

YBCO Bulk 초전도체 교류손실의 주파수 의존성

예 정희, 나 완수, 김 찬중*, 홍 계원*
 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터 공학부
 한국원자력연구소 초전도체연구팀*

Frequency dependence of AC loss in YBCO Bulk superconductor

Junghee Ye, Wansoo Nah, Chan-Jong Kim*, Gye-Won Hong*
 Dept. of Electrical & Computer Eng. SungKyunKwan Univ.
 KAERI Superconducting Research Lab.*

Abstract - In this paper, we investigated the frequency dependences of AC loss and the magnetic properties of a superconductor using magnetization method. We used the YBCO bulk superconductor sample which has a square-shaped cross sectional area of 6mm x 6mm, and 43mm-long in axial direction. The applied AC magnetic field was parallel to the direction of sample axis. It is observed that YBCO bulk has the diamagnetic properties. AC loss calculation of YBCO bulk superconductor was performed by evaluating the total area of magnetization traces. We performed two cases of experiments, one for $B_m < B_p$, and the other for $B_m > B_p$. The experiments showed that the AC loss dependences on frequency were different in each mode, as was indicated in other publications.

갈 search coil과 이 코일에서 생기는 유기전압을 상쇄시켜주는 cancel coil에 0.35[mm] ϕ 인 에나멜동선으로 각각 200회씩 감아서 측정하였다. 벌크 산화물 고온초전도체로 YBCO-123 ($YBa_2Cu_3O_{7-y}$)분말을 사각 mold에 충전한 후 일축 가압으로 모양을 만들고 다시 유압으로 냉간등축가압 (cold isostatic press)하여 1차 치밀화를 해 준 다음 전기로에 900℃에서 20시간동안 (in air) 소결하여 2차 치밀화를 하였다. 이후 500℃ 산소분위기에서 50시간 열처리하여 시편에 산소를 넣어 주어 초전도성을 갖게 하였다.

1 $\mu V/cm$ 범위로서 4단자법에 의해 얻어진 V-I곡선은 그림2와 같으며 이 때 측정되어진 임계전류의 값은 50[A]이고 임계전류밀도의 값은 약 $1.4 \times 10^6 (A/m^2)$ 이

1. 서 론

1987년 발견된 산화물 고온초전도체는 저온초전도체에 비해서 임계온도가 훨씬 높으며 이로 인해 초전도체의 연구개발이 활발하게 진행되고 있다. 초전도체는 그 형상에 따라 벌크, 선체, 혹은 박막형태로 분류할 수 있으며 재료로는 YBCO와 BSCCO가 많이 사용되고 있다. 최근에는 높은 임계전류밀도를 갖는 고온 벌크 초전도체가 용융법을 통해 개발되었으며 특히 이트륨, 바륨, 구리가 1:2:3의 비율로 들어 있는 산화물인 $YBa_2Cu_3O_{7-y}$ 는 산소 조성이 7에 가깝고 임계온도가 95K까지 상승하는 고온초전도체이다. 이러한 초전도체의 개발로 실생활에 응용하게 되는 일이 점점 현실화 되어가고 있으며 이미 실용화단계에 들어선 분야도 있다.

그러나 직류전류나 직류자계하에서는 초전도체에 손실이 생기지 않지만 교류전류나 외부교류자계의 존재하에서 교류손실이 발생하는 문제점을 안게 되었다. 이 교류손실은 여러 분야의 실용적인 면에서 중요한 의미를 가지게 되는데 이러한 손실을 미리 예측함으로써 초전도체를 사용하는 시스템의 손실을 최소화하는 방향으로 설계를 할 수 있다.

본 연구에서는 교류손실 측정방법중 자화법을 이용하여 이러한 외부교류자계하에서 YBCO초전도체의 주파수에 따른 교류손실특성에 대하여 알아보았다.

2. 본 론

2.1 시료의 특성 및 구성

실험에서 사용된 초전도체는 직육면체의 형태로서 너비6[mm], 두께6[mm], 길이43[mm]이며 초전도체가

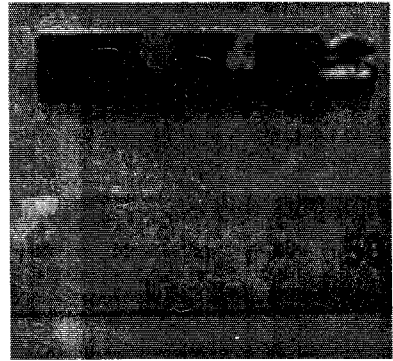


그림 1. YBCO 고온 벌크 초전도체

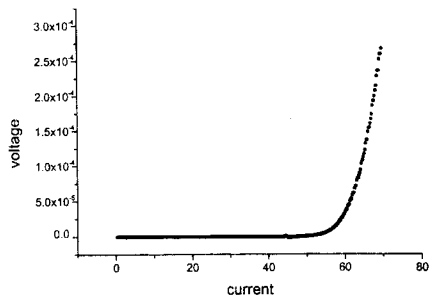


그림 2. YBCO 고온 벌크 초전도체의 V-I곡선

$$(I_c = 50(A))$$

교류손실 값을 도시하였다.

2.1.1 실험 장치의 구성 및 방법.

교류손실을 측정하기 위한 장치는 그림3과 같이 크게 나누어서 전원발생부, 자장발생부, 측정부의 세부분으로 나눌 수 있다. 구축된 전원발생부는 주파수 가변전원장치로서 직류, 교류 모두 인가가 가능하며, 정전류 또는 정전압 모드에서 동작한다. 또, 직류에서는 0~200(A)의 류와 0~200(V)의 전압을 공급할 수 있으며 교류에서는 0~141(A)의 전류와 0~141(V)의 전압을 공급한다. 주수 가변영역은 0~400(Hz)이다. 자장발생장치는 전원서부터 직, 교류의 전원을 인가 받아서 공극에 직류, 교류자장을 발생시키는 마그네트이다.

측정하고자 하는 초전도시료를 이 마그네트의 공극에 삽입하여 77K 온도 하에서 외부자계를 가하면 초전도시료 주위에 권선된 코일에 유기된 전압을 측정하게 된다. 초전도체를 둘러싸고 있는 코일에서 발생된 유기전압과 초전도체의 자화곡선은 오실로스코프, 적분기와 증폭기 등의 계측장치를 통하여 얻을 수 있다.

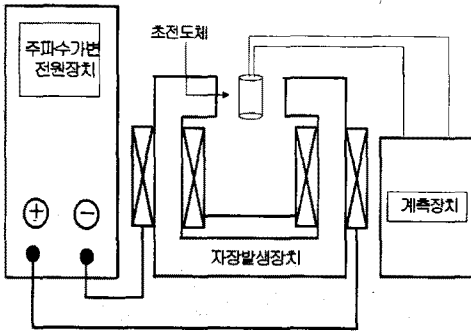


그림 3. 실험장치의 개략도

2.2 실험결과 및 토론

모든 측정은 액체질소의 온도인 77K에서 이루어졌다. 먼저 교류손실의 측정에 앞서 YBCO 샘플의 E-J특성에 대하여 측정하였다.

E-J특성은 자장의 크기가 0인 조건에서 직류전류를 흘려 4단자법을 이용하여 측정하였다. 전압 탭간의 거리는 43(mm)이며 관찰되어진 결과는 그림 4와 같다. 경우의 임계전류와 전류밀도는 그림2에서 보다시피 각각 50(A), $1.46 \times 10^6 [A/m^2]$ 이다. E-J특성은 아래와 같에 잘 적용됨을 알 수 있었다.

$$E = E_c \left(\frac{J}{J_c} \right)^n, E_c = 10^{-6} (V), n = 26$$

그림5는 외부자장인 H-field의 전압파형과 search co에 의해서 유기된 B-field의 전압파형의 적분파형이다. 그림에서 두 파형은 서로 90°의 위상차이를 보이고 있으며 이를 B-H 곡선으로 그려보면 그림6과 같이 YBCO의 자화곡선을 얻을 수 있으며 이 곡선의 넓이가 YBCO 초전도체의 교류손실값이 된다.

그리고 이 자화곡선으로부터 Bulk 초전도체가 반자성의 성질을 띠는 것을 알 수 있다. 이 때 외부자장의 크기는 50(gauss)이고 주파수는 60(Hz)이다.

그림 7은 주파수가 10(Hz)인 경우의 외부자장의 크기에 따른 교류손실값을 나타낸 그림으로서 교류손실이 외부자장의 크기에 비례하는 것을 알 수 있다. 이론상으로 침투자계 B_p (Penetration field)는 $a \cdot \mu_0 \cdot J_c$ 이므로 0.0053(T)이다. 따라서 이 B_p 를 중심으로 주파수에 따

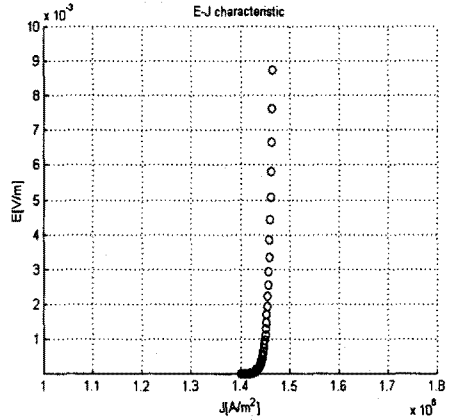


그림 4. E-J 특성곡선

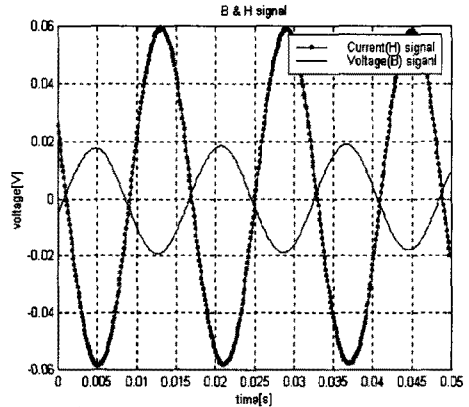


그림 5. 50(gauss), 60(Hz) 일 때의 B-field와 H-field의 유기전압값

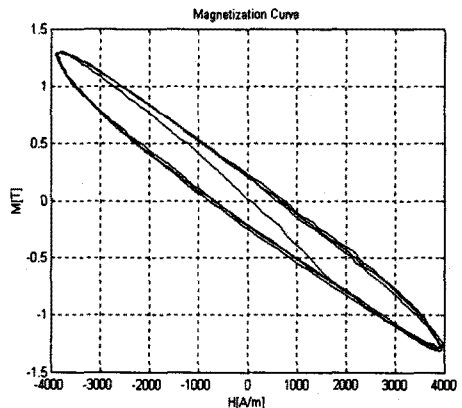


그림 6. 50(gauss), 60(Hz) 일 때의 B-field와

H-field의 자화곡선

주 B_m 이 B_p 보다 작은 경우와 B_m 이 B_p 보다 큰 경우로 나누었으며 더 구체적으로 알아보기 위하여 외부자장의 크기인 B_m 값이 0.004[T], 0.007[T]일 경우의 교류손실의 주파수의존성을 알아보았다. 관찰된 결과는 그림8 (a)와 그림 8(b)에 각각 나타냈으며 그림에서 본 바와

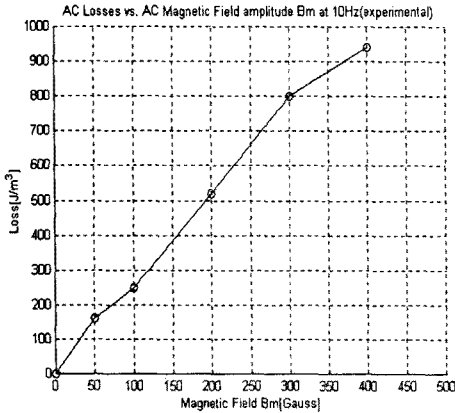
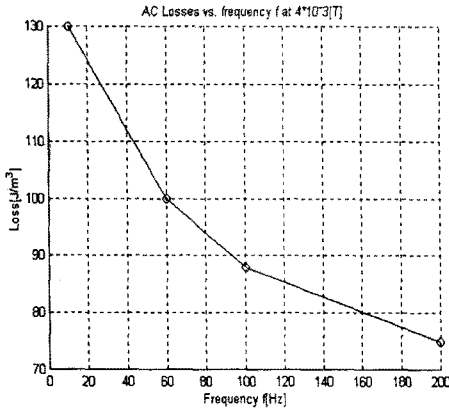
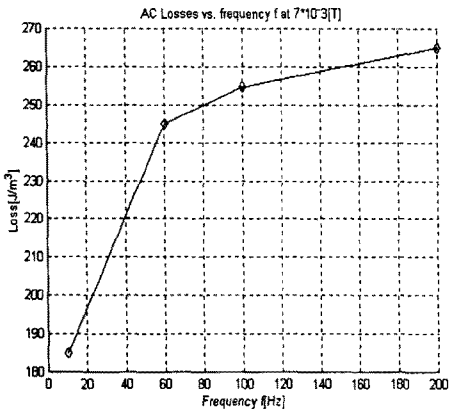


그림 7. 10[Hz]주파수에서 나타나는 YBCO 벌크의 외부자장의 크기에 대한 교류손실량 변화



(a)



(b)

그림 8. (a)외부자장의 크기 0.004[T]에서의 주파수별 교류손실량의 변화. (b)외부자장의 크기 0.007[T]에서의 주파수별 교류손실량의 변화 같이 B_m 이 B_p 보다 작은 경우에는 주파수가 작을수록, 반대로 B_m 이 B_p 보다 큰 경우에는 주파수가 클수록 교류손실량이 커짐을 알 수 있었다.

그림9는 외부자장을 0부터 B_p 의 크기보다 크게 가해 주었을 때 YBCO Bulk 내부에 침투하는 자계의 깊이를 시뮬레이션해서 나타내 본 그림이다. 이때 외부자계가 B_p , 0.0053(T)일 때 시편의 너비의 반인 0.003[m]까지 투하는 것을 볼 수 있다.

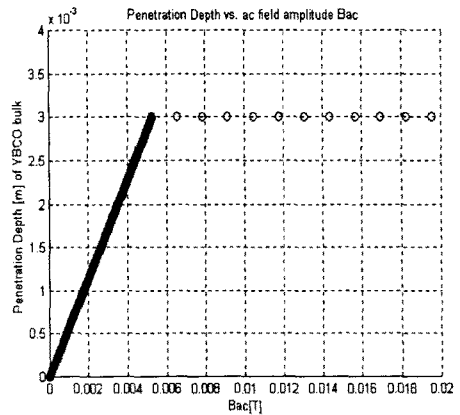


그림 9. 외부자장의 크기에 대한 침투깊이의 변화

3. 결 론

본 연구에서는 고온 초전도체인 YBCO 벌크 초전도체의 교류손실의 특성중 하나로 외부자장의 크기와 주파수에 따른 교류손실변화에 대하여 실험을 하였다. 그 결과 공극사이의 자장의 크기를 증가시키에 따라 교류손실이 증가함을 알 수 있었다. 그리고 침투자계 B_p 를 중심으로 나뉘어진 주파수에 따른 교류손실 변화는 자장의 크기 B_m 이 B_p 보다 작은 범위의 경우에서 자장의 주파수가 작을수록, B_p 보다 큰 자장의 범위에서는 주파수가 클수록 교류손실이 증가함을 알 수 있었다.

본 연구는 한국과학재단의 97핵심전문연구과제의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

(참 고 문 헌)

- [1] Masataka Iwakuma, Hiroyuki Konomi, Kazuo Masakatsu Takeo, "frequency Dependences of Losses in $(Bi_{1-x}Pb_x)_2Sr_2Ca_2Cu_3O_x$ Bulk Supercond in AC Magnetic Field".
- [2] Carr Jr.,W.J, "Chapter 5 in Ac Loss and Macr Theory of Superconductors", Gordon and Breach, S Publishers, Inc (New York, 1983)
- [3] Bernd Seeber, "Handbook of Applied Superconduc Institute of Physics Publishing, p173-p248.(Londo