

공정변수에 따른 초전도 튜브의 전기적 특성변화

박치완, 장건익, 하동우*, 성태현**

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

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

Chungbuk National University, KERI*, KEPRI**

Abstract

High-temperature Superconductor(HTS) tubes were fabricated in term of different processing variables such as preheating temperature, speed of mold rotation and cooling rate 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 roating speed was 1000rpm. A tube was annealed at 840°C for 72hours in oxygen atmosphere. The plate-like grains were well developed along the roating direction and typical grain size was about more than 40 μ m. It was found that I_c values increased with increasing the preheating temperature and speed of mold rotation. While I_c decreased with increasing the cooling rate. The measured I_c in 50mm \times 70mm \times 2.5mm tube was about 896Amp.

Key Words : Preheating temperature, speed of mold rotation, cooling rate, 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 몰드의 예열온도 및 회전속도, 냉각속도의 변화에 따른 초전도 튜브의 전기적 특성을 평가하고자 하였다. 또한 XRD와 SEM, EDS를 통하여 시편의 미세구조와 상분석을 하였다.

2. 실험

본 실험의 전반적인 공정은 그림 1에 나타내었다.

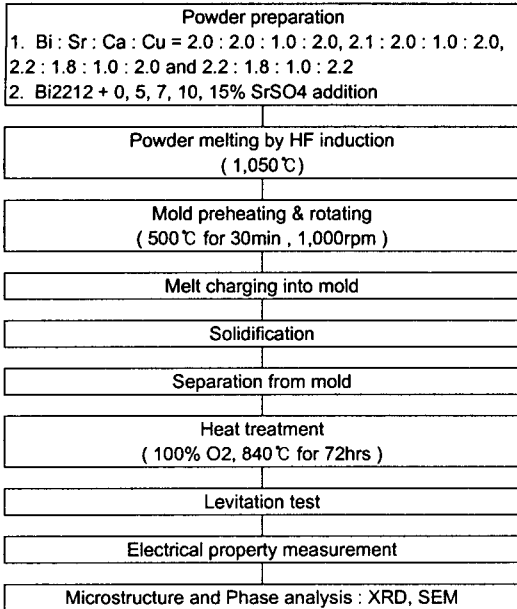


그림 1. 실험 공정도

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

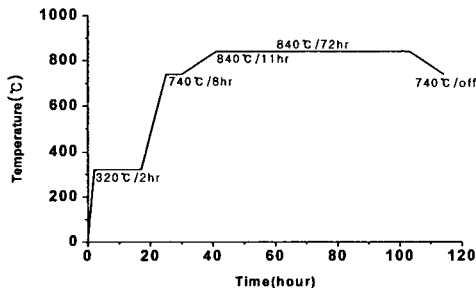


그림 2. 초전도 튜브의 열처리 과정

튜브는 직경 30mm, 길이 60mm, 두께 4.8mm 크기의 튜브형태로 제조 하였으며, 몰드의 예열온도와 회전속도, 냉각속도등의 공정변수를 제어하였다. 제조된 튜브는 T_c , I_c 값을 측정, 비교하였으며 SEM, XRD, EDS를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 3은 제조된 초전도 튜브의 다양한 사진이다.

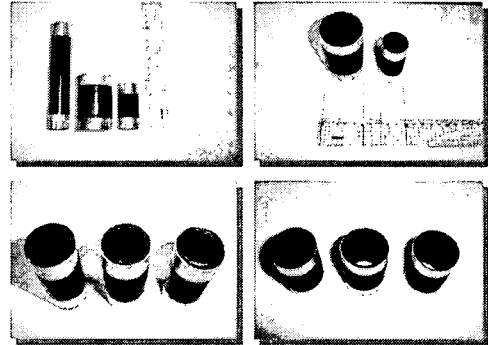
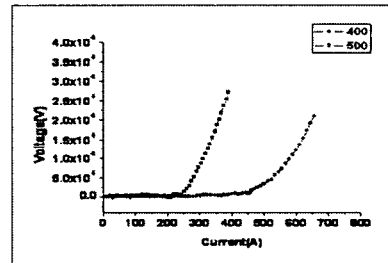
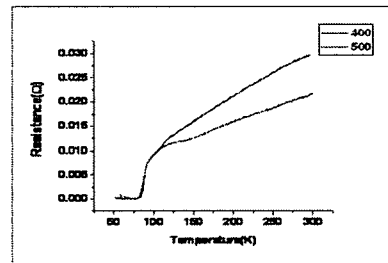


그림 3. 다양한 형태로 제조된 초전도 튜브

그림 4는 몰드의 예열온도에 따른 전기적 특성을 나타낸 그림이다.



(a) I_c 값

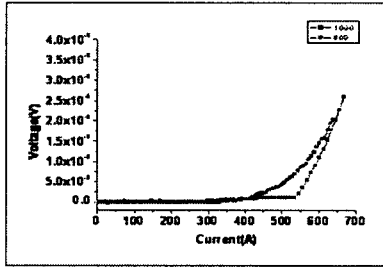


(b) T_c 값

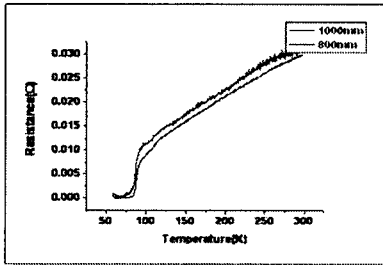
그림 4. 몰드의 예열온도에 따른 전기적 특성

몰드의 예열온도를 400°C와 500°C로 변화하여 30mm×60mm×4.8mm 형태의 초전도 튜브를 제조하였다. 몰드를 400°C로 예열하였을때의 제조된 튜브의 전기적 특성은 $I_c = 250(\text{A})$, $T_c = 90(\text{K})$ 의 값을 나타내었으며, 500°C로 예열한 몰드에서 제조된 튜브의 전기적 특성은 $I_c = 460(\text{A})$, $T_c =$

92(K)을 나타내었다. 몰드의 예열온도가 높을수록 전기적 특성은 증가하였다. 그림 5는 몰드의 회전 속도에 따른 전기적 특성을 나타낸 그림이다.



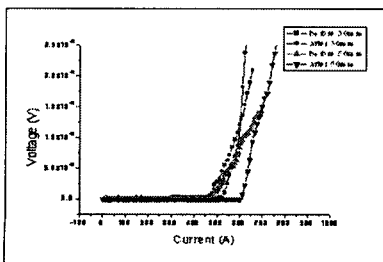
(a) Ic 값



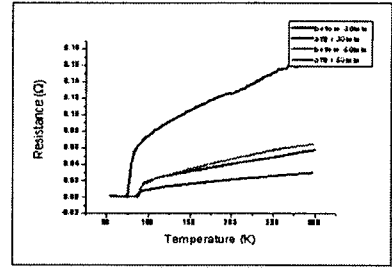
(b) Tc 값

그림 5. 몰드의 회전 속도에 따른 전기적 특성

몰드의 회전속도를 800rpm, 1000rpm으로 변화하여 30mm×60mm×4.8mm 형태의 초전도 튜브를 제조 하였다. 이때 몰드의 예열온도는 500℃로 예열하였다. 몰드를 800rpm으로 회전하여 제조된 튜브의 전기적 특성은 $I_c = 414(A)$, $T_c = 91(K)$ 의 값을 나타내었 으며, 1000rpm으로 회전하여 제조된 튜브의 전기적 특성은 $I_c = 550(A)$, $T_c = 92(K)$ 의 값을 나타내었다. 따라서 몰드의 회전속도가 높을수록 전기적 특성은 증가하였다. 그림 6은 냉각속도 차이에 따른 전기적 특성을 나타낸 그림이다.



(a) Ic 값



(b) Tc 값

그림 6. 냉각속도에 따른 전기적 특성

몰드의 예열온도 500℃, 몰드의 회전속도 1000rpm의 조건에서 튜브를 제조하고 열교환기를 사용하여 냉각속도를 조절 하였다. 이때 제조된 튜브의 전기적 특성은 30mm×60mm×4.8mm 튜브에서 $I_c = 550(A)$, $T_c = 91(K)$ 의 값을 나타내었으며, 50mm×70mm×4.8mm 튜브에서 $I_c = 597(A)$, $T_c = 92(K)$ 의 값을 나타내었다. 냉각속도를 빠르게 하여 제조된 튜브에서 전기적 특성은 증가하였다. 그림 7과 그림 8에는 50mm×70mm×2.5mm의 형태로 제조된 초전도 튜브의 Ic값과 SEM 사진을 나타내었다.

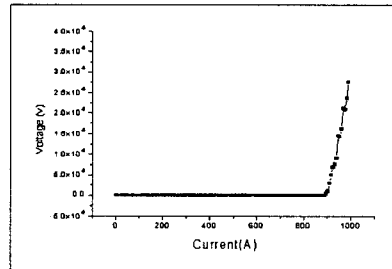


그림 7. 초전도 튜브의 Ic값

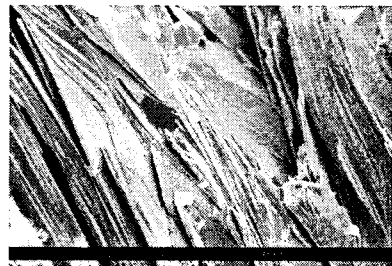


그림 8. 초전도 튜브의 SEM 사진

튜브는 몰드의 예열온도 500℃, 몰드의 회전속도 1000rpm의 조건에서 제조하였으며, 냉각시 열교환기

를 사용하여 냉각속도를 빠르게 조절 하였다. 그림 7에서 전기적 특성은 $I_c = 896(A)$ 의 값을 나타내었으며, 그림 8에서 미세구조는 몰드의 회전방향에 따라서 일정한 방향성을 가지는 판상형태의 매우 잘 발달된 미세구조를 나타내었다.

다음은 제조된 초전도 튜브를 절단하여 튜브내의 미세구조와 결정구조를 분석해 보고자 하였다. 절단된 튜브는 3가지 영역에 대하여 XRD, EDS를 측정하였다. 그림 9는 XRD, 그림 10은 EDS의 결과를 나타내었다.

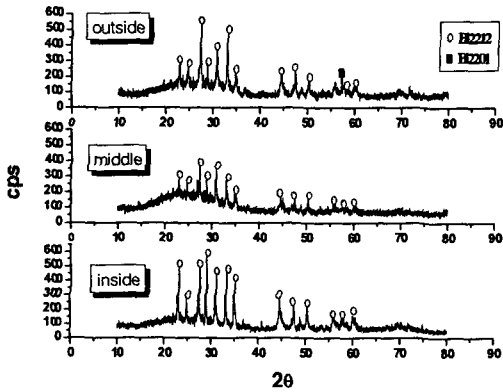


그림 9. 초전도 튜브의 XRD 분석

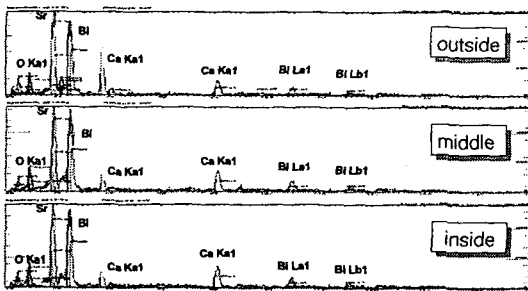


그림 10. 초전도 튜브의 EDS 분석

그림 9와 그림 10의 상분석 결과 잘 발달된 Bi2212 초전도상이 전체적으로 잘 발달된 것으로 분석 되었다.

4. 결론

본 연구에서는 Bi2212 고온초전도 튜브를 몰드의 예열온도와 회전속도, 냉각속도등의 공정변수에

따른 전기적인 특성을 측정, 비교해 보고자 하였다.

- 1) SEM과 XRD 분석결과 튜브내 Bi2212 초전도상은 몰드의 회전 방향에 따라 판상조직을 나타내었다.
- 2) 튜브는 몰드의 예열온도와 회전속도가 증가할수록 I_c 값이 점차 증가하였고, 냉각속도를 빠르게 조절 하였을때 I_c 값은 증가하였다.
- 3) 50mm×70mm×2.5mm의 형태로 제조된 튜브의 $I_c = 896(A)$, $T_c = 86(K)$ 의 값을 나타내었다. 이때 튜브는 몰드의 예열온도 500℃, 몰드의 회전속도 1000rpm의 조건에서 제조하였고, 냉각속도를 빠르게 조절 하였다.

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 $Bi_2Sr_2CaCu_2O_8$ 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 $Bi_2Sr_2CaCu_2O_y$ 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 $Bi_2Sr_2Ca-Cu_2O_y$ Superconductor in Oxygen and Argon Atmospheres" IEEE Transaction on Applied Superconductivity, Vol. 3 No. 1, pp178-181, 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, pp45-48, 1999