

ES-93-09

고온초전도체를 이용한 전류제한장치의 개발
 Development of superconducting current limiting device used high-T_c superconductor

* 최 명 호*	*전북대 대학원
강 형 곤	
유 현 수	
박 성 진	
**한 병 성	**전북대 부교수
* CHOI, Myeong, Ho*	Department of
KANG, Hyung, Kon	Electrical
YOO, Hyun, Soo	Engineering of
PARK, Sung, Jin	Chonbuk Univ.
**HAN, Byoung, Sung	

Abstract

SCLD(superconducting current limiting device) with YBaCuO superconductor was fabricated by the sol-gel and the doctor-blade method. Critical current density (J_c) and critical current (I_c) of the SCLD are 100.27 A/cm² and 1A at 77K and the electrodes contact with SCLD by silver paste. The SCLD was connected with test circuit in series. When applied current exceed critical current value of the SCLD in testing circuit, the SCLD restricts the over current by generating resistance itself without delay. Resistance of SCLD increase lineary 0 to 1.6Ω in propotion to applied current above the critical current I_c .

I. 서 론

1908년 네덜란드의 Kammerlingh Onnes가 4.2K(-269℃)에서 수은의 전기저항이 영이되는 초전도현상을 발견한 이후 초전도의 세계에 모아진 많은 관심과 연구로 인하여 1986년 K. A. Muller와 J. W. Bednorz가 임계온도 35K를 갖는 La-Ba-Cu-O 초전도체를 공동발표 하였으며 뒤이어 1987년에는 임계온도가 액체질소 온도를 능가하는 초전도체가 발표되었다. [1-2]

초전도체가 갖는 무손실, 고자성등의 여러가지 특성은 에너지의 운송 및 저장, 컴퓨터, 의료기, 각종 탐사부문에서 많이 응용되고 있으나 현재까지는 대부분 값비싼 액체헬륨을 냉매로 사용하는 합금계 저온초전도체를 사용하고 있는 실정이다. 이는 세라믹계 고온초전도체가 전반적으로 인장력과 충격에 약하며 가공에 많은 어려움이 있기 때문이며 특히 고온초전도 전류제한기나 솔레노이드의 경우 많은 횡수의 권선을 하여야 하므로 고온초전도체를 이용한 이들 기기제작에는 매우 큰 난점이 있다. 초전도체의 선재화 방법에는 melting-quenching법, extrusion 법,^[3] 그리고 Cu, Ag합금 등의 금속관에 산화물계 초전도체를 충전한후 die를 통하여 선재를 인발하는 powder-in-tube 법^[4] 등이 있다.

본 연구에서는 Y-Ba-Cu-O 초전도체를 sol-gel 상태로 제작하고 이를 doctor-blade method^[5]를 이용하여 전류제한장치를 제작한 후 특성을 분석하였고, 반복실험을 통하여 동작속도가 빠른 초전도전류제한장치(SCLD: superconducting current limiting device)를 제작하였다.

II. 실험방법

1) 시료제작

YBaCuO 초전도체 제작을 위하여 사용한 시료는

Aldrich 社의 순도 99.99% 이상인 Y_2O_3 , $BaCO_3$, CuO 를 사용하였다. 이들 원소들의 분자량을 계산하여 Y:Ba:Cu의 비율이 1:2:3이 되도록 정확한 몰비로 칭량하고 막자사발에서 아세톤을 용매로 하여 갈아주었다. 이와같이 잘 혼합된 시료를 산소분위기에서 950℃의 온도로 10시간동안 하소하였으며 열처리과정을 행함으로써 안정화된 고온초전도상을 형성하게 된다. 하소후 딱딱하게 굳은 시료를 다시 막자사발에 넣고 미세한 분말이 되도록 잘 갈은 후 준비된 시료를 알루미늄아 보트에 담아 950℃의 온도에서 10시간동안 소결하였다.

2) SCLD 제작

소결한 시료를 다시 갈아 미세한 분말로 만든 후 SCLD를 제작하기 위하여 표1 과 같은 성분의 첨가제를 혼합하였다. 이때 첨가제의 함량을 가급적 적게 하여야 하는데 이는 초전도 SCLD를 제작한 후 열처리시 첨가제가 제거되면서 생기는 void를 최소화 하여 높은 임계전류값을 얻고자 함이다. 시료와 첨가제 혼합비의 최적 조건을 조사한 결과 시료와 첨가제의 비율이 84 : 16일때가 최적조건이었으며 첨가제의 비율이 16% 미만일때는 시료와 첨가제가 혼합되지 않았다. 따라서 본 연구에서는 시료와 첨가제를 84 : 16으로 혼합한 후 doctor blade method로 사진 (1)과 같은 SCLD를 제작하였다. 제한기로서의 효과를 증대시키기 위하여 SCLD의 단면적이 작고 길이는 길게 제작하였는데, 이는 SCLD부분이 quenching 되었을 때 발생하는 저항을 크게 하여야만 limiter로서 효과가 크기 때문이다. 한편 동작시 전압강하를 최소화하기 위하여 SCLD를 무유도구조로 제작하였다.



사진 1. 고온초전도 전류제한장치(SCLD)의 실제 모양(길이: 약 34cm 단면적: 1.5*1.0 mm)

이와같이 doctor-blade method로 제작된 SCLD의 첨가제성분을 제거하기 위하여 550℃의 온도에서 4시간동안 열처리 하였으며 이때 시료의 손상을 최소화 하기 위하여 Ar gas분위기를 조성해주었다. 또한 첨가제가 제거된 시료의 초전도성을 향상시키기 위하여 O_2 분위기에서 600℃의 온도

로 8시간동안 열처리 하였다.

제작된 SCLD는 X-ray 회절분석, Jc, Tc 및 저항 측정 등을 통하여 임계특성을 조사하였으며 전류 제한장치의 동작특성을 알아보기 위하여 시험회로를 제작하여 실험하였다.

표 1. 첨가제 성분

성 분	분 자 식	분 자 량
Epoxy (YD - 128 type)		
Polyethylene glycol	$(HC - CH_2CH_2O) nOH$	6 0 0 0
Stearic acid	$CH_2 (CH_2)_{16} COOH$	2 8 4 . 4 8
Ethylendiamine	$NH_2 CH_2 CH_2 NH_2$	6 0 . 1 0

III. 결과 및 고찰

1) X-ray 회절분석

그림 1의 a) 와 b)는 각각 첨가제를 첨가한 후 열처리를 통하여 첨가제를 제거한 초전도체와 순수 $YBa_2Cu_3O_x$ 초전도체의 X선 회절로써 2θ가 22.8°에서 003면의 강한 피크가 나타나는것을 시작으로 32.53°에서 123면의 최대피크가 나타났으며 그 외에도 많은 초전도피크가 생성되어 있음을 알 수 있었다. 84:16의 비율로 첨가제를 혼합한 초전도체와 순수시료를 비교하여 보면 피크의 세기가 다소 감소하기는 하였지만 거의 동일한 각도에서 초전도피크가 나타나는 것으로 보아 혼합된 첨가제성분이 거의 제거되었다는 것을 알 수 있었다.

2) 임계전류밀도, 임계온도 및 전류-저항특성

첨가제가 혼합되지 않은 순수시료는 약 95K에서 저항강하가 나타나기 시작하여 90K에서는 저항이 완전히 사라졌으며 이때의 임계전류밀도는 270 A/cm^2 이었다.

첨가제가 혼합된 초전도체는 순수시료에 비하여 약간 낮은 85K에서 저항강하를 보였으며 임계전류밀도값도 100.27 A/cm^2 로서 순수한 초전도체에 비하여 약 170 A/cm^2 정도 낮은 값을 나타내었다. (그림 2)

한편 첨가제를 혼합하여 제작한 SCLD의 임계전류는 약 1A이었으며 임계전류를 초과한 전류에 비례하여 저항은 증가하였다. SCLD의 전류-저항 특성은 (그림 3)과 같으며 SCLD를 좀더 길고 가늘게 하였을 경우 임계전류를 넘어선 전류에 비례하여 더 큰 저항을 나타냈으리라 예상된다.

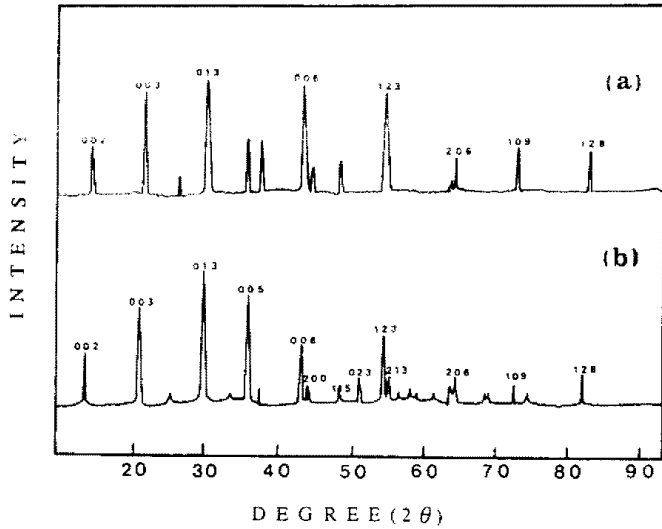


그림 1. X - ray 회절 피크
 a) 16%의 첨가제를 혼합 후 열처리를 통하여 첨가제성분을 제거한 YBaCuO 초전도체
 b) 순수한 YBaCuO 초전도체

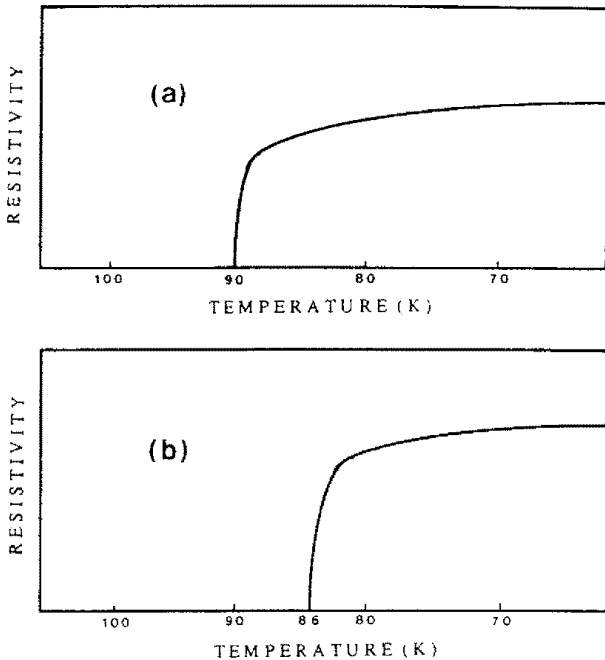


그림 2. 임계온도
 a) 순수한 YBaCuO 초전도체
 b) 16%의 첨가제를 혼합 후 열처리를 통하여 첨가제성분을 제거한 YBaCuO 초전도체

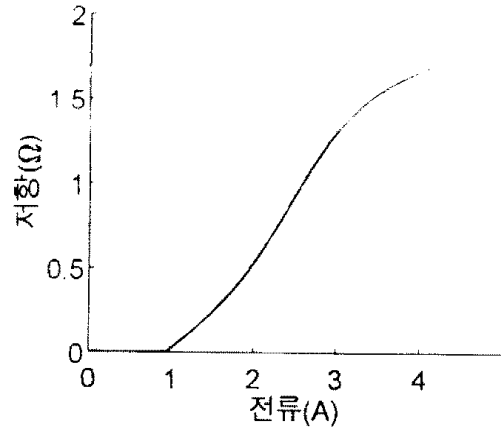


그림 3. SCLD의 전류-저항 특성

1) SCLD의 동작실험

(그림 4)는 SCLD의 동작실험을 위한 회로로 7 Ω의 저항을 SCLD에 직렬로 연결하여 최대피크 0.5 A의 전류를 인가하다가 스위치 S를 닫았다. 이때 회로는 단락상태에서 동작을 하므로 SCLD에는 최대피크 4A의 전류가 흐르게 되어 SCLD는 동작하게 된다. (그림 5)는 고장전류 발생시 SCLD의 동작을 나타낸다. 정상동작시 저항이 0이므로 전압이 나타나지 않으나 인가된 전류가 임계전류를 넘어섰을때 SCLD는 즉시 퀘칭(quenching)되어 저항이 발생하여 고장전류를 제한하므로 SCLD양단에 전압이 나타나는 것을 볼수있다. 이때 회로에 흐르는 전류는 약 1.5 A이었으며 스위치 S를 열자 곧바로 0.5A의 정상전류가 흐르는 것으로 보아 SCLD의 초전도성 회복이 빠르다는 것을 알수 있었다.

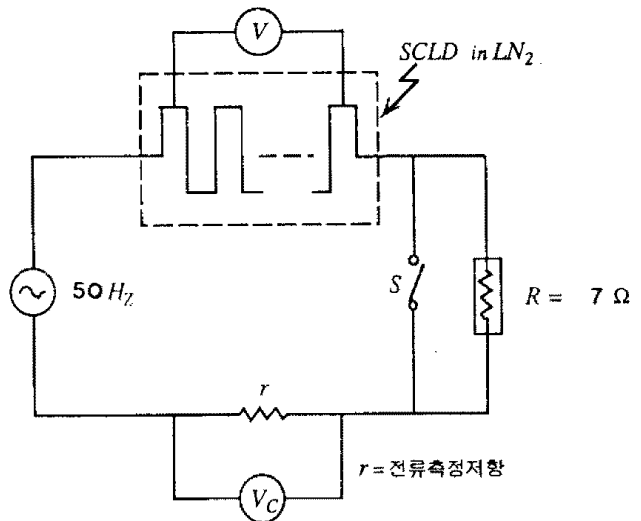
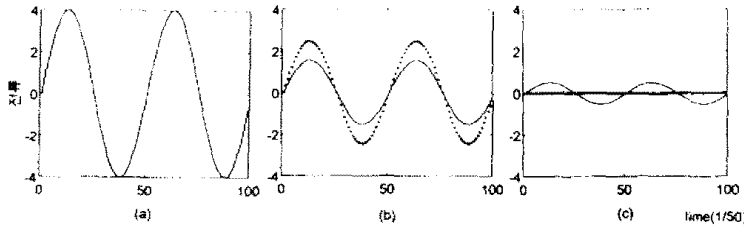


그림 4. 전류제한 동작시험회로



(— 전류 전압)

그림 5. SCLD 전류, 전압 파형

- a) SCLD와 R이 없을 때의 회로에 인가된 전류
- b) SCLD 동작시 전류, 전압
- c) 정상상태 전류, 전압

IV. 결 론

가공성이 부족한 Y-Ba-Cu-O 초전도체에 첨가제를 혼합하여 sol-gel 상태로 하고 이를 doctor-blade method로 제작한 SCLD의 물성특성을 측정 한 결과 첨가제의 혼합비를 적게할수록 좋은 임계특성이 나타나는 것을 알 수 있었으며, 인가전류가 임계전류치 초과시 효과적인 전류제한을 위하여 SCLD를 길고 가늘게 제작하여 저항율을 높이고자 하였다. 제작된 SCLD의 동작은 거의 자연이 없었으며 임계전류는 약 1A의 값을 가졌다. 임계전류치 초과시 저항은 인가전류의 세기에 비례하였으며 약 1.6Ω까지 증가하였다. 고장전류 제거시 빠른 초전도성회복으로 즉시 정상상태에 복귀하였다. 제작된 SCLD이 비록 용량에 있어서는 작은 임계전류값을 갖고 있지만 제작이 용이하고, 매우 경제적이다. 지속적인 연구로 첨가제의 조건과 성분을 분석하면 다른 산화물계 초전도체에도 적용할 수 있을 것으로 생각된다. 본 연구를 통하여 그동안 많은 문제점을 가지고 있던 산화물계 초전도체를 이용한 고온초전도 전류제한기 제작을 위한 간단한 방법을 한가지 제시하였으며 임계특성에 중점을 두고 지속적인 연구를 행한다면 고임계전류 밀도와 특성이 우수한 고온초전도 전류제한기의 제작이 충분히 가능하리라 예상된다.

참 고 문 헌

1. J. G. Bednorz and K. A. Müller, J. Phys. B, Vol. 64, pp. 189 (1986)
2. M. K. Wu, J. R. Ashburn, C. J. Torng, P. H. Hor, R. L. Heng, I. Gao, Z. J. Huang, Y. Q. Wang and C. W. Chu, Phys. Rev. Lett., Vol. 58, pp. 908 (1987)

3. Y. Takana: Ohm 88 (1988) (5) 25
4. M. Oh, Q. Liu, W. Misiolek, A. Rodrigues, B. Avitizur and M. R. Notis, J. Amer. Ceram. Soc. 72, 2142 (1989)
5. K. Okuwada et al.: Submitted to Proc. International Meeting on Advanced Materials (MRS) (Tokyo, 1988)