

Bi-2223테이프의 교류손실에 관한 round-robin테스트 결과

김현준, 류경우, 최병주
전남대학교, 서라벌대학

Round-robin Test Results of AC Losses in a Practical Bi-2223 Tape

Hyun-Jun Kim, Kyung-Woo Ryu, Byoung-Ju Choi
Chonnam National University, Sorabol College

Abstract - 60 Hz의 전력분야에 고온초전도체를 적용하는데 있어 가장 큰 장애요소인 교류손실에 대한 연구의 일환으로서 한·일간의 상이한 시험방법 및 장치에 대한 신뢰성과 정밀도를 상호 확인하기 위해 동일한 샘플 및 동일 시험조건으로 양측에서 round-robin테스트를 하였다. 그 주요 결과는 양측에서 측정된 자화손실은 시험 방법 및 장치의 상이함에도 불구하고 비교적 잘 일치하였다. 이는 자화손실 측정 시, 급기사항으로 되어있는 철심자석의 사용이 문제가 되지 않음을 의미하며, 이는 다시 기존 자화손실 시험장치의 공심자석 및 자석용 전원 설비가 대단히 소형화될 수 있음을 의미한다.

1. 서 론

현재 산화물계열의 고온초전도체로도 최근 수 km길이의 제작이 가능해져, 수 km길이의 선재가 필수적인 전력분야용에도 실제로 적용을 할 수 있는 고온초전도테이프가 생산되고 있는 단계이다. 이와 같은 대표적인 고온초전도테이프인 Bi-2223테이프를 다량 사용해야하는 60 Hz의 초전도전력기에서 발생하는 교류손실은 초전도전력기기의 효율을 저하시킬 뿐만 아니라 냉동기용량을 증가시켜 기존 구리도체와의 경쟁을 어렵게 만드는 주된 요인으로 작용하고 있다. 따라서 이의 실용화에 선행하여 반드시 연구되어야 하지만 구리도체의 ohmic손실과는 달리 초전도체의 교류손실은 기존 전력기기의 철심에서 발생하는 자기적 손실인 관계로 평가가 매우 어려운 실정이다. 한 일례로서 액체헬륨 온도에서 운전되는 MRI, 12인치-실리콘웨이퍼제조장치 및 SMES장치 등에 상용화되어 있는 저온초전도선의 교류손실에 대한 표준 확립을 목적으로 전 세계에서 많은 기관으로 구성된 조직을 통하여 다음과 같은 연구(Versailles Project on Advanced Materials and Standards: VAMAS)가 초전도교류시스템의 실용화에 선행하여 수행된 바가 있다[1]. 1차적으로는 다양한 시험 방법 및 장치(전기적 방법 중 픽업코일법, 홀프로브, VSM법, SQUID법 및 열적방법 등)에 대한 연구가 수행되었고, 이어서 같은 시험샘플에 대하여 동일한 외부자장 및 동일한 시험온도에서 자화손실을 각각의 기관에서 측정하였으며, 그 결과 각 기관에서 측정된 자화손실은 약 20% 정도 이내의 범위 안에서 존재함이 확인되었다.

따라서 본 연구에서도 상기의 저온초전도선에 대한 VAMAS프로그램을 참조하여 본 연구실에서 자체적으로 개발한 교류손실 평가기술에 대한 신뢰성 및 시험결과에 대한 정밀도를 검증하기 위하여 인접한 외국 기관과 공동으로 동일 시험샘플의 자화손실에 대한 round-robin테스트를 수행하였으며, 그 결과에 대해 검토를 하였다.

2. 시험 샘플 및 방법

본 시험에 사용된 고온초전도체는 수 km길이의 생산이 가능하여 기술적으로는 현재에도 초전도전력기기에

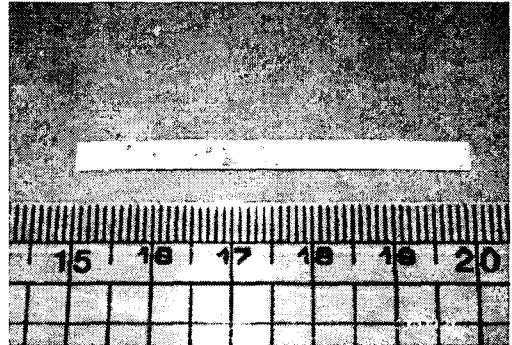


그림 1. 시험 샘플 사진.

표 1 시험 샘플의 주요 사양

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	∞

표 2 시험 방법의 비교 요약

일본측	한국측
$Q = \frac{1}{V_s} \oint_{\tau} \oint_s \vec{E} \times \vec{H} \cdot \vec{ds} dt$	$Q = \oint \mu_0 M dH$
공심 자석	철심 자석
Lock-in amplifier	Direct integration

응용이 가능한 Bi-2223테이프를 그 대상으로 하였으며, 그림 1에는 샘플 사진을, 표 1에는 주요 사양을 각각 나타내었다.

또한 표 2에는 동일한 그림 1의 시험샘플에 대하여 양측에서 사용한 시험방법의 주요한 차이점을 요약하여 나타내었으며, 표 2에서 보는 바와 같이 일본측은 포인팅벡터법 및 외부자장 인가용 자석으로서 공심자석을 사용한 반면 한국측은 자화법 및 철심자석을 사용한 점이 가장 두드러진 특징이라 할 수 있다.

3. 시험 결과 및 검토

그림 2에는 시험샘플에 전류를 흘리지 않은 상태에서 외부자장의 크기, 주파수 및 방향을 달리하여 일본측에서 측정된 자화손실을 나타내었으며, 자화손실은 필라멘트 영역의 단위체적 당의 손실을 나타내고있다.

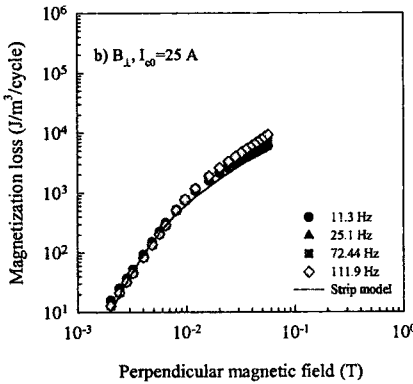
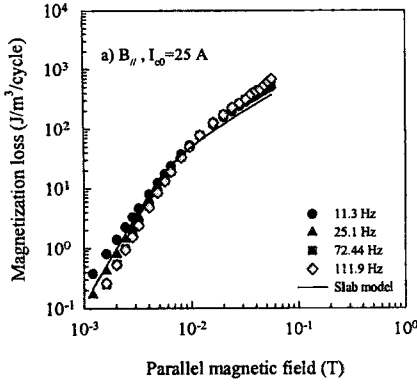


그림 2. 일본측 자화손실 시험 결과.

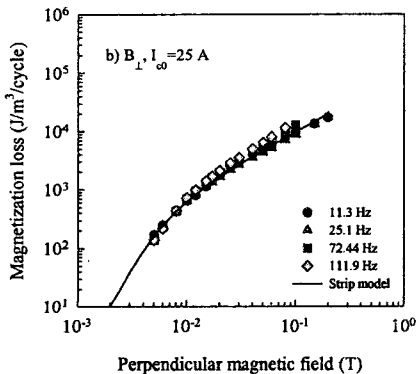
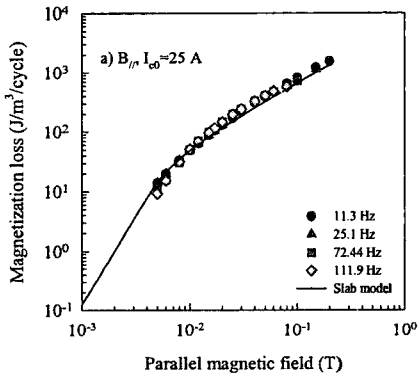


그림 3. 한국측 자화손실 시험 결과.

그림 3에는 그림 2의 시험 조건과 동일한 상태에서 한국측에서 측정된 자화손실을 나타내었다. 그림 2 및 그림 3의 결과로부터 측정된 자화손실은 외부자장의 주파수에 의존하지 않는 반면 외부자장의 세기 및 방향에는 대단히 의존하는 것을 볼 수 있다. 또한 측정된 시험결과와 이론검토를 위해 사용된 Bi-2223테이프의 필라멘트가 배열되어 있는 영역 즉 코어를 하나의 초전도체로 가정한 slab 모델 및 strip 모델에 근거하여 계산된 자화손실과 측정된 손실이 양측 모두에서 잘 일치하는 것을 볼 수 있다[2].

그림 4에는 수평자장에 대하여 외부자장의 주파수가 각각 11.3 Hz 및 111.9 Hz인 경우, 양측에서 측정된 자화손실을, 그림 5에는 수직자장에 대하여 그림 4와 동일한 주파수에서 양측에서 측정된 자화손실을 서로 비교한 결과를 각각 나타내었다. 그림 4 및 그림 5의 결과로부터 양측에서 측정된 자화손실은 표 2에서 지적한 바와 같이 시험 방법 및 장치의 상이함이 있음에도 불구하고 비교적 잘 일치하는 것을 볼 수 있다. 이는 자화손실 측정 시, 일반적으로 샘플에 인가되는 외부자장용 자석으로서는 철심자석을 사용해서는 안 된다는 통념을 깨뜨린 결과로서 신호대비노이즈가 큰 경우에 한해서는 공심자석대신 철심자석을 사용해도 좋음을 의미하며, 이러한 결과는 자석 및 자석용 전원의 소형화로 시험설비에 여러 가지 유리한 점을 제공할 수 있다. 따라서 금번 양측의 동일한 샘플에 대한 round-robin 테스트를 통하여 현재까지 금기사항으로 되어있던 철심자석의 사용 허용은 이제까지의 통념을 타파하는 좋은 국제협력연구의 성과라 할 수 있다.

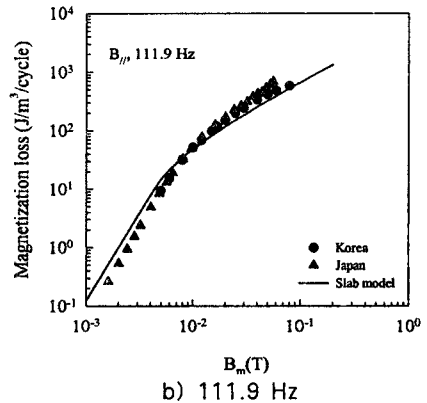
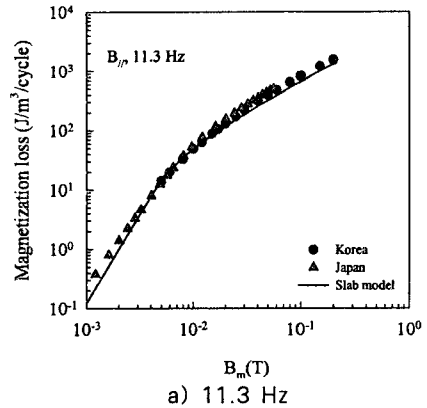


그림 4. 수평자장에 대한 자화손실 비교 결과.

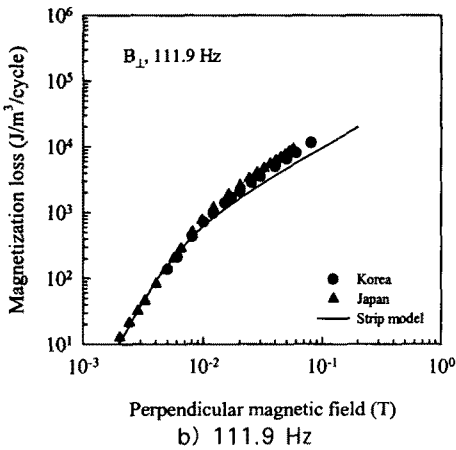
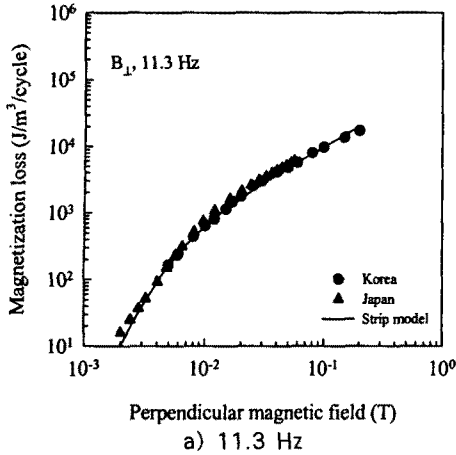


그림 5. 수직자장에 대한 자화손실 비교 결과.

4. 결 론

이상의 동일한 실용 Bi-2223테이프에 대하여 한·일 양측에서 수행한 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 양측 모두에서 측정된 자화손실은 주파수에 의존하지 않는 반면 자장의 세기 및 방향에는 대단히 의존하였으며, 또한 시험결과는 slab모델 및 strip모델에 근거하여 계산된 자화손실과 잘 일치하였다.
- 2) 양측 모두에서 측정된 자화손실은 표 2에서 지적인 바와 같이 시험 방법 및 장치의 상이함에도 불구하고 비교적 잘 일치하였다. 이는 자화손실 측정 시, 금기 사항으로 되어있는 철심자석의 사용이 문제가 되지 않음을 의미한다.
- 3) 마지막으로 금번 한·일간의 round-robin테스트를 통하여 상이한 시험 장치 및 방법에 대한 신뢰성 문제를 단시간에 효율적으로 해결하였다는 점과 양측 시험결과에 대한 정밀도를 상호 확인할 수 있었다는 점을 큰 성과라 할 수 있다.

본 연구는 21세기프론티어연구개발사업인 차세대 초전도용융기술개발 사업단의 연구비지원에 의해 수행되었습니다.

(참 고 문 헌)

- [1] C. Schmidt, K. Itoh and H. Wada. "Second VAMAS a.c. loss measurement intercomparison: a.c. magnetization measurement of hysteresis and coupling losses in NbTi multifilamentary strands," *Cryogenics*, vol. 37, no. 2, pp.77-89, 1997.
- [2] 류경우, 김현준, "자장방향이 적층 Bi-2223도체의 자화손실에 미치는 영향", 전기전자재료학회논문지, 16권, 1호, pp.77-82, 2003.