

ES-93-11

Bi계 고온초전도 다심케이블 제작에 관한 연구

Development of multi filament cable with Bi high-Tc superconducting system.

김민기* 전북대학교 대학원
강형곤 전북대학교 대학원
최효상 전북대학교 대학원
한병성 전북대학교 교수

KIM Min-Ki Graduate School Chonbuk National Univ.
GANG Hyoung-Gon Graduate School Chonbuk National Univ.
CHOI Hyou-Sang Graduate School Chonbuk National Univ.
Han Byoung-Sung Associate prof., Dep. of Elec.Eng.,
Graduate School Chonbuk National Univ.

Abstract

Superconducting cable ($I_c: 60$ A at 77K, 10 filaments) with Bi high-Tc superconducting system was developed by powder - in - tube method. Pressing and sintering process of the cables were repeated for growth of 2223 high-Tc superconducting phase. The cable can be fabricate by twist method that is necessary for high current density and cooled circulative system. This cable system can be used for commercial.

I. 서론

1987년 이후 상온초전도체에 대한 관심과 열기는 세계를 들뜨게 만들었다^[1]. 그러나 이후 계속된 초전도체에 대한 연구결과를 종합해보면 150K에 이르는 임계온도가 보고되기도 하였지만 현재 연구중인 고온초전도체로는 초전도 현상이 일어나는 임계온도를 상온까지 올리는 것은 어려운 것으로 보여지고

있다. 그결과 1990년대 이후 고온 초전도체에 대한 연구는 임계특성의 향상과 더불어 지금까지 개발된 고온 초전도체를 이용한 응용기기 개발에 눈을 돌리게 되었다. 고온초전도체를 이용한 각종 응용기기의 개발은 운용면에 있어서 경제적, 기술적 어려움을 겪고 있는 저온초전도 응용기기를 대체하여 초전도체를 우리 생활주변으로 보다 가까이 끌어들이는 계기가 될것으로 여겨지고 있다.

현재 개발되어 사용되고 있는 고온초전도체를 형태별로 구분하여 보면 크게 선재와 박막의 두가지 유형으로 나누어 볼 수 있다. 박막의 경우 초전도양자간섭장치(SQUID), 전류제한기(FCL), 조셉슨 소자, 안테나등에 사용되고 있고 선재의 경우는 무손실 케이블, 마그넷등의 재료로서 그 개발 가치가 증대되고 있다. 고온 초전도 선재의 제작 방법으로는 현재까지 줄결법, 압연법, 사출성형법^[2], powder-in-tube 법^[3]등이 연구되어왔으나 취약한 기계적 가공성등의 재료적 단점으로 인하여 많은 어려움을 겪고 있다.

본 실험에서는 Bi계 초전도체에 Pb를 첨가하여

고온 초전도상을 안정화^[45]시킨 Bi-Pb-Sr-Ca-Cu-O 계 고온 초전도체를 재료로 powder-in-tube 법을 사용하여 선재를 제작하고 이를 다시 가압과 열처리의 반복과정^[6]을 걸쳐 테이프화한뒤 이를 이용한 고온 초전도 다심 케이블을 제작하여 그 특성을 관찰하였다.

II. 연구 내용

고온 초전도 다심케이블 제작을 위하여 99.99% 이상의 순도를 갖는 Aldrich사의 시료를 재료로 Bi:Pb:Sr:Ca:Cu의 비율이 1.8:0.4:2:2.2:3.3의 몰비가 되도록 정확히 칭량한 후 막자사발에서 혼합분쇄하였다. 미세한 분말과 고른 혼합을 얻기 위하여 아세톤을 용매로하여 3시간 동안 고르게 갈아준 시료는 810℃의 온도로 7시간동안 하소를 실시하여 혼합분쇄 과정에서 발생할 수 있는 시료내의 불순물을 제거하고 시료들의 확산을 통한 초전도상의 형성을 유도 하였다.

하소로 인하여 굳어진 시료들은 다시 막자사발에서 고르게 분쇄한 후 표준망체 (#230)를 이용하여 균일한 크기의 시료를 가려 내었다. 고른 크기로 선별된 시료는 미리 500℃에서 2시간 동안 가열한 후 서냉시켜 유연성을 증대시킨 은관(O.D.:6mm, I.D.:4mm, L.:200mm)에 충전 하였다. 시료를 충전시킨 은관은 회전단조기를 사용하여 양끝을 가늘게 성형(swaging) 하였다.

양끝을 가늘게 성형한 은관은 2cm/sec.의 인발속도를 준수하여 5.88-5.42-5.00-4.61-4.25-3.92-3.61-3.33-3.07-2.83-2.41-2.22-2.05-1.89-1.74-1.60-1.48-1.36-1.20-1.1-1.02-0.94-0.86의 순서로 인발 하였다.

인발과정을 거친 선재는 22000 kg/cm²의 압력으로 가압하여 테이프화 한 후 열처리를 실시 하였다. 테이프화된 선재는 승온 및 냉각비 1℃ / 15 sec.의 비율로 835℃에서 20시간동안 열처리를 실시한후 임계특성이 향상을 위하여 다시 가압하는 공정을 반

복하여 80시간 동안 열처리를 실시 하였다. 열처리를 거친 선재는 지름 6 mm, 두께 1 mm, 길이 15 mm의 스테인레스 판에 온테이프를 이용하여 고정시키후 단일 피복을 실시하는 공정을 거쳐 고온 초전도 케이블을 제작하였다. 제작된 케이블은 임계온도 및 임계전류와 주사전자 현미경 등을 통하여 초전도 특성을 확인하였다.

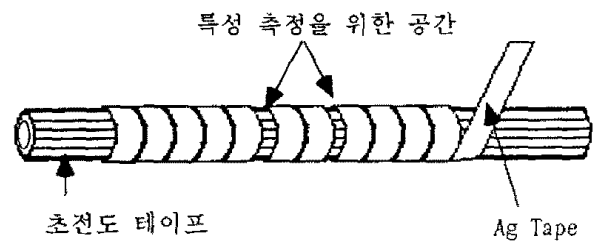


그림 1. 제작된 고온 초전도 다심케이블

III. 결과 및 고찰

본 연구에 쓰인 시료의 DTA 곡선을 그림 2에 나타 내었다. 온도에 따른 질량감소를 측정하기 위하여 900℃까지 승온비율 10℃ / min의 비율로 열을 가하면서 측정을 실시 하였다. 열분석 결과 3개의 흡열 피크와 두개의 발열 피크를 얻을 수 있었다. 578℃에서 약한 흡열 피크를 볼수 있었으며 799℃ 이후 실질적인 중량 감소를 나타 내었다. 857℃ 부근이 적합한 열처리 온도로 보여지나 일반적으로 은관에 충전한 시료의 경우 이보다 약 18 ~ 20℃ 정도 낮은 열처리 온도를 잡고 있고 Bi-2223 상의 성장은 이보다도 약간 낮은 온도가 최적으로 알려져 있어 835℃의 온도에서 열처리를 실시 하였다.

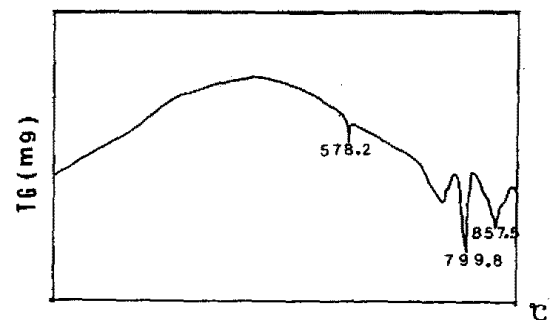


그림 2. BiPbSrCaCuO 시료의 DTA 곡선

가압 처리를 걸쳐 완성된 넓이 1.9 mm, 두께 약 0.2 mm 초전도 테이프는 준비된 스테인레스판에 10개의 초전도 테이프를 감아 다심케이블을 제작 하였다. 4 단자법을 이용하여 임계전류 및 임계온도를 측정할수 있도록 온테이프를 감아 고정시키는 중간에 초전도 테이프를 노출 시켰다. 초전도 케이블의 냉각용 스테인레스판의 내부로 액체질소를 흘려줌으로써 해결 하였다.

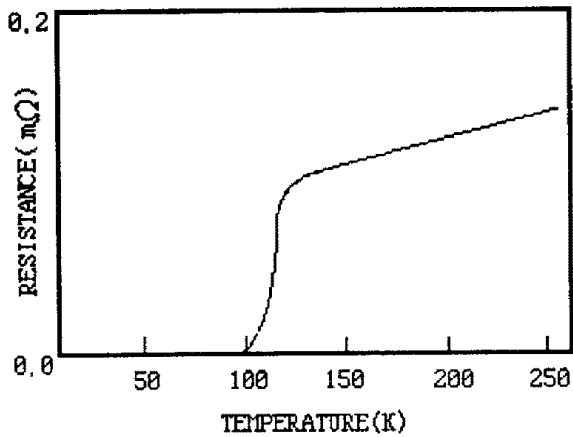


그림 3. 초전도 케이블의 임계온도

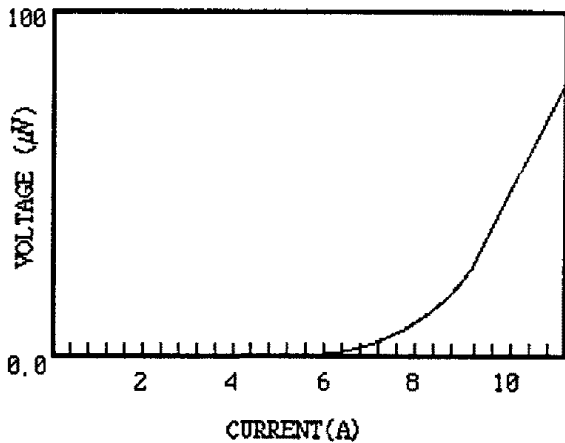


그림 4 초전도 케이블의 전류밀도

완성된 초전도 테이프의 임계온도와 임계전류를 그림 3 과 4 에 나타 내었다. 임계온도는 약 100 K 에서 초전도성을 나타내었는데 이는 Bi계의 110K에 비하여 낮은 수치였다. 이러한 낮은 임계온도는 일반적으로 840℃를 정점으로 임계온도와 전류밀도의 성장이 구분되는것에 의하여 볼때 835℃ 라는 열처리 온도에 기인한 것으로 여겨진다. 단 심 테이프의 임계

전류는 6A 정도를 나타내었는데 이를 전체 케이블의 임계전류로 환산하여 약 60A의 임계전류를 다심 케이블에서 얻을 수 있었다.

그림 5는 열처리 과정이 끝난 후 관찰한 초전도 테이프의 주사전자 현미경 사진이다. 가압과 열처리의 반복공정에 의하여 성장된 초전도상의 밀착된 모습을 관찰할 수 있다.

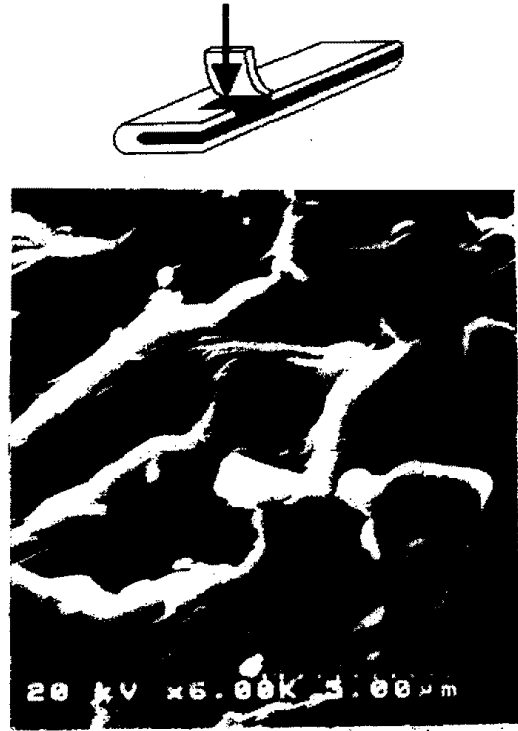


그림 5. 초전도 선재의 주사전자현미경 사진

IV. 결 론

지금까지 제작된 다심케이블의 경우 powder-in-tube법에 의한 선재제작과정에서 시행되는 선재의 반복된 인발과정에서 발생하는 Ag의 체적 증가로 인한 전류밀도의 감소와 고온초전도체의 재료적인 약점으로 인한 twist의 어려움등이 발생 하였다.

본 실험을 통하여 제작된 100K의 임계온도와 60A의 임계전류를 갖는 고온초전도 다심 케이블의 경우 테이프화된 선재를 사용하여 균일한 전류밀도를 얻을 수 있었으며 높은 전류밀도를 얻기위한 twist에 있어서도 냉각용 냉매가 흐르는 관위에 테이프를 고정함으로써 테이프를 감는 방법에 따라

twist가 가능하리라 여겨진다. 또한 본 방법에 의한 케이블의 제작은 냉매의 순환을 가능케하여 냉매의 손실을 최소화 할 수 있으므로 상업적 목적의 케이블 제작에도 활용이 가능하리라 여겨진다. 앞으로 높은 임계특성의 개발과 더불어 다심 테이프등에 의한 케이블 제작이 연구된다면 실용화된 무손실 케이블의 사용도 멀지않은 않다고 여겨진다.

V. 참고문헌

1. J.G.Bednorz and K.A.Muller, Z.Phys., vol. 64, 189(1986).
2. S.Jin, R.C.Sherwood, R.B.Van Dover, T.H.Tiefel and D.W.Johnson, J. of Appl. Phys. Lett., vol. 51, pp.203(1987).
3. M.Oh, Q.F.Liu, W.Misiolek, A.Pordigues, B.Avitizur and M.R.Notis, J.Amer.Ceram. Soc., 72, 2142(1989).
4. T.Hatano, K.Aota, S.Ikada, K.Nakamura and K.Ogawa, J. Appl. Phys., 27, L2055(1988).
5. R.J.Cava, Spring Meeting of the American Physical Society, March(1988)
6. T.Hikata, M.Ueyama, H.Mukai, N.Shibuta, T.Kato and K.Sato, 3rd Int. Sym. Superconductor, Nov. 6-9, 1990, Sendai, Japan.

본 연구는 한국전력공사와 기초전력공학
공동연구소가 주관하는 전력기술기초연구
지원사업에 의한 연구비로 수행되었습니다.