

고온초전도체에 의한 교류자장 차폐효과

김성훈, 김우석, 한송엽, *최경달, *주형길, *홍계원
 서울대학교 전기·컴퓨터 공학부, *한국산업기술대학교 에너지 대학원

Shield of AC magnetic field using High Temperature Superconductor

Sung-Hoon Kim, Woo-Seok Kim, Song-yop Hahn,
 *Kyeong-Dal Choi, *Hyeong-Gil Joo, and *Gye-Won Hong
 School of Electrical Engineering and Computer Science, Seoul National University,
 *Graduate School of Energy, Korea Polytechnic University

Abstract - In this paper, we proposed a method to shield perpendicular magnetic fields in high Tc superconductor(HTS) tape of a shell-type HTS transformer with double pancake windings. A diamagnetism of characteristics of superconductor is used to shield magnetic field. For a shielding experiment, a proper shielding model is chosen, and several kinds of HTS are used such as a monofilament HTS tape, two kinds of multifilament HTS tapes and YBCO film disk. The effect of shielding for the perpendicular magnetic field is measured with HTSs for shielding and their utility for shielding is proved.

1. 서 론

고온초전도선재 성능의 비약적인 발전에 힘입어 고온초전도선재를 이용한 여러 가지 전력기기의 개발이 국내·외에서 활발히 연구되어 지고 있다. 이런 전력기에 사용되는 고온초전도선재는 자계의 방향에 따라 비등방성 임계전류 특성을 가진다. 이러한 고온초전도선재의 임계전류 특성은 외부자계의 영향을 크게 받으며, 이는 초전도선에 흘릴 수 있는 전류를 제한함으로써 고온초전도선재를 사용하는 전력용용기기의 설계에 있어서 중요한 변수로 작용하고 있다. 따라서 고온초전도선재를 이용하는 전력기기의 설계에서는 고온초전도선재에 가해지는 외부자계의 영향을 감소시키는 방향으로 연구되어 지고 있다[1].

본 논문은 21C 프론티어 연구개발 사업인 차세대 초전도용용기술 개발사업의 하나인 중·소규모 배전용 초전도변압기의 개발과제에서 고온초전도변압기의 권선부를 고온초전도선재를 이용한 더블팬케이크형태로 설계시 [2], 테이프 형상을 하고 있는 고온초전도선재에 수직방향으로 가해지는 자기장을 감소시키기 위한 방법으로 고온초전도체를 사용하는 방법을 제안하였다. 그리고 제안된 방법을 이용해서 고온초전도체에 수직방향으로 인가되는 자기장의 감소효과를 실험을 통해서 확인할 수 있었다. 그리고 이러한 차폐실험을 통해서 고온초전도체에 의한 직류 및 교류자기장 차폐효과의 효용성을 보였다.

2. 본 론

2.1 수직 자기장 차폐

팬케이크 권선을 가진 고온초전도변압기에서는 권선에 사용된 고온초전도선재에 수직으로 가해지는 자기장이 수평으로 가해지는 자기장에 비해 고온초전도선재의 임계전류를 많이 감소시킨다.

그러므로 본 논문에서는 선재에 수직방향으로 가해지는 자기장을 감소시키기 위한 하나의 방법으로 고온초전도체의 특성인 반자성 특성을 이용하는 방법을 제안하고

자 한다. 그래서 본 논문에서는 여러 가지 고온초전도체 중에서 고온초전도 박막 그리고 멀티필라멘트 또는 모노필라멘트 고온초전도 선재를 사용함으로써 고온초전도 선재에 수직방향으로 인가되는 자기장을 감소시키기는 방법을 제안하고자 한다.

더블팬케이크 권선을 가지는 고온초전도 변압기에서는 고압측과 저압측에 인접한 곳에서 누설 자기장이 집중된다[3]. 이런 누설 자기장 중 수직성분의 자기장은 테이프 형태의 고온초전도선재의 임계전류특성을 저하시키는 역할을 하기 때문에 고온초전도체를 이용해 이런 수직성분의 자기장을 감소시키는 방법을 그림 1에 나타내었다.

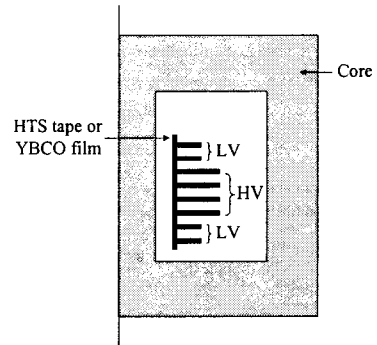


Fig.1. Axial symmetry cross-section of shell-type HTS transformer with double pancake windings.

2.2 수직 자기장 차폐 실험 모델

본 논문에서 제시한 고온초전도체에 의한 차폐효과 실험을 위한 실험모델을 선정하여 그림 2에 나타내었다.

3종류의 고온초전도선재(ASC사, CRYOBICC사의 멀티필라멘트 선재와 국내에서 제작되어진 모노필라멘트 선재)와 디스크형 YBCO 박막(THEVA사)이 차폐용 고온초전도체로서 사용되었으며 표 1에 이들의 사양을 나타내었다.

2.3 수직 자기장 차폐 실험장치 및 전체 구성도

고온초전도체의 차폐 실험장치를 그림 3에 나타내었다. 차폐실험을 위해 사용된 고온초전도선재와 YBCO 박막은 FRP(Fiberglass Reinforced Plastic) 디스크의 아래쪽 면에다 고정을 시켰으며, 차폐용 고온초전도체에 인가되는 외부 자기장(DC, AC)을 만들어 주기 위해서 전자석을 제작하였으며 차폐용 고온초전도체의 반자성 특성으로 인한 수직 방향의 자기장 차폐 효과를 차폐용 고온초전도체로부터의 거리에 따라 측정하였다.

수직 방향의 자기장을 차폐하기 위한 차폐 실험장치의 전체 시스템 구성도를 그림 4에 나타내었다.

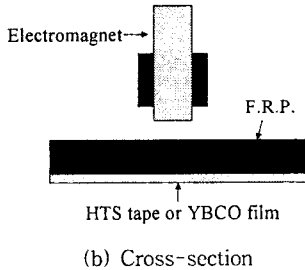
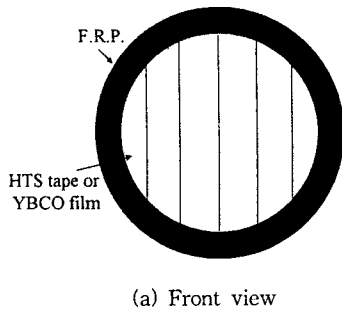


Fig. 2. Proposed experiment model to shield the perpendicular magnetic fields.

Table 1. Specification of BSCCO tapes and YBCO film

		Dimension	Ic (77 K)	No. of Filament
BSCCO	ASC	3.1×0.168 [mm]	62[A]	55
	CRYO-BICC	4.3×0.3 [mm]	25[A]	37
	Mono-filament	31.8×0.6 [mm]	10[A]	1
YBCO Film		φ100[mm] Thickness: 300[nm]	300 [A/m ²]	.

3. 실험 결과

3.1 직류 자기장에 대한 차폐 실험결과

직류 자기장이 인가된 경우에 고온초전도선재와 YBCO 박막에서 차폐되는 수직 자기장의 거리에 대한 차폐효과를 그림 5(a)와 (b)에 각각 나타내었다.

차폐실험에 사용된 ASC사와 CryoBICC사의 멀티필라멘트 고온초전도선재는 3층으로 적층하여 실험을 하였다. 그림 5(a)와 (b)에 나타난 바와 같이 직류 자기장이 인가되는 경우에는 멀티필라멘트와 모노필라멘트 선재에 의한 수직 자기장에 대한 차폐효과가 없는 반면 YBCO 박막을 이용하는 경우에는 고온초전도선재보다는 상당히 큰 차폐효과를 확인할 수 있었다. 직류 자기장에 대한 수직 방향의 자기장 차폐효과와 결과를 표 2에 나타내었다.

3.2 교류 자기장에 대한 차폐 실험결과

교류 자기장이 인가되는 경우에 고온초전도선재와 YBCO 박막에서 차폐되는 교류 수직 자기장 차폐효과를 그림 6(a)와 (b)에 각각 나타내었다. 차폐실험에 사용된 고온초전도선재와 YBCO 박막은 직류 자기장 차폐실험에서 사용된 것과 같은 것을 사용하였다.

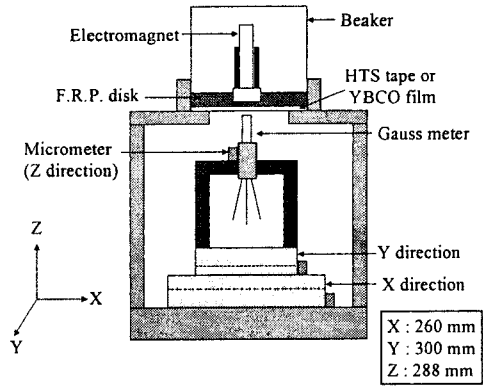


Fig. 3. Schematic drawing of the shield experiment system.

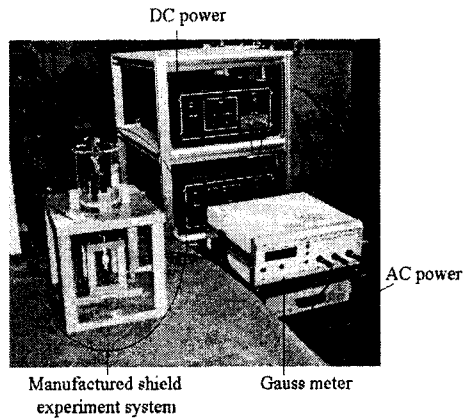


Fig. 4. Configuration of total experiment system.

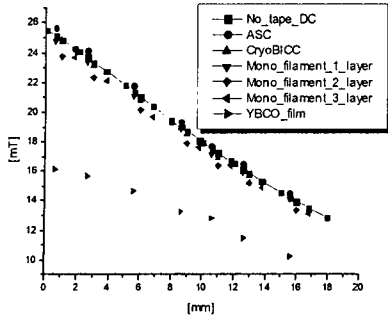
교류 자기장에 대한 수직 방향 자기장 차폐효과와 결과를 표 3에 나타내었다. 교류 자기장의 경우, 고온초전도선재에서 직류 자기장의 경우보다 나은 차폐효과를 확인할 수 있었다. 그리고 YBCO 박막을 사용한 경우에는 직류 자기장의 경우와 마찬가지로 고온초전도선재의 경우보다 월등히 뛰어난 차폐효과를 확인할 수 있었다.

Table 2. Shield degree for maximum DC magnetic field [%]

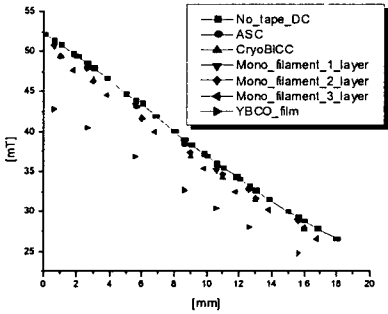
		ASC	Cryo BICC	Mono 1 layer	Mono 2 layer	Mono 3 layer	YBCO film
DC	26 mT	0.2	0.9	1.2	4.4	5.2	35.7
	52 mT	0.8	2.9	1.3	2.9	4.0	16.7
	75 mT	1.7	3.4	1.3	3.1	3.7	10.6

Table 3. Shield degree for maximum AC magnetic field [%]

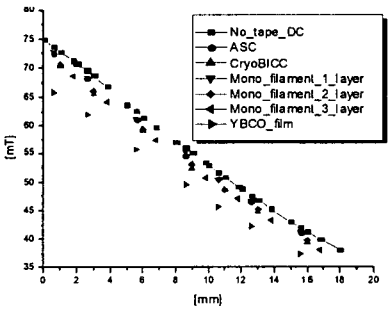
		ASC	Cryo BICC	Mono 1 layer	Mono 2 layer	Mono 3 layer	YBCO film
AC	18 mT	8.9	9.5	9.6	12.8	22.7	59.6
	30 mT	6.9	7.5	9.6	11.8	17.8	28.9
	42 mT	6.5	8.1	6.8	11.9	15.2	17.7



(a) 26 mT



(b) 52 mT



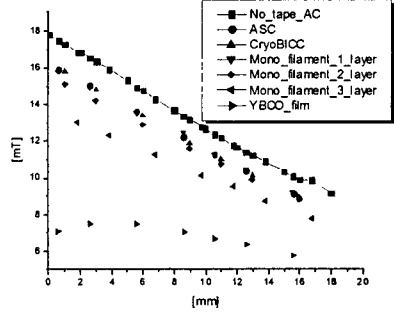
(c) 75 mT

Fig. 5. Magnetic field for shield HTS tapes and YBCO film. Figures on the lines are values according to growing distance when DC magnetic field (a)26mT, (b)52mT and (c)75mT are applied, respectively.

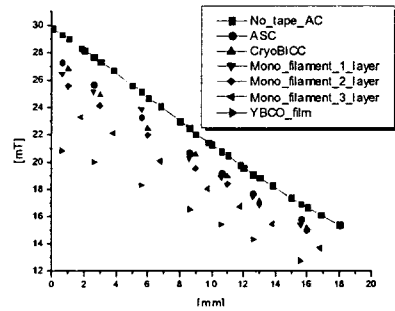
4. 결 론

본 논문에서는 고온초전도선계에 인가되는 수직방향의 자기장을 차폐하기 위한 하나의 방법으로 고온초전도체의 반자성 특성을 이용한 차폐방법을 제안하고 실험을 하였다. 실험에 사용되어진 차폐용 고온초전도체는 3종류의 고온초전도선재와 YBCO 박막이 사용되었다. 따라서, 결론을 요약하면 다음과 같다.

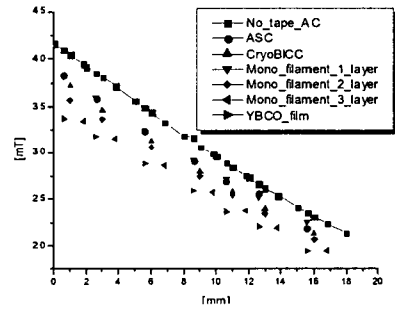
- 1) ASC사와 CryoBICC사의 멀티필라멘트 고온초전도선재는 수직 자기장을 차폐하기에는 부적절하였다.
- 2) 국내에서 제작되어진 모노필라멘트 선재는 직류 자기장보다 교류 자기장에 대한 차폐효과가 더 있었다.
- 3) YBCO 박막의 경우에는 고온초전도선재들보다 직류 및 교류 자기장에 대한 월등히 나은 수직 방향의 자기장 차폐효과를 얻을 수 있었다.



(a) 18 mT



(b) 30 mT



(c) 42 mT

Fig. 6. Magnetic field for shield HTS tapes and YBCO film. Figures on the lines are values according to growing distance when AC magnetic field (a)18mT, (b)30mT and (c)42mT are applied, respectively.

본 연구는 21세기프론티어 연구개발사업인 차세대 초전도응용기술개발 사업단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

(참 고 문 헌)

- [1] Maitham K. Al-Mosawi et al, "The Effect of Flux Diverters on AC Losses of a 10kVA High Temperature Superconducting Demonstrator Transformer," IEEE Trans. Appl. Supercond., vol.11, no. 1, pp.2800-2803, March 2001.
- [2] 김우석, 한송엽, 최경달, 주형길, 홍계원, "1MVA 고온초전도 변압기 개념설계", 한국초전도·저온공학회 학술대회, pp.233-236, 2002.
- [3] 박찬배, 김우석, 한송엽, 최경달, 주형길, 홍계원, "변압기용 권선의 전자기 해석", 한국초전도·저온공학회 학술대회, pp.225-228, 2002.