

BPSCCO 초전도체의 전기 자기적 효과

Electromagnetic Effects of BPSCCO Superconductor

이 상 현
(Sang Heon Lee)

Abstract

The magnetic suspension of a high T_c BiPbSrCaCuO superconductor beneath toroidal permanent magnet was examined by means of an improved magneto-balancing method at 77K. Both the experimental values of the suspending position and the force exerted upon the superconducting specimen were in good agreement with those calculated from the magnetization curve of the specimen and the magnetic field map of the used permanent magnet.

Key Words : magnetic suspension, BiPbSrCaCuO Superconductor, toroidal magnet, magnetization, magnetic field

1. 서 론 1)

1986년 Bednorz 와 Muller 에 의해 산화물 고온 초전도체가 발견된 이래[1] 세계도처에서 산화물 고온 초전도체에 관한 수많은 연구가 수행되어 왔다. 현재까지 여러 종류의 초전도체 재료가 제안되어 왔으나 특히 YBaCuO계 및 BiPbSr-CaCuO계 초전도체는 액체질소 온도이상의 고온에서 초전도상태를 관측할 수 있으며 초전도상태가 비교적 안정되어 실용화에 큰 주목을 받고 있다. 액체질소 온도이상의 고온에서 초전도상태를 관측할 수 있는 것은 다음과 같은 유용한 의

미가 있다. 고가의 장치를 이용한 극저온에서 수행하는 금속계 초전도체와 비교하여 간단한 장치를 사용하면서 많은 실험을 수행할 수 있고, 이와 수반되는 물리현상을 용이하게 관측할 수 있다는 것은 산화물계 고온 초전도체가 갖는 잇점이다. 특히 초전도체는 외부로부터 인가되는 자계를 물질내부로부터 완전히 배제하는 현상인 완전 반자성효과가 널리 알려져 있으며 이 현상을 Meissner 효과라고 한다. 한편 산화물 초전도체가 발견된 이래 영구자석의 하부에 초전도체가 매달리는 흥미 있는 자기적 현상이 발견되었는데 이 현상을 Fishing 효과 또는 Magnetic Suspension 효과라고 하며, 본 연구에서는 이 현상을 자기부양효과라고 명명한다. 자기 부양효과는 P.N.Peter에 의하여 발견되었으며[2], 이 현상은 덩어리형 산화물 초전도체를 응용하기 위한 연구

* 선문대학교 전자정보통신공학부
(충남 아산시 당정면 갈산리 100번지 선문대학교,
Fax :
E-mail : shlee@omega.surmoon.ac.kr)

로 가장 쉽게 응용할 수 있는 분야인 자기 베어링과 플라이휠 에너지 저장장치와 같은 초전도체의 자기력을 응용한 분야에 있어서 중요한 현상으로 인식되고 있다. 본 연구에서는 toroidal형 영구자석에서 발생하는 BiPbSrCaCuO계 초전도체에서 pinning center의 필요성을 명확하게 조사하는 것을 연구의 목적으로 한다.

BiPbSrCaCuO계 초전도체에 pinning center를 도입하는 것을 목적으로 초전도체에 산화은(Ag₂O)을 첨가하였다. 산화은은 초전도체와 반응하지 않으며 초전도체에 첨가되어도 시료의 초전도 특성이 저하되지 않는 물질로 여겨지고 있으므로[8], 본 연구의 목적인 pinning center의 도입에 있어서 적합한 재료로 생각된다. 따라서 본 연구에서는 산화은(Ag₂O)을 첨가한 소결체를 시료로 하였다. 이 시료와 산화은을 첨가하지 않은 초전도체에서 나타나는 자기부양효과를 비교하여 본 연구의 목적인 자기부양효과 발생에 있어서 pinning center의 필요성을 검토하였다.

2. 실험 방법

시편은 99.9% 순도의 Bi₂O₃, PbO, SrCO₃와 CuO 분말을 혼합과 하소의 공정을 포함하는 고상 반응법으로 제조하였다. 저울에서 정량한 분말을 알루미나 막자 사발에서 균일하게 혼합하였다. 재료의 조성은 고온초전도상을 생성하기 용이한 것으로 알려진 Bi : Pb : Sr : Ca : Cu = 1.84 : 0.34 : 1.92 : 2.03 : 3.06을 선택하였다. 혼합된 분말은 840°C에서 24시간 하소하였다. 하소된 분말은 알루미나 막자사발에서 분쇄한 후 1-5wt%은 산화물(Ag₂O)분말과 함께 혼합한 후 원판형 시편을 만들었다. 이 시편들은 830-850°C에서 산소분위기, O₂/Ar=1/13의 분위기에서 100시간 소결하였다. 완성된 시료는 반경 10 mm, 두께 0.1 cm의 흑색 원판형을 하고 있다.

3. 결과 및 고찰

본 연구에서 제작한 BiPbSrCaCuO계 초전도시료에서는 자기부양 효과가 관측되었다. 이 현상은 초전도체가 반자성효과에 의하여 자석 상부에 자기 부상하는 현상과 자기부양 효과에 의해서

BiPbSrCaCuO계 시료가 toroidal 영구자석의 하부에 매달리는 현상을 동시에 나타낸 것이다. 그러나 ring 형태를 취하고 있지 않는 원추형 자석에서는 자기부양 효과가 관측되지 않았다. 본 연구에서 사용하고있는 자석은 ring형태의 toroidal자석이며 자석의 재질은 Nd-Fe-B 이고, 자석의 세기는 0.1T 이다. 다음으로 자기부양 효과의 메커니즘을 규명하기위하여 자기부양 효과의 발생과 밀접하게 관계하고 있는 것으로 사료되는 toroidal 자석과 초전도체 사이에 작용하는 자기 반발력과 흡인력의 관계를 조사하였다.

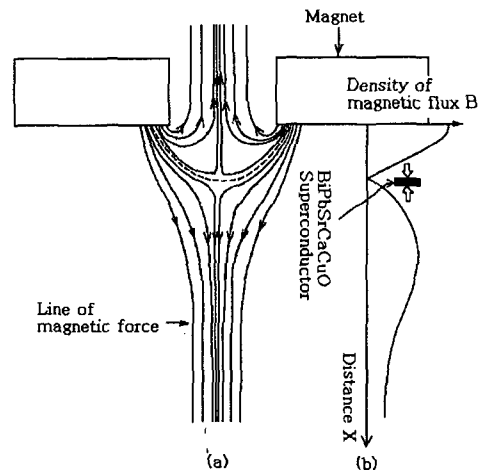


그림 1. 자력선 분포와 자속 밀도 분포

- (a) Toroidal 자석의 중심 부분에서 관측되는 자력선 분포
- (b) 중심축 방향의 자력선 분포와 초전도체에 작용하는 자기력

Fig.1. Distribution of magnetic force line and magnetic flux density in the central region of a toroidal magnet.

- (a) Schematic distribution of the magnetic force line in the central region of a toroidal magnet.
- (b) Distribution of the magnetic flux density on the central axis.

본 연구에서 관측되는 자기부양 효과는 toroidal 자석의 ring부분에서는 발생하지 않으며,

자석의 중심부분에서만 관측된다. 이 결과는 toroidal 자석의 자력선 분포가 반 자성효과 및 자기부양효과에 밀접하게 관계하고 있음을 시사하고 있다.

다음으로 본 연구에서 관측한 자기부양 효과의 발생 메커니즘을 고찰한다. toroidal 자석의 중심부분에서 측정된 자속 밀도로부터 추정되는 자력선 분포를 모식적으로 나타내면 그림1(a)가 된다. 자력선의 방향은 그림에서 표시한 점선을 경계로 하여 아랫 방향의 자력선과 자석의 중심부분으로 들어가는 윗 방향의 자력선으로 나뉘게 된다. 그림1(b)에서는 toroidal 자석의 중심부분에서 관측한 자속 밀도 분포를 나타내었다. 그림1(b)와 같이 불균일한 자속 밀도를 나타내는 toroidal 자석의 하부로부터 약 3mm의 부분, 즉 자속 밀도분포의 기울기가 +와 -로 나뉘어지는 부분에 초전도체가 위치하게 되면 +의 기울기의 영역으로부터는 상방향(초전도체를 위로 밀어 올리는 방향)의 힘을 받게 된다. 한편 -의 기울기 영역에서는 아래 방향(초전도체를 아래로 밀어 내리는 방향)의 힘이 작용 하게 된다. 결과적으로 자석 하부로부터 3mm의 자속 밀도가 0이 되는 부분에 초전도체가 위치하여 자석에 매달리는 자기부양효과가 나타나게 된다.

또한 산화은을 첨가하지 않는 BiPbSrCaCuO계 초전도체와 산화은을 첨가한 시료를 이용하여 자기부양 효과를 측정하여 pinning center의 필요성을 검토하였다. 산화은을 첨가하지 않는 BiPbSrCaCuO계 초전도체의 경우 자기 부양 효과는 액체질소 온도에서는 발생하지 않았다. 그러나 시료의 온도가 상승함에 따라(임계온도이하) 자기 부양 현상이 나타나게 된다. 이 결과가 본 연구에서 관측되는 자기 부양 효과에는 pinning center가 발생 메커니즘으로서 작용할 가능성을 시사하고 있다.

4. 결론

BiPbSrCaCuO계 초전도 소결체에 산화은을 첨가하여 자기 부양 효과를 나타내는 시료의 제작 조건을 조사하였다. 2%의 산화은이 첨가된 시편에서 자기 부양 효과가 가장 효과적으로 관측되었다. toroidal 자석에서 관측 되는 자기 부양 효과는 자석의 중심부분에서만 발생하며, 자석의 ring 부분에서는 관측되지 않았다. 이 결과는 본 연구의 자기 부양 효과의 발생에는 자석의 형상 및 자속의 분포 형태와 밀접한 관련성이 있음을 의미한다. 자기 부양 효과에 관한 측정 결과로부터 자속 밀도가 극소가 되는 toroidal 자석의 하부로부터 3mm의 거리에 위치한 장소에 초전도체가 놓이게 되면 초전도체는 반자성효과로 인하여 초전도체의 상,하로부터 작용하는 자기력을 받게 된다.

또한 산화은을 첨가하지 않은 BiPbSrCaCuO계 초전도체와 2%의 산화은이 첨가된 시편의 자기 부양 효과를 조사한 결과 pinning center의 역할이 필수적인 조건으로 여겨진다.

참고 문헌

- [1] J. G. Bednorz and K. A. Muller, Z. Phys. **B64**, 189 (1986)
- [2] P. N. Peter, R. C. Sick, E. W. Urbon, C. Y. Huang, M. K. Wu, Appl. Phys. Lett., **52**, 24 2066 (1988)
- [3] Y. Shapira, C. Y. Huang, H. J. Mcniff, P. N. Peter, B. B. Schwartz, M. K. Wu, J. Magn. Magn. Materials. **78**, 1, 19 (1989)