

Bi-2223테이프의 교류손실 평가장치 개발

김현준^{*}, 류경우^{*}, 최병주^{**}, 황시돌^{***}
^{*}전남대학교, ^{**}서라벌대학, ^{***}한전 전력연구원

AC Loss Test Setup Development of a Single Bi-2223 Tape

Hyun-Jun Kim^{*}, Kyung-Woo Ryu^{*}, Byung-Ju Choi^{**}, Si-Dole Hwang^{***}
^{*}Chonnam National University, ^{**}Sorabol College, ^{***}Kepri

hjoonk77@moiza.chonnam.ac.kr

Abstract - In this work the AC loss measurement setup based on an iron core background magnet, not used in a conventional one, has been successfully developed. To prove its validity, a round-robin test for the same Bi-2223 tape sample among three institutes has been done. The results show that test data from the developed setup well agree with losses measured at different institutes.

1. 서 론

초전도체의 교류손실 평가방법에는 크게 전기적 방법과 열적 방법이 있으며, 본 연구에서는 많은 장점이 있음에도 불구하고 외부자장용 자석으로서 일반적으로 이용되고 있지 않은 철심자석을 사용하여 교류손실 평가장치를 개발하여 이에 대해 검토를 하였다.

2. 평가 방법

일반적으로 Bi-2223테이프의 교류손실을 평가하는 방법으로는 전기적 방법과 열적 방법 들 수 있으며 이들은 각각 장단점을 갖고 있다.

2.1 자기자계손실

자기자계손실 평가를 위해서는 앞서 언급한 두 가지 방법(전기적 및 열적 방법) 모두를 택하였다.

먼저 두 기관(CNU: 전남대 및 YNU: 일본 요코하마국립대)에서는 전기적 방법으로 손실을 평가하였고, 전기적 방법에 의한 자기자계손실 (Q_{self} J/m·cycle)은 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q_{self} = \oint i v d t / l \quad (1)$$

여기서 i 는 통전전류(정현파)를, l 은 전압리드 양

단 사이 길이를, v 는 전압리드 양단 사이에서 측정된 전압으로서 통전전류와 90도 위상이 상이한 불필요한 유도성 전압을 어떻게 잘 상쇄시키느냐에 따라서 평가결과의 신뢰성이 크게 달라진다는 점에 특히 주의를 요한다.

한편 KBSI(기초과학지원연구원)에서는 상기 두 기관과는 달리 열적 방법을 택하여 손실을 평가하였고, 열적 방법에 의한 자기자계손실 (Q_{self} J/m·cycle)은 식(2)과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q_{self} = \frac{8\alpha\Delta T}{L^2f} \quad (2)$$

여기서 α 는 Bi-2223테이프의 열전도도 (thermal conductance), ΔT 는 테이프 중앙부와 양단에서 측정된 온도의 차, L 은 테이프 양단 사이 길이, f 는 통전전류의 주파수를 각각 나타낸다.

2.2 자화손실

자화손실 평가를 위해서는 자기자계손실 평가에서와는 달리 양 기관(CNU 및 YNU)에서 모두 전기적 방법을 택하였으며 이는 다시 여러 가지로 세분될 수 있다.

먼저 CNU의 경우는 자화법을 택하였고, 자화법에 의한 자화손실 (Q J/m³·cycle)은 식(3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q = \oint \mu_0 M d H \quad (3)$$

$$Q = \frac{1}{V_s} \oint_T \oint_S \vec{E} \times \vec{H} \cdot \vec{ds} d t \quad (4)$$

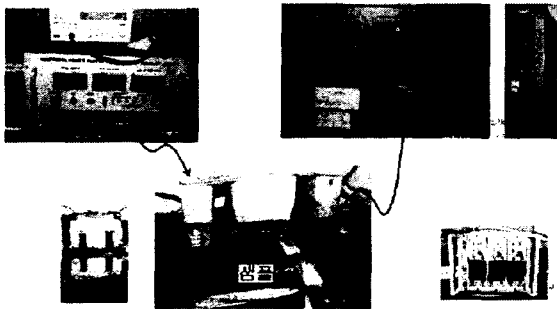
여기서 μ_0 은 진공중의 투자율을, M 은 외부자장에 의해 Bi-2223테이프 내에서 유도된 자화를, H 는 외부 인가자장(정현파)의 세기를 각각 나타내며, 특히 자화의 측정시, 자기자계손실 측정 때와 마찬가지로 외부자장에 의해 유도되는 불필요한 전압은 상쇄코일로 충분히 잘 상쇄하여야 함에 특히 주의를 요한다.

반면 일본 YNU의 경우는 Poynting 벡터법을

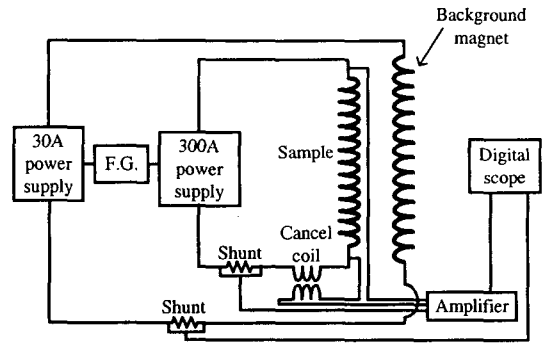
택하였으며, 이 방법에 의해 측정된 자화손실(Q $J/m^3 \cdot cycle$)은 식(4)과 같이 나타낼 수 있다. 여기서 V_s 는 폐곡면(S) 내부에 있는 Bi-2223테이프 체적, \vec{E} 및 \vec{H} 는 폐곡면(S) 상에서 전장 및 자장의 세기를 각각 나타낸다.

3. 평가 장치

그림 1에는 Bi-2223테이프의 교류손실 평가를 위해 개발된 장치 및 그 개략도를 나타내었다. 그림 1에서 보는 바와 같이 평가장치는 크게 전원(30 A/50 V/DC~1 kHz 자석 여자용 전원과 300 A/20 V/DC~1 kHz 샘플 통전용 전원), 자석 및 계측기로 구성되어 있다. 본 연구에서 개발된 교류손실 평가장치에서 특히 주목할만한 것은 자석으로서 일반적으로는 공심(air core)이 널리 이용되어 왔지만 본 장치에서는 기존에서 탈피하여 공심보다 약 10배정도 큰 자석상수(10.7 mT/A)를 갖는 철심을 사용함으로써 자석 여자용 전원의 용량 및 장치사이즈를 소형화시킬 수 있을 뿐만 아니라 상대적으로 쉽게 균일 자장을 발생시킬 수 있어 평가 또한 대단히 용이하게 만들 수 있었다.



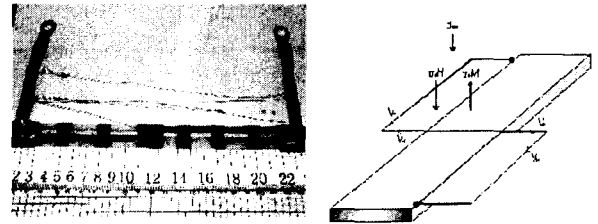
a) 교류손실 평가장치



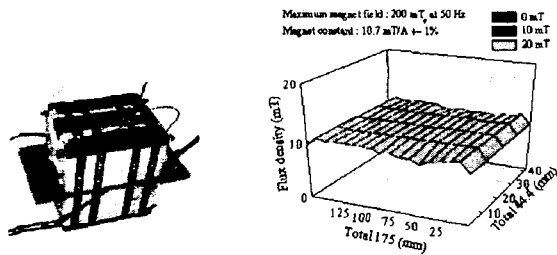
d) 통전손실 평가장치 개략도

Fig. 1. AC loss test setup.

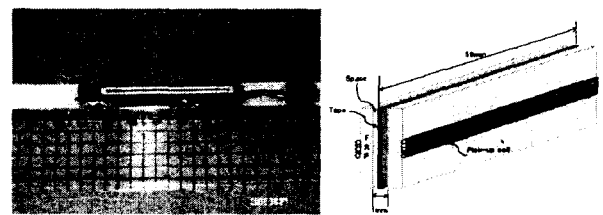
그림 2에는 Bi-2223테이프의 교류손실 평가를 위해 개발된 샘플홀더 및 그 개략도를 나타내었다. a)에는 통전손실 평가를 위한 홀더를, b) 및 c)에는 자화손실 평가를 위한 샘플홀더를 각각 나타내었으며, 특히 그림 2 a)의 샘플홀더는 자체적으로 외부자장에 의해 유도되는 전압뿐만 아니라 외부 자장에 의한 자화(M: magnetization)때문에 발생하는 손실성 전압(자화손실 전압)까지도 완전히 상쇄시킬 수 있도록 고안된 8자형-전압리드(8 shaped voltage lead)를 보유한 샘플홀더이다.[1]



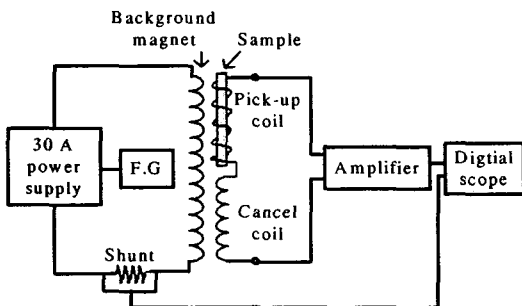
a) 통전손실 평가용



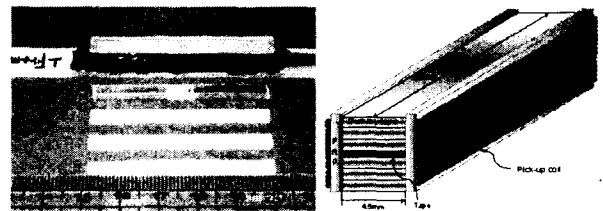
b) 자석 및 자장분포



b) 수평자장에 대한 자화손실 평가용



c) 자화손실 평가장치 개략도



c) 수직자장에 대한 자화손실 평가용

Fig. 2. Test sample holder.

4. 평가 결과 및 검토

본 연구에서 개발된 교류손실 평가장치의 신뢰성 검증에 위해 사용된 Bi-2223테이프의 사양을 표 1에 나타내었다.

자기자계손실 평가를 위하여 먼저 표 1의 길이 1500 mm인 Bi-2223테이프로부터 균등하게 절단한 3조각의 테이프(길이 500 mm)에 대하여 각기 상이한 평가장치 및 평가방법으로 세 기관에서 평가를 하였으며, 그 결과를 그림 3에 나타내었다. 그림 3의 결과로부터 보는 바와 같이 각각의 세 기관에서 측정된 자기자계손실은 장치 및 방법이 상이함에도 불구하고 비교적 잘 일치하는 것을 알 수 있으며, 이는 본 연구에서 개발된 평가장치의 신뢰성이 충분함을 의미한다.

또한 자화손실 평가를 위한 Bi-2223테이프 길이는 CNU의 경우는 참고문헌[2]에 근거하여 50 mm로 해왔고, 일본의 YNU의 경우도 동일 길이의 Bi-2223테이프에 대해 평가를 해왔기 때문에 양 기관 모두 샘플길이는 50 mm로 동일하게 하여 자기자계손실 평가 때처럼 각기 상이한 장치 및 평가방법으로 양 기관에서 평가를 하였으며, 그 결과를 그림 4에 나타내었다. 그림 4의 a) 및 b)는 테이프 면에 수평 및 수직인 자장에 대하여 측정된 자화손실을 각각 나타내며, 그림 4의 결과로부터 보는 바와 같이 상이한 양 기관에서

Table 1. Specifications of a Bi-2223 tape

Bi-2223/Ag/AgMgNi	27%/43%/30%
테이프 폭×두께	3.9×0.3 mm ²
코아 폭×두께	3.7×0.26 mm ²
필라멘트 수	37
트위스트피치	∞

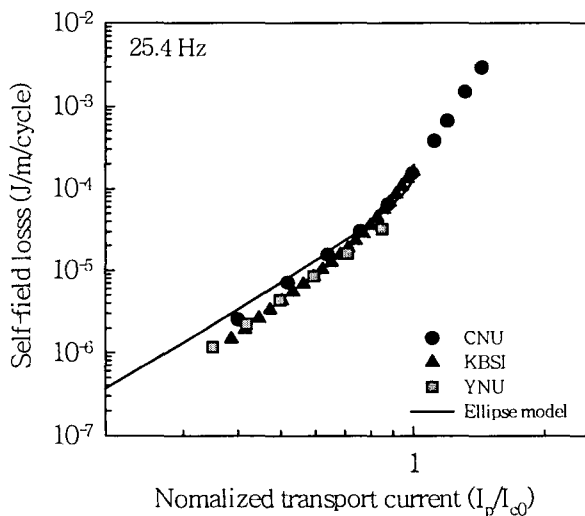
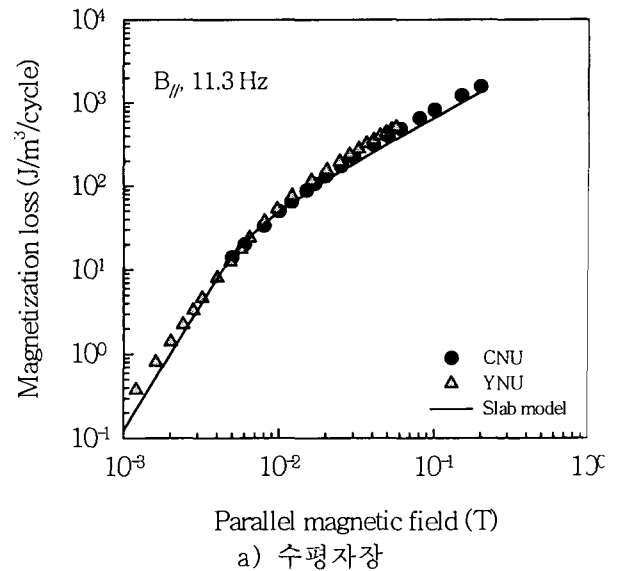
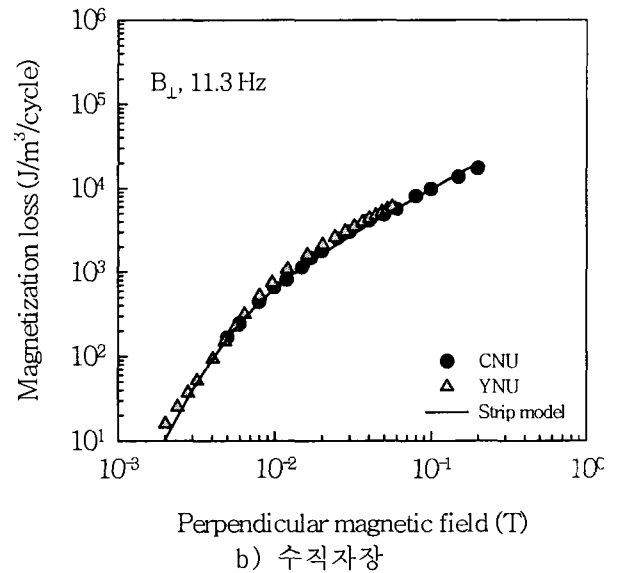


Fig. 3. Self-field losses measured at three different institutes.



a) 수평자장



b) 수직자장

Fig. 4. Magnetization losses measured at both institutes.

측정된 자화손실도 자기자계손실과 마찬가지로 장치 및 방법이 상이함에도 불구하고 매우 잘 일치하는 것을 알 수 있다.

이상의 각 기관에서 상이한 평가장치 및 평가방법으로 측정된 교류손실 비교 결과로부터 본 연구에서 개발된 평가장치의 신뢰성은 충분히 입증되었다고 해도 무리가 아님을 알 수 있다.

5. 결론

이상의 본 연구에서 개발된 교류손실 평가장치와 관련하여 주요 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 현재까지 보편적으로 이용되어 왔던 공심 자석 대신 철심자석을 이용함으로써 평가장치의 소형화가 가능해졌을 뿐만 아니라

여자용 전원용량의 저감을 통한 경제적 이득 효과 또한 얻을 수 있었다.

- 2) 다른 세 기관에서 상이한 평가장치 및 평가방법으로 측정된 교류손실 비교 결과로부터 본 연구에서 개발된 평가장치의 신뢰성 또한 충분히 입증되었다고 할 수 있다.

마지막으로 본 연구에서 개발된 새로운 평가장치에 대한 신뢰성 입증에 위해 협조를 해 주신 양 기관(일본의 YNU 및 KBSI)에 진심으로 감사드립니다.

본 연구는 산업자원부와 한국전력공사의 연구비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

(참 고 문 헌)

- [1] 허대행, 류 경우, 황시돌 “실용 Bi-2223테이프의 동저항 특성”, 2003년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집, B권, pp.786-788, 2003
- [2] 류경우, 김현준, “자장방향이 적층 Bi-2223도체의 자화손실에 미치는 영향”, 전기전자재료학회논문지, 16권, 1호, pp.77-82, 2003.