

형상에 따른 초전도 튜브의 전기적 특성변화

장건익, 박치완, 하동우*, 성태현**

충북대학교 재료공학과, 한국 전기 연구원 고온 초전도팀*, 한국 전력연구원 초전도실**

G. E. Jang, C. W. Park, D. W. Ha*, T. H. Seung**

Chungbuk National University, KERI*, KEPRI**

Abstract

High-temperature Superconductor(HTS) tubes were fabricated in term of different diameter, length and thickness by centrifugal forming method. For powder melting by induction the optimum range of melting temperatures and preheating temperature were 1050°C~1100°C and 550°C for 30min, respectively. The mould rotating speed was 1000rpm. A tube was annealed at 840°C for 72hours in oxygen atmosphere. The plate-like grains were well developed along the rotating direction and typical grain size was about more than 40 μ m. It was found that I_c values increased with increasing the tube diameter while the I_c decreased with increasing tube thickness. Also I_c decreased with increasing the tube length. The measured I_c in 50mm \times 70mm \times 25mm tube was about 896Amp.

Key Words : Diameter, Length, Thickness, I_c

1. 서 론

전류도입선과 한류기에 주로 사용되는 고온 초전도 튜브는 고온초전도 장치 중 경제성과 실용화에 있어서 많은 관심이 집중되고 있다. 고온초전도체가 전력분야에 응용되기 위해서는 낮은 J_c 문제를 해결해야 하므로 C-축 입자배열을 비교적 쉽게 얻을 수 있는 BSCCO계 위주로 연구가 진행되고 있다.¹⁻³⁾ Vladimir Plechacek 등은 CIP(Cold Isostatic Press)로 내경 6.4 mm 두께 1.6 mm 길이 29.4 mm의 Bi-2223 튜브를 제조하여 77 K에서 1200 A/cm²의 J_c 를 얻었다. 또한 시편의 두께가 얇을수록 높은 배향성의 미세구조와 J_c 를 나타낸다고 보고하였다.⁴⁾ J. Bock 등은 BSCCO 고온초전도 튜브를 MCP(Melt Casting Process)법으로 제조하여 시편의 크기에 따라 600~4000 A/cm²의 J_c 를 얻었다.⁵⁾ 위 결과는 일반적인 소결방법으로 얻어진 시편보다 높은 J_c 를 나타내고 있으며 현재까지 벌크

를 이용한 공정 중에서 경제성 면에서나 특성 면에서 가장 재현성이 높다고 평가되고 있다. 특히 임의의 크기나 두께 조절이 용이하고 제조가 용이하여 다양한 형태의 초전도체 제조가 가능하다고 보고되고있다.

본 연구에서는 MCP법을 응용한 원심성형로를 자체 설계 제작하여 Bi2212 초전도 튜브를 제조하고 튜브의 직경, 두께, 길이에 따른 초전도 튜브의 전기적 특성을 평가하고자 하였다. 또한 XRD와 SEM, EDS를 통하여 시편의 결정구조와 미세구조, 상분석을 하였다.

2. 실험

본 실험의 전반적인 공정은 그림 1에 나타내었다.

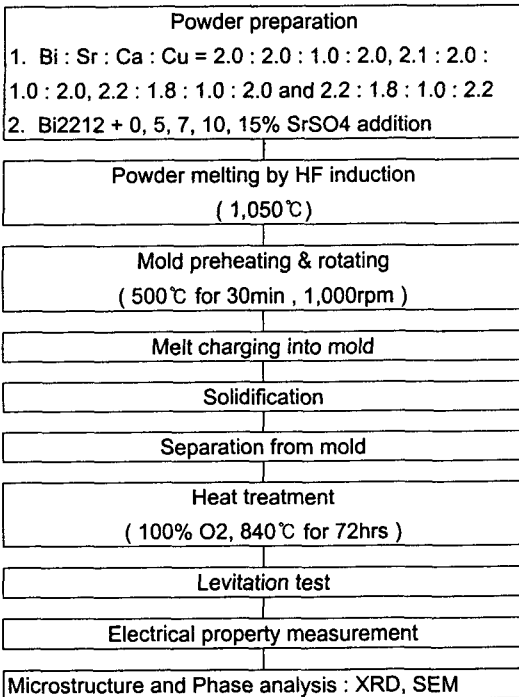


그림 1. 실험 공정도.

$\text{Bi}_{2.0}\text{Sr}_{2.0}\text{Ca}_{1.0}\text{Cu}_{2.0}$ 분말에 SrSO_4 를 첨가하여 고주파 유도로를 이용 1,050℃까지 가열하여 용융시킨 후 원심성형법으로 초전도 튜브를 제조하였다. 제조된 튜브는 840℃의 산소분위기에서 72시간 열처리시켜 주었다. 그림 2는 열처리 과정을 나타낸 표이다.

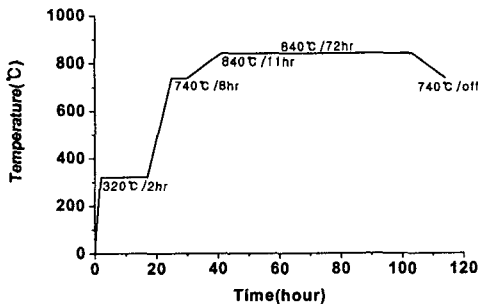


그림 2. 초전도 튜브의 열처리 과정.

튜브는 30mm×60mm×2mm, 50mm×70mm×2mm, 30mm×150mm×2mm의 형태로 크기, 길이를 변화시켰으며 두께는 2mm~5mm 까지 변화시켜 제조

하였다. 제조된 초전도 튜브는 T_c , I_c 값을 측정, 비교하였으며 SEM, XRD, EDS를 측정하여 미세구조를 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 3은 제조된 초전도 튜브의 다양한 사진이다.

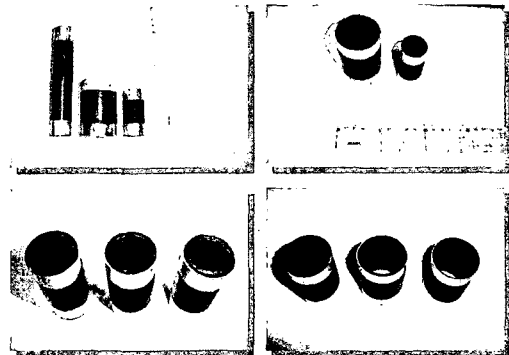


그림 3. 제조된 초전도 튜브.

그림 4는 직경크기에 따른 T_c 와 I_c 값을 나타낸 그림이다.

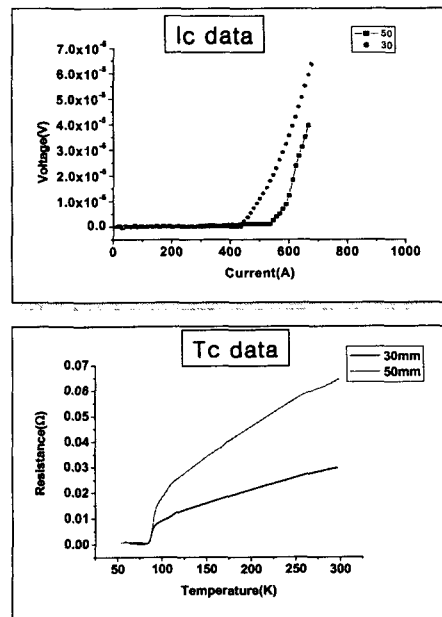


그림 4. 크기에 따른 전기적 특성.

30mm×60mm×4.8mm시편에서 $T_c=84(K)$, $I_c=$

550(A)을 나타내었으며 50mm×70mm×4.8mm시편에서는 $T_c=85(K)$, $I_c=597(A)$ 를 나타내었다. 50mm×70mm×4.8mm시편에서 T_c 와 I_c 는 더 높은 값을 나타내었다. 그림 5는 튜브길이에 따른 T_c 와 I_c 값을 나타낸 그림이다.

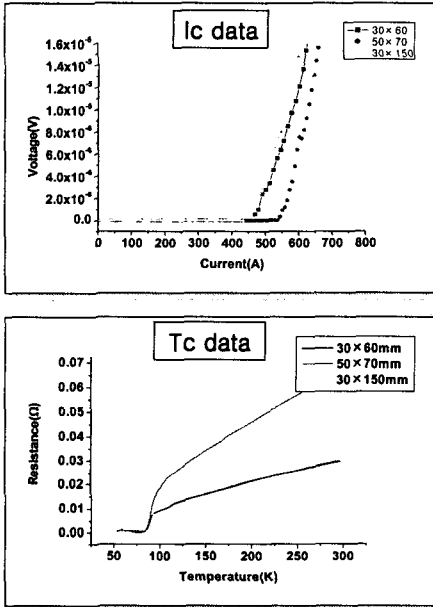


그림 5. 길이에 따른 전기적 특성.

30mm×60mm×4.8mm시편에서 $T_c=84(K)$, $I_c=460(A)$, 50mm×70mm×4.8mm시편에서 $T_c=83(K)$, $I_c=537(A)$, 30mm×150mm×4.8mm시편에서 $T_c=86(K)$, $I_c=430(A)$ 을 나타내었다. T_c 값은 30mm×150mm×4.8mm시편에서 86(K)로 가장 높은 값을 나타내었고, I_c 값은 튜브길이가 점차 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였다. 그림 6은 튜브두께에 따른 T_c 와 I_c 값을 나타낸 그림이다.

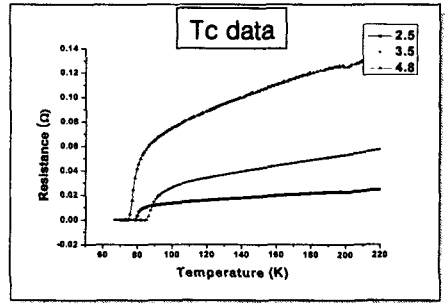
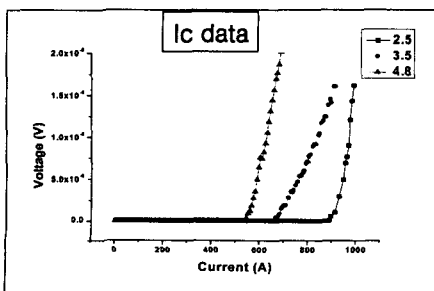


그림 6. 두께에 따른 전기적 특성.

50mm×70mm×2.5mm시편에서 $T_c=80(K)$, $I_c=896(A)$, 50mm×70mm×3.5mm시편에서 $T_c=85(K)$, $I_c=661(A)$, 50mm×70mm×4.8mm시편에서 $T_c=78(K)$, $I_c=537(A)$ 을 나타내었다. 튜브의 I_c 값은 튜브 두께가 얇아지면서 점차 증가하는 경향을 보였으며 50mm×70mm×2.5mm시편에서 $I_c=896(A)$ 로 가장 높은 값을 나타내었다. 이는 튜브의 두께가 두꺼워질수록 미세구조가 일방향 판상 배향성에서 무질서한 구조로 변화되면서 나타나는 것으로 판단된다.

다음은 제조된 초전도 튜브를 절단하여 튜브내의 미세구조와 결정구조를 분석해 보고자 하였다. 절단된 튜브는 3가지 영역에 대하여 SEM, XRD, EDS를 측정하였다. 그림 7은 SEM, 그림 8은 XRD, 그림 9는 EDS의 결과를 나타내었다.

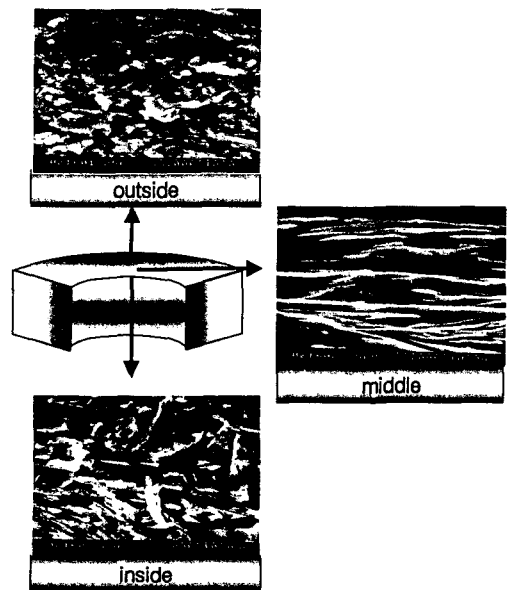


그림 7. 초전도 튜브의 SEM 사진.

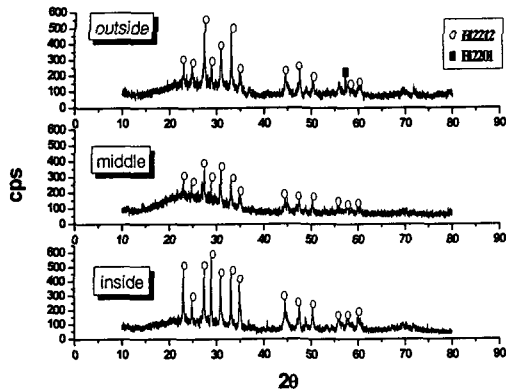


그림 8. 초전도 튜브의 XRD 분석.

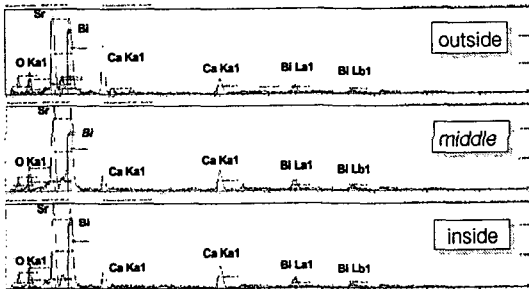


그림 9. 초전도 튜브의 EDS 분석.

위 실험결과로 튜브의 미세구조는 중간층이 판상형으로 가장 잘 배열되었으나 상분석 결과는 튜브에 가까운 부위가 초전도 2212상이 가장 잘 발달된 것으로 분석 되었다.

4. 결론

본 연구에서는 Bi2212 고온초전도 튜브를 튜브의 직경, 길이, 두께에 따른 전기적인 특성을 측정, 비교해 보고자 하였다.

- 1) 튜브는 CFP법을 이용 용융전 몰드내에 은 단자를 삽입하여 제조되었으며, 직경 30mm~50mm, 길이 60mm~150mm, 두께 2mm~5mm로 달리하여 제조 하였다.
- 2) 제조된 튜브는 840℃의 산소 분위기에서 72시간 열처리 하였으며 각각의 튜브에 대하여 미세구조

와 전기적 특성을 분석하였다.

3) SEM과 XRD 분석결과 튜브내 Bi2212 초전도상은 몰드의 회전 방향에 따라 판상조직을 나타내었다.

4) 튜브는 직경크기에 따라 Ic값이 점차 증가하는 반면 길이에 따라 감소하는 경향을 보였다. 또한 튜브의 Ic값은 두께가 얇을수록 증가하였다.

5) 50mm×70mm×25mm 튜브의 경우 Ic값은 대략 896Amp를 나타내었다.

감사의 글

본 연구는 21세기프론티어 연구개발사업인 차세대초전도응용기술개발 사업단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1]. A.K. Ghosh, A.N. Basu, "The Influence of Synthesis Conditions on Bi2Sr2CaCu2-O8 Superconductors", Supercond. Sci. Tech. No. 11, pp852-857, 1998
- [2]. Xuefeng Sun, Wenbin Wu, Liangbin Wang, Guien Zhou, Xiao-Guang Li, Yuheng Zhang, "Superconductivity and structure of Bi2Sr2CaCu2Oy Single crystals with various oxygen content", Physica C, 282-287, pp839-840.1997
- [3]. T.G. Holesinger, D.J. Miller, L.s. Chu-mbley, "Melt Processing of The Bi2Sr2Ca-Cu2Oy Superconductor in Oxygen and Argon Atmospheres" IEEE Transaction on Applied Superconductivity, Vol. 3, No. 1, pp1178-1181, 1993
- [4]. Vladimir Plechac, Jiri Hejtmanek, Vladimir Sima, "The Use of the Bi-2223 Superconducting Tubes", IEEE Transaction on Applied Superconductivity, Vol. 7, No. 2, pp703-706. 1997
- [5]. J. Bock, S. Gauss, A. Hobl, D. Krischel, M. Schillo, P. Schafer, "HTc Current Leads in Commercial Magnet Systems Applying Bi 2212 MCP BSCCO Material", IEEE Transactionctivity, Vol. 9, No. 2, pp495-498, 1999