

고온초전도 혼합적층선재의 외부자장 변화에 따른 손실 특성

임형우, 이동민, 윤기현, 차귀수, 이희준
순천향대학교

Characteristics of AC loss of Hybrid Multi-Stacking with HTS Wires in External Magnetic Field

Hyoungwoo Lim, Dongmin Lee, Kihyun Yun, Guesoo Cha, and Heejoon Lee
Soonchunhyang University

Abstract - AC loss on variation of external magnetic field is a very important factor in development of power applications.

In this paper, we measured and compared AC loss of hybrid-multi stacked wire made of the combination of 1G wires and 2G wires and uniform-multi-stacked wire made of one type of wires, 1G wires or 2G wires. Measurement was performed using by the linked-picked coil method. As results, as the number of wires increase, AC loss per unit volume of both stacked wires in low external magnetic field is reduced. Also AC loss of 2G stacked wire is higher than that of 1G wire. AC loss per unit length of 2G stacked wire is less than that of 1G stacked wire. And AC loss of hybrid- multi stacked wire made of the combination of 1G wires and 2G wires was between uniform-multi- stacked wire made of 1G wires and 2G wires.

1. 서 론

현재 초전도 변압기는 1세대 초전도 선인 BSCCO 선재를 사용하여 연구하고 있으며, 이는 기존의 구리선보다 전류 용량이 높아서 초전도 변압기 및 전력기기의 여러 분야로 응용되고 있다. 또한 최근에 2세대 초전도 선인 YBCO 선재가 개발되었고, 이 선재는 기존의 1세대 초전도선보다 전류 용량이 더 높다. 고온초전도선은 저항이 작아서 손실이 없으므로 에너지 절감에 대한 효과를 가지고 있으나, 교류 전류가 흐를 경우 초전도선에 교번 자장이 가해지게 되어 교류 손실이 발생하게 된다.[1-3]

본 논문에서는 이러한 2세대 선재에 외부 자장이 가해졌을 경우 발생하는 자화에 의한 특성을 실험적으로 확인하였으며, 전류 용량 증가를 위한 방법으로 제시된 적층선재의 특성을 연구하기 위하여 2세대 선재의 적층과 1세대 선재들의 적층시 발생하는 자화손실에 대하여 연구하였으며, 전류 용량이 다르나 선재의 폭이 같은 1세대 선재와 혼합하여 적층 했을 경우 발생하는 자화에 의한 전기적 특성을 연구하였다.

2. 실험 및 측정결과

2.1 실험

본 논문에서는 실험을 위하여 아래의 그림 1과 같이 선재들을 적층하였다. 그림 1은 BSCCO 선재의 적층을 그린 그림이다. 그림 1의 a)는 단일 선재의 그림이며 b), c), d)는 각 선재의 적층 수에 따라 2적층 3적층, 4적층의 그림이다.

그림 2는 외부자장에 의한 YBCO 선재들의 적층에 따른 손실을 측정하기 위한 적층 방법을 그린 그림이다.

적층의 배열은 그림 1의 BSCCO 선재의 적층과 같다.

그림 3은 YBCO와 BSCCO 선재를 혼합하여 적층한 그림이다. 그림 3의 a)는 YBCO 단일 선재와 BSCCO 단일 선재를 혼합하여 하나의 선재와 같이 적층을 한 그림이다. 또한 b), c), d), e)의 그림은 YBCO 선재 2가닥과 BSCCO 선재 2가닥을 이용하여 적층 배열을 달리 해가며 측정을 하기 위한 적층배열을 나타낸 그림이다.

표 1은 실험에 사용한 BSCCO 선재와 YBCO 선재의 사양이다. 본 실험에 사용한 선재의 특징은 YBCO 선재에서 YBCO 층과 Ni-W 층을 중심으로 위와 아래에 안정화 층으로 Cu 층이 있다는 점이다. 기존의 YBCO 선재는 Ag 층으로 되어 있으나 본 실험에 사용한 선재는 Cu 층을 사용하였다.

그림 4는 고온 초전도 선재들의 자화손실 측정을 위한 측정 회로도이다. 자화 손실을 측정하는 방법에는 Rectangular-coil, saddle-shaped-coil, Linked-pickup-coil 등이 있으며, 본 연구에 사용한 측정 방법에는 Linked-pickup-coil 방법을 사용하였다.[4]

고온초전도선재의 자화손실은 균일한 외부자장에 고온초전도선재의 샘플에 인가할 때 발생하는 에너지의 유출입으로부터 얻을 수 있으므로 1주기 당, 단위길이 당 자화손실은 식(1)과 같이 표현 할 수 있다. 식(1)에서, E 는 샘플을 따라 발생한 전계, H 는 외부 인가자계의 세기이다.

$$Q_m = \oint_s \vec{E} \times \vec{H} ds \tag{1}$$

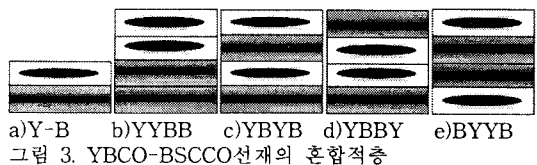
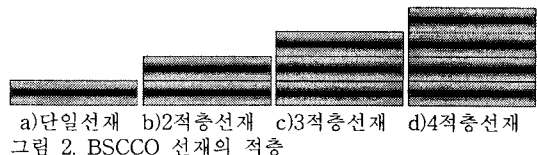
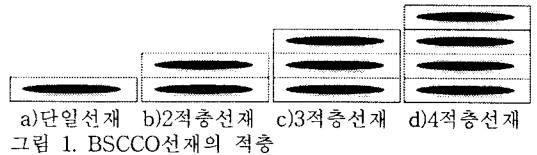


표 1. BSCCO, YBCO 선재의 사양

YBCO Wire		BSCCO Wire	
Thickness	0.2mm	Thickness	0.21mm
Width	4.4mm	Width	4.1mm
Cu-Thickness	50 μ m \times 2	Matrix	Ag Alloy
Ni-W Thickness	75 μ m	Twist	No
YBCO Thickness	1 μ m	Ic	125A(at77K)
Ic	80A(at77K)		

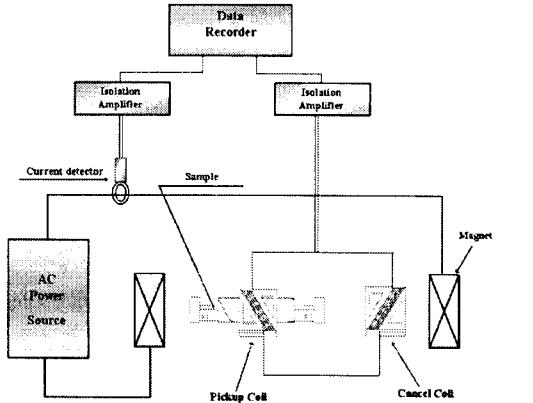


그림 4. 측정 회로도

식(1)을 측정된 전압, 전류 신호로부터 고온초전도선재의 1주기 당, 단위체적 당 자화손실로 표현하면 식(2)을 얻을 수 있다.

$$Q_m = \frac{C_{pk}}{V_s} \frac{1}{T} \int_0^T v(t) i(t) dt \quad (2)$$

위의 식(2)에서, k 는 자장인가용 코일자석의 단위 전류 당 발생 자속밀도를 나타내는 자석상수이고, C_{pk} 는 픽업 코일 보정상수, V_s 는 샘플의 체적이다.

2.2 측정결과

그림 5는 YBCO선재의 적층수에 따른 자화손실 결과이며, 적층수가 증가함에 따라 낮은 자장의 영역에서는 자화손실 값이 감소하였으며, 높은 자장에서는 자화손실 값이 증가하였다. 그림 6은 외부자장의 크기가 20mT일 경우 110mT일 경우 선재들의 적층수에 따라 자화손실을 비율로 나타낸 것이다. 비율을 적용하기 위한 기준은 YBCO 단일 선재를 기준으로 잡았다. 낮은 자장영역에서 4적층 선재는 단일 선재에 비해 0.006%였으며 높은 자장에서는 130%로 높았다.

그림 7은 BSCCO선재의 단위 체적당의 손실 결과이며, 그림 8은 BSCCO선재의 적층 및 자장의 세기에 따른 손실 비율이다. 손실의 경향은 YBCO선재와 비슷하나 크기가 YBCO선재보다 작다. 그림 5과 그림 7을 비교해 보았을 때 YBCO선재는 곡선이 급격히 변하는 것이 잘 나타나 있고, BSCCO선재는 대체로 완만한 곡선의 기울기로 나타 난다. 이러한 이유는 선재의 두께가 매우 얇고 임계전류 밀도 차이가 크므로 인해 자장이 선재 내부에 침투하는 정도가 다르기 때문이다. 또한 적층수에 따라 곡선의 기울기가 변화하는 부분은 다른 것은 적층수가 증가할수록 초전도선재의 완전 침투 영역이 높은 자장의 영역으로 이동한다는 것을 의미한다.

그림 9와 그림 10은 YBCO, BSCCO선재의 단일

및 4적층일 경우에 단위 길이당의 자화손실과 손실 비율이다. YBCO선재의 손실이 BSCCO선재의 손실 보다 작다.

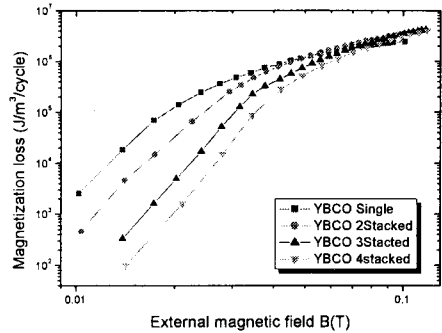


그림 5. YBCO선재의 적층수에 따른 자화손실

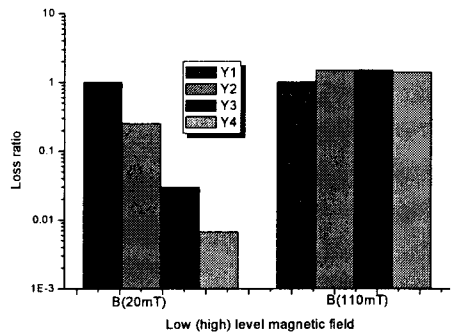


그림 6. YBCO선재의 적층수와 자장과 따른 손실비율

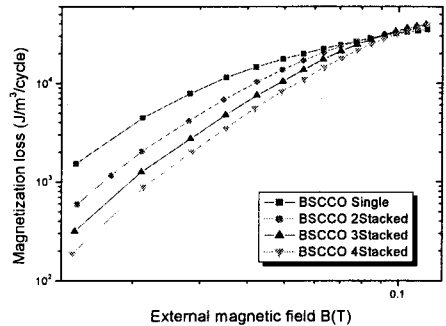


그림 7. BSCCO선재의 적층수에 따른 자화손실

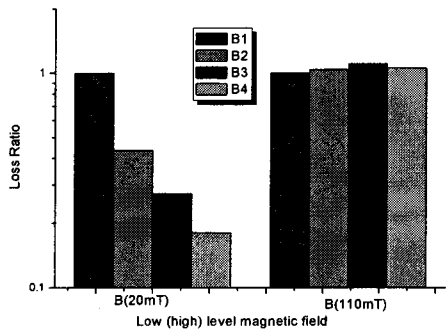


그림 8. BSCCO선재의 적층수와 자장과 따른 손실비율

그림 11과 그림 12는 혼합 적층을 했을 경우 발생하는 자화손실과 그에 따른 단위 길이당의 손실 비율이다. 이 그림에서 YBCO 4적층 선재를 기준으로 비교해 보았을 경우 BSCCO 선재는 YBCO 선재보다 100배 가까이 손실이 컸으며 혼합 선재의 자화손실은 BSCCO, YBCO 4적층 선재들의 손실 사이로 나타났다.

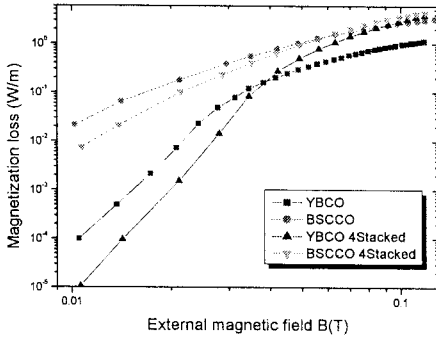


그림 9. YBCO, BSCCO단일 및 4적층 선재의 자화손실

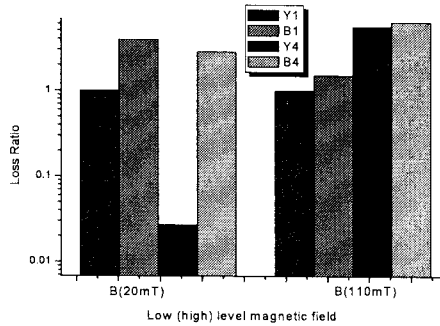


그림 10. YBCO, BSCCO단일 및 4적층 선재의 자화손실 비율

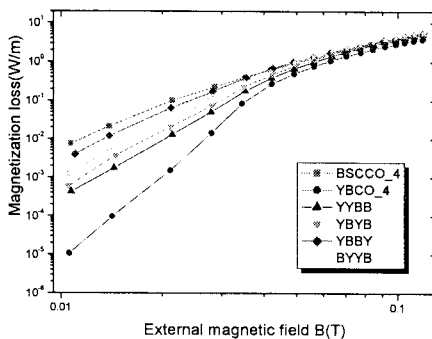


그림 11. 혼합 적층 선재의 자화손실

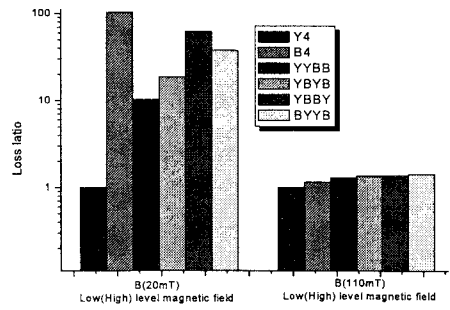


그림 12. 혼합 적층 선재의 자화손실 비율

3. 결 론

본 논문에서는 BSCCO선재와 YBCO선재의 단일 및 적층에 따른 자화손실을 측정하여 비교하였다. 그 결과 단위체적에서 발생하는 손실을 비교해 보았을 때 YBCO 선재의 손실이 BSCCO선재의 손실보다 컸으며, 단위 길이로 비교해 보았을 경우 YBCO선재의 손실이 BSCCO 선재의 손실보다 작았다.

YBCO선재와 BSCCO선재의 혼합 적층에서는 낮은 자장과 높은 자장 모두 YBCO선재들만의 적층이 다른 적층선재들에서 발생하는 자화손실 값보다 작았으며, 높은 자장에서는 손실 값의 결과들이 대체로 비슷하였다. 또한 혼합 적층 선재들은 YBCO선재들의 적층과 BSCCO선재들만의 적층에 의한 손실값들의 사이에 분포하였다.

본 논문은 과학기술부의 (R01-2006-000-10499-0)의 지원을 받아 수행하였습니다.

[참 고 문 헌]

- [1] G. Snitchler, B. Gamble and S. S. Kalsi, "The performance of a 5MW high temperature superconductor ship propulsion motor," IEEE Trans. on Appl. Super., Vol. 15, no. 2, pp. 2206-2209, 2005.
- [2] J. J. Rabbers, B. ten Haken and H. H. ten Kate, "Advanced as loss measurement methods for high-temperature superconducting tapes," Review of Scientific Instruments, Vol. 72, no. 5, pp. 2365-2373, 2001.
- [3] M. Iwakuma et al., "AC Loss Properties of YBCO Superconducting Tapes Exposed to External AC magnetic Field," IEEE Trans. on Appl. Super., Vol. 15, no. 2, pp. 1562-1565, 2005.
- [4] Z. Jiang and N. Amemiya, "An experimental method for AC loss measurement of high Tc superconductors," Supercon. Sci. Technol., Vol. 17, pp. 371-379, 2004.