

저항형 한류기용 Bi-2212 고온초전도 튜브의 전기적 특성

이남일, 장건익, 오일성*, 박권배*
충북대학교 재료공학과, LS 산전*

Electric Characteristics of Bi-2212 HTSC Tubes for Resistive SCFCL

Nam-il Lee, Gun-ik Jang, Il-sung Oh*, Kwun-bae Park*

Dept. Materials Science and Engineering, Chungbuk national university, LS Industrial System Co., Ltd.*

Abstract : 본 연구에서는 MCP법을 이용하여 Bi2212 초전도 튜브를 제작하고 공정 변수에 따른 초전도 튜브의 전기적 특성을 평가하였다. 초전도 분말은 1100 °C에서 용융하여 300~500 °C로 예열된 몰드 내에 주입하였으며 몰드는 1000 RPM으로 회전시켰다. 제작된 초전도 튜브는 840 °C의 O₂ 분위기에서 72시간 열처리 하였다. SEM과 XRD 분석결과 튜브는 약 40 μm의 크기를 갖는 Bi2212 초전도 상이 일정한 방향성을 갖으며 XRD 분석 결과 튜브 바깥부분에 Bi2201상이 존재하였다. 전기적 특성은 몰드 회전 속도가 증가할수록, 튜브의 두께가 증가할수록, 길이가 감소할수록 높은 I_c 값을 나타내었으며, 이때 50 mm×70 mm×2.5 mm, 1000 RPM의 튜브에서 전기적 특성은 I_c= 890 A, T_c= 80 K의 값을 나타내었다.

Key Words : 한류기, 초전도, Bi-2212

1. 서 론

초전도 한류기(SCFCL)는 전력기기에서 가장 유망있는 HTS의 응용분야 중 하나로 전 세계적으로 연구가 활발하게 이루어 지고 있다. 그중 저항형 한류기는 유도형에 비해 경제성과 실용성이 좋아 많은 관심이 집중되고 있다. 저항형 한류기에 사용되는 초전도 튜브는 수 밀리 초 내에 동시 켜치를 만족시켜야 하는 균일한 초전도 특성어 요구되고 있다. 이를 위하여 고온초전도체가 전력분야에 응용되기 위해서는 낮은 J_c 문제를 해결해야 하므로 C-축 입자배열을 비교적 쉽게 얻을 수 있는 BSCCO계 위주로 연구가 진행되고 있다. J. Bock 등은 BSCCO 고온초전도 튜브를 MCP(Melt Casting Process)법으로 제조하여 시편의 크기에 따라 600~4000 A/cm²의 J_c를 얻었다. 이 결과는 일반적인 소결법으로 얻어진 시편보다 높은 J_c를 나타내고 있으며 현재까지 벌크를 이용한 공정 중에서 경제성이나 특성 면에서 가장 재현성이 높다고 평가되고 있다. 특히 임의의 크기나 두께 조절로 다양한 형태의 초전도체 제조가 용이하다.

본 연구에서는 MCP법을 응용한 원심성형로를 자체 설계 제작하여 Bi-2212 초전도 튜브를 제조하고 몰드의 회전 속도, 튜브의 두께, 길이에 따른 초전도 튜브의 전기적 특성을 평가하고자 하였다.

2. 실험

본 연구의 튜브 제조 공정은 그림 1에 나타내었다. Bi_{2.0}Sr_{2.0}Ca_{1.0}Cu_{2.0} 분말에 5 wt% SrSO₄를 첨가하고 용융시킨 후 원심성형법으로 초전도 튜브를 제조하여 고주파 유도로를 이용, 1100 °C까지 가열하여 제조 하였다. 제조된 튜브는 840 °C의 산소 분위기에서 72시간 열처리 시켜 주었다.

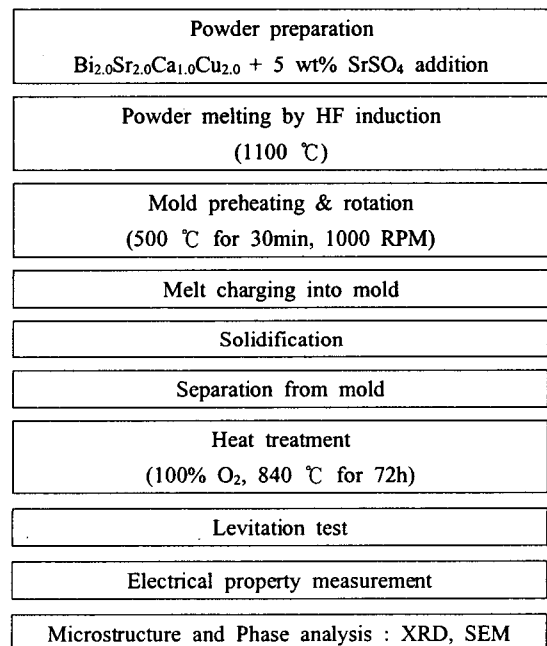


그림 1. 튜브 제조 공정

튜브는 800 RPM, 1000 RPM의 회전속도 변화와 60 mm, 150 mm의 길이변화, 2.5 mm, 3.5 mm, 4.8 mm의 두께를 변화 시켜 제조 하였다. 제조된 튜브는 T_c, I_c값을 측정, 비교하였으며 SEM, XRD등을 측정하여 미세구조 및 성분을 분석하였다.

3. 결과 및 검토

몰드의 회전속도에 따른 T_c와 I_c 특성은 800 RPM의 30 mm × 60 mm × 4.8 mm 시편에서 T_c= 83 K, I_c= 414 A,

1000 RPM의 30 mm×60 mm×4.8 mm 시편에서 $T_c = 85$ K, $I_c = 461$ A를 나타내었다. 이 결과 회전속도가 클수록 튜브에 받는 원심력이 커져 튜브의 밀도가 증가하고 그에 따른 기공의 감소에 의한 것으로 판단된다. 길이에 따른 T_c 와 I_c 특성은 30 mm×60 mm×4.8 mm 시편에서 $T_c = 84$ K, $I_c = 550$ A, 30 mm×150 mm×4.8 mm 시편에서 $T_c = 86$ K, $I_c = 430$ A를 나타내었다. T_c 값은 150 mm 시편이 우수하였으나 I_c 는 60 mm 시편이 우수한 특성을 나타내었다. 두께에 따른 T_c 와 I_c 특성은 50 mm×70 mm×2.5 mm 시편에서 $T_c = 80$ K, $I_c = 896$ A, 50 mm×70 mm×3.5 mm 시편에서 $T_c = 85$ K, $I_c = 661$ A, 50 mm×70 mm×4.8 mm 시편에서 $T_c = 78$ K, $I_c = 537$ A를 나타내었다. 튜브의 I_c 값은 튜브 두께가 감소하면서 점차 증가하는 경향을 보였으며 50 mm×70 mm×2.5 mm 시편에서 $I_c = 896$ A로 가장 높은 값을 나타내었다. 이는 튜브의 두께가 증가할수록 미세구조가 일방향 판상 배향성에서 무질서한 구조로 변화되면서 나타나는 것으로 판단되었다.

50 mm×70 mm×2.5 mm 시편을 절단하여 튜브내의 미세구조와 결정 구조를 분석하였다. 절단된 튜브는 3가지 영역에 대하여 SEM, XRD를 측정하였다. 그림 2는 튜브의 부위별 SEM을 나타내고, 그림 3은 XRD결과를 나타낸다.

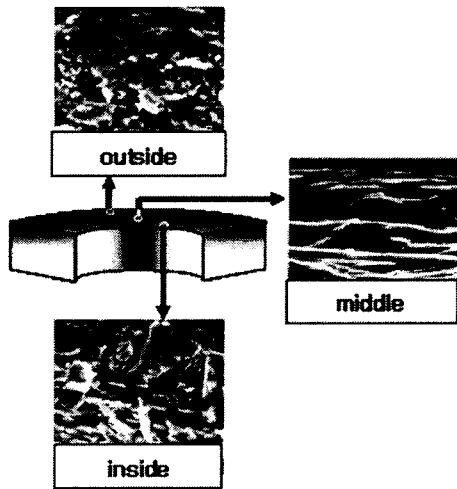


그림 2. 튜브의 부위별 SEM

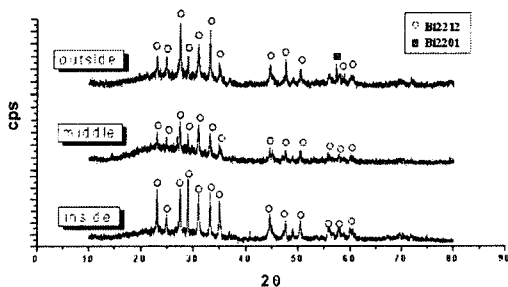


그림 3. 튜브의 부위별 XRD

위 실험 결과로 튜브의 미세구조는 중간층이 약 40 μm

이상의 판상형으로 잘 배열되어있음을 볼 수 있고, 상분석 결과 튜브의 바깥부분에 Bi-2201상이 존재하는 것으로 분석 되었다.

4. 결론

본 연구에서는 Bi-2212 고온초전도 튜브를 회전 속도, 길이, 두께에 따른 전기적인 특성을 측정, 비교 하였다.

- 1) 튜브는 원심성형법을 이용, 800 RPM, 1000 RPM의 몰드 회전속도, 길이 60 mm, 70 mm, 두께 2.5 mm, 3.5 mm, 4.8 mm로 성형조건을 조절하여 제조하였다.
- 2) SEM과 XRD 분석결과 튜브 내 Bi-2212 초전도 상은 몰드의 회전 방향에 따라 40 μm 이상의 판상 조직을 나타내었다.
- 3) 튜브를 외각, 중간, 내부로 부위별 분석 시 XRD 데이터를 통해 외부에 Bi-2201 상이 존재함이 분석 되었다.
- 4) 튜브는 몰드의 회전속도에 따라 I_c 값이 점차 증가하는 반면 길이와 두께가 증가할수록 감소하는 경향을 나타내었고 50 mm×70 mm×2.5 mm 튜브의 경우 I_c 값은 약 896 A를 나타내었다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 차세대 초전도 응용 기술개발 사업단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] A.K Ghosh, A.N. Basu, "The Influence of Synthesis Conditions on $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$ 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 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$ single crystal 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 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$ 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, "HTS Current Leads in Commercial Magnet Systems Applying Bi-2212 MCP BSCCO Material", IEEE Transaction on Applied Superconductivity, Vol. 9, No. 2, pp495-498. 1999.