적 잘 일치하는 것으로 볼 수 있으며, 이는 Bi-2223테이프의 자화손실 메커니즘이 그림4의 결과에서와 마찬가지로 히스테리시스손실이 지배적임을 의미한다.

그림6에는 초전도응용시스템의 장점 중 하나인 소형·경량화에 크게 영향을 미치는 임계전류밀도가 Bi-2223테이프의 자화손실특성에 미치는 영향에 대해 측정된 결과를 나타내었다. 그림 6에서 ● 및 ▲는 테이프 임계전류밀도가 222 A/mm² 및 30 A/mm²일 때 측정된 자화손실을, 실선 및 점선은 각각의 테이프에 대해 slab모델로부터 계산된 손실을 각각 나타낸다. 그림6에서도 slab모델로부터 자화손실을 계산할 때는 그림4에서와 같은 조건으로 계산하였다.

그림6으로부터 낮은 자장에서 운전되는 전력 케이블의 경우는 임계전류밀도가 커질수록 소형·경량화측면에서 뿐만 아니라 자화손실도 오히려 작아져 좋은 반면 비교적 높은 자장에서 운전되는 변압기의 경우는 테이프의 임계전류밀도가 커짐에 따라 자화손실도 비례하여 증가하기 때문에 시스템 효율측면에서 좋지 못한 영향을 미칠 것으로 사료된다.

그림7에는 적층 Bi-2223도체에 수평자장을 인가할 때, 테이프의 적층 본 수가 자화손실특성에 미치는 영향에 대해 측정된 결과를 나타내었다. 그림7에서 ●는 1본 Bi-2223테이프에, ▲는 5본 Bi-2223도체에, ■는 10본 Bi-2223도체에 대하여 측정된 자화손실을 각각 나타낸다.

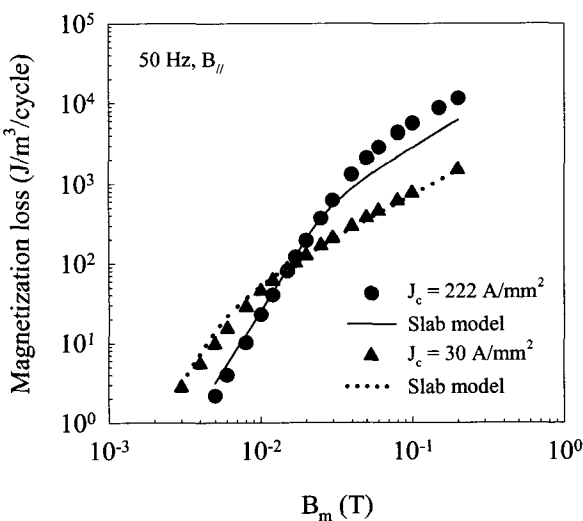


그림 6 1본 Bi-2223테이프 자화손실의 임계전류밀도 의존성.
Fig. 6 Critical current density dependency of the magnetization losses in the single Bi-222s tape.

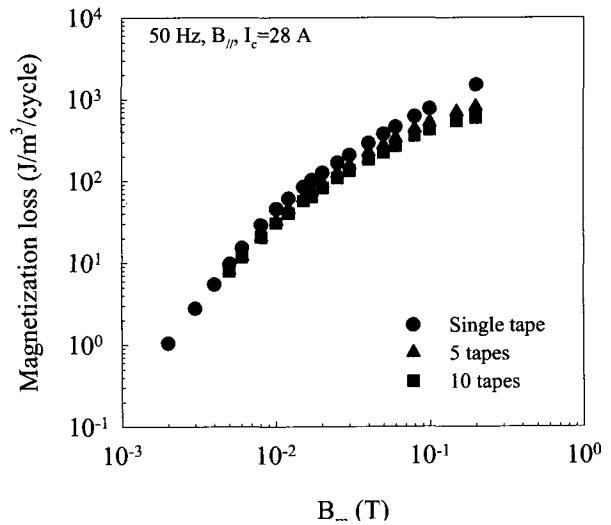


그림 7 적층Bi-2223도체 자화손실의 적층테이프 본수 의존성.
Fig. 7 Stacked tape number dependency of the magnetization losses in the stacked Bi-2223 conductor.

그림7로부터 적층 Bi-2223도체의 자화손실은 높은 자장영역에서 다소간 차이가 있지만 전 영역에 걸쳐 적층 본 수에는 무관하게 1본 Bi-2223테이프의 자화손실특성과 유사함을 볼 수 있고, 이는 적층 Bi-2223도체에 수평자장이 인가될 경우는 인접한 테이프에 흐르는 차폐전류에 의한 상호작용은 무시할 수 있을 정도로 작음을 의미한다.

그림8에는 적층 Bi-2223도체에 전류를 흘리지 않은 상태에서 그림1에서 보는 바와 같이 수직 또는 수평 방향의 자장을 인가했을 때 측정된 자화손실특성을 나타내었다. 그림8에서 ●는 15본 Bi-2223도체에 수직자장을, ▲는 10본 Bi-2223도

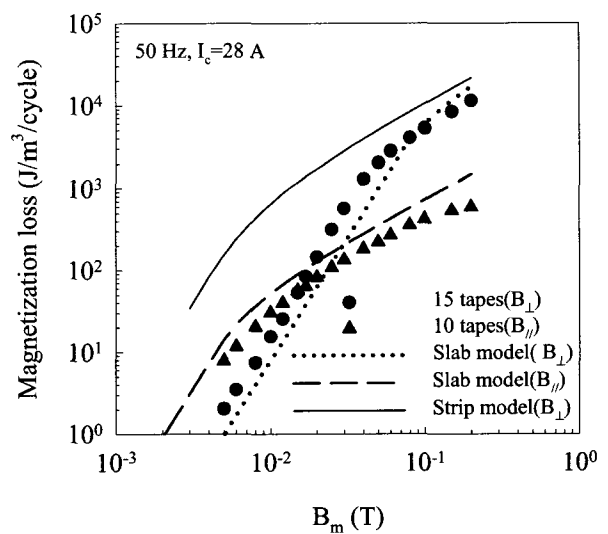


그림 8 적층 Bi-2223도체 자화손실의 자장방향 의존성.
Fig. 8 Field orientation dependency of the magnetization losses in the stacked Bi-2223 conductor.

체에 수평자장을 각각 인가했을 때 측정된 자화손실을 나타낸다. 또한 측정된 자화손실과의 비교·검토를 위하여 계산된 손실도 함께 나타내었다. 그림8에서 실선은 그림5에서와 같이 수직자장에 대해 1본 Bi-2223테이프에 strip모형을 적용하여 계산된 손실을 나타내며, 수평자장이 인가된 적층 Bi-2223도체의 측정된 자화손실특성은 그림7로부터 알 수 있는 바와 같이 테이프의 적층 본 수에는 거의 영향을 받지 않는다는 사실로부터 1본 Bi-2223테이프에 slab모형을 적용하여 계산한 결과를 긴 파선으로 나타내었다. 그리고 수직자장에 대하여 측정된 적층 Bi-2223도체의 자화손실특성을 검토하기 위해서는 그림1의 a)에서 보는 바와 같이 적층 Bi-2223도체 자체를 하나의 slab으로 보아, 적층 Bi-2223도체에 slab모형을 적용하여 계산된 결과를 점선으로 나타내었으며, slab모형 적용 시 slab의 두께는 1본 Bi-2223테이프의 코아의 폭으로 하였다.

그림8로부터 수평자장에 대하여 측정된 적층 Bi-2223도체의 자화손실은 1본 Bi-2223테이프에 slab모형을 적용하여 계산된 손실(긴 파선)과 비교적 잘 일치함을 볼 수 있다. 이는 수평자장에 의해 발생하는 적층 Bi-2223도체의 자화손실을 예측할 때 1본 테이프에 대한 slab모형을 그대로 적용해도 큰 오차가 없을 의미한다. 반면 수직자장에 대해 측정된 적층 Bi-2223도체의 자화손실특성은 그림5에서 보는 바와 같이 1본 Bi-2223테이프의 손실특성과는 매우 상이함을 볼 수 있다. 특히 낮은 자장영역에서는 수직자장에 대하여 측정된 적층 Bi-2223도체의 자화손실이 수평자장에 대한 손실보다도 작아지는 것과, 또한 그림5에서처럼 1본 Bi-2223테이프에 대해 측정된 손실과는 비교적 잘 일치했던 strip모형로부터 계산된 손실(실선)과는 전혀 일치하지 않는 것을 볼 수 있다. 그러나 적층 Bi-2223도체 자체를 하나의 slab으로 보아 계산된 손실(점선)과는 비교적 잘 일치하는 것을 볼 수 있다. 따라서 전력 케이블 및 변압기 등과 같이 수십 본의 Bi-2223테이프를 적층시킨 구조로 된 응용시스템에서 수직자장에 의해 발생하는 자화손실을 예측할 때 적층 도체 자체를 하나의 slab으로 보아 slab모형을 적용해도 큰 오차는 없을 것으로 사료된다.

5. 결 론

본 연구에서는 Bi-2223테이프의 케이블 및 변압기 등의 응용에 앞서 응용시스템에서 Bi-2223테이프의 실제 상황을 고려하여 제작된 적층 Bi-2223도체 구조에 대한 자화손실특성을 조사·검토하였으며, 이상의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 1본 Bi-2223 테이프의 자화손실특성은 외부자장의 방향에는 대단히 의존하며, 수직자장에 대한 자화손실이 수평자장에 대한 자화손실보다 약 10 배 이상 크다. 또한 측정된 자화손실은 테이프의 코아를 slab 또는 strip으로 본 slab모형 및 strip모형로부터 계산된 자화손실과 비교적 잘 일치한다.

- 2) 적층 Bi-2223도체의 자화손실특성은 수평자장이 인가되는 경우는 1본 Bi-2223테이프의 자화손실특성과 거의 동일한 반면 수직자장이 인가되는 경우는 1본 Bi-2223테이프의 자화손실특성과는 매우 상이하다.
- 3) 실험결과와의 비교·검토 결과로부터 케이블 및 변압기 등과 같이 수십 본의 Bi-2223테이프를 적층시킨 구조로 된 응용시스템에서 자화손실을 예측 할 때, 수평자장이 인가되는 경우는 1본 테이프에 대한 slab모형을, 수직자장이 인가되는 경우는 적층 도체 자체를 하나의 slab으로 본 slab모형을 적용해도 좋을 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구 (과제번호: 2000-2-30200-002-3)지원으로 수행되었음.

참 고 문 헌

- [1] 류경우, 박권배, 차귀수, 최경달, 이지광, 한송엽, “장적 Bi-2223/AgMgNi테이프의 자기자계손실 특성,” 전기학회 논문지, 49B권 4호, pp. 240-245, 2000.
- [2] 류경우, 김창완, 차귀수, “외부교류자장에 대한 Bi-2223테이프의 통전손실 특성,” 전기학회논문지, 50B권 6호, pp. 290-294, 2001.
- [3] 류경우, 한형주, 최병주, 나완수, 주진호, “수평자장에 대한 Bi-2223테이프의 자화손실 특성,” 전기학회논문지, 50B권 4호, pp. 158-162, 2001.
- [4] K. Ryu, K. B. Park and G. Cha, “Effect of the Neighboring Tape’s AC Currents on Transport Current Loss of a Bi-2223 Tape,” *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, vol. 11, no. 1, pp. 2220-2223, 2001.
- [5] M. P. Oomen, J. J. Rabbers, B. T. Haken, J. Rieger, M. Leghissa, “Magnetization Loss in Stacks of High-Tc Superconducting Tapes in a Perpendicular Magnetic Field,” *Physica C 361*, pp. 144-148, 2001.
- [6] K.-H. Muller, C. Andrikidis, H.K. Liu, S.X. Dou, “AC hysteresis losses in monofilamentary Pb-Bi-Sr-Ca-Cu-O/Ag tapes,” *Physica C 247*, pp. 74-82, 1995.
- [7] M. P. Oomen, J. Rieger, M. Leghissa, H.H.J. ten Hate, “Magnetic AC Loss in Multi-filamentary Bi-2223/Ag tapes,” *Physica C 290*, pp. 281-290, 1997.
- [8] Masahiro Sugimoto, Akio Kimura, Masanao Mimura Yasuzo Tanaka, Hideo Ishii, Schoichi Honjo, Yoshihiro Iwata, “Electromagnetic Interfilament Coupling of Silver-sheathed Bi-2223 Multifilamentary Tapes in Transverse AC Magnetic Fields,” *Physica C 279*, pp. 225-232, 1997.

저 자 소 개



류 경 우(柳 炘 佑)

1962년 2월 10일생. 1983년 인하대 전기공학과 졸업. 1985년 서울대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1995년 일본 Yokohama National Univ. 전자정보공학과 졸업(공학박사). 1986년~1995년 한국전기연구소 초전도응용 연구사업팀 선임연구원. 1996년~현재 전남

대학교 전기공학과 부교수.

Tel : 062-530-1748, Fax : 062-530-1749

E-mail : kwryu@chonnam.ac.kr



나 완 수(羅 浣 洙)

1962년 6월 14일생. 1984년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1986년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학석사). 1991년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1991년~1993년 미국 Superconducting Super Collider lab. Guest Collaborator. 1991년~1995년 한국전기연구소 초전도응용연구사업팀 선임연구원. 1995년~현재 성균관

대학교 전기전자 컴퓨터 공학부 부교수

Tel : (031)290-7136, Fax : (031)290-7179

E-mail : Wsnah@yurim.skku.ac.kr



한 형 주(韓 亨 周)

1974년 12월 1일생. 2000년 호남대 전기공학과 졸업. 2002년 전남대 대학원 전기공학과 졸업(석사).

Tel : 062-530-0748, Fax : 062-530-1749

E-mail: iambear@kebi.com



주 진 호(朱 鎭 皓)

1961년 12월 6일생. 1984년 성균관대학교 금속공학과 졸업(학사). 1986년 웨인 주립대학교 금속공학과 졸업(석사). 1993년 미국 일리노이공대 금속재료공학과 졸업(박사). 1995년 동대학원 연구원 및 아르곤 국립연

구소 객원연구원. 1995년~현재 성균관대학교 금속재료공학부 부교수

Tel : 031-290-7358, Fax : 031-290-7371

E-mail : jinho@skku.ac.kr



최 병 주(崔 炳 柱)

1958년 12월 12일생. 1981년 영남대 전기공학과 졸업. 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 일본 Kyushu Univ.(九州大學) 공학연구과 졸업(공학박사). 1983년~1986년 현대중전기연구소 연구원. 1986년~1996년 한국전기연구소 전력기기연구부, 초전도응용

연구사업팀 선임연구원. 1997년~현재 서라벌대학 전기전자 전산계열 조교수

Tel : 054-770-3703, Fax : 054-741-5429

E-mail : bjchoi@sorabol.ac.kr