

## Bi2212 Tube Characteristics for SCFCL

N. I. Lee, G. E. Jang<sup>a</sup>, I. S. Oh, G. B. Park<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Dept. Materials Science and Engineering Chungbuk national University, Cheongju Korea.

<sup>b</sup> LS Industrial System Co., Ltd.

### 한류기용 Bi2212 튜브의 특성

이남일, 장건익<sup>a</sup>, 오일성, 박권배<sup>b</sup>

#### Abstract

For the practical application on SCFCL, Bi2212 tubes were fabricated by Centrifugal Forming Process (CFP) in terms of many different processing parameters. Typical sizes of tubes were 60, 150 mm in length and 2.5, 3.5, 4.8 mm in thickness. Initially powder was melted by induction heating. The optimum range of melting temperatures and preheating temperature were 1100°C and 500°C for 30min respectively. The nominal mold rotating speed was around 1000 RPM. A tube was annealed at 840°C for 80 hours in oxygen atmosphere. The tube of 50 mm × 70 mm × 2.5 mm, rotated with 1000 RPM showed  $I_c = 890$  A and  $T_c = 80$ . It was found that the tube processed with faster rate of mold rotation speed, thinner tube thickness and shorter tube length shows better electric characteristics as compared with the tube normally processed. In order to study the uniformity heat and fluid flow analysis tool was adopted along tube.

*Keywords* : Bi2212, Centrifugal Forming Process. SCFCL, Uniformity

#### I. Introduction

초전도 한류기(SCFCL)는 전력기기에서 가장 유망있는 HTS의 응용분야 중 하나로 전 세계적으로 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 그 중 저항형 한류기는 스위치형 수동소자로써 통전 전류가 임계전류 초과시 상전이에 의한 저항발생을 이용한다. 한류소자 제작의 연구 동향을 살펴보면, Nexans사는 MCP (Melt Casting

Process)법으로 Bi2212 튜브를 제작하였다. 이 튜브는  $J_c = 1.1$  KA/cm<sup>2</sup> @ 77K, 3.5 KA/cm<sup>2</sup> @ 65 K 이다. 가용 전류를 증대시키기 위해 소자는 65 K에서 운용된다. 국부적  $\Delta J_c/J_c = 4\%$  정도까지 제조되고 있다. 또한 ABB사는 Bi2212 전구체 분말 ( $D_{90} = 20 \mu\text{m}$ )을 Ag power 및 바인더와 함께 슬러리를 만들어 tape casting한다. 이를 0.1 m<sup>2</sup> 면적으로 자르고 Ag가 도포된 기판위에 넣어 건조 후 열처리 한다. 이렇게 제작된 Bi2212 plate는 non-textured 다결정 미세구조를 보인다. 이 도체의 임계온도는  $T_c = 95$  K이고, 임계전류는 77 K에서  $J_c = 5$  KA/cm<sup>2</sup> 정도로 대단

\*Corresponding author. Fax : +82-43-274-8925

e-mail : gejang@chungbuk.ac.kr

히 높은 값을 보인다.

본 연구에서는 MCP법을 이용 Bi-2212 초전도 튜브를 제조하고 몰드의 회전 속도, 튜브의 두께, 길이에 따른 초전도 튜브의 전기적 특성을 평가하였다. 또한 튜브 길이에 관한 균일성을 평가하기 위하여 열 유동해석 툴을 이용하였다.

## II. Experimental

본 연구의 튜브 제조 공정은  $\text{Bi}_{2.0}\text{Sr}_{2.0}\text{Ca}_{1.0}\text{Cu}_{2.0}$  분말에 5 wt%  $\text{SrSO}_4$ 를 첨가하고 용융시킨 후 원심성형법으로 초전도 튜브를 제조하여 고주파 유도로를 이용, 1100 °C까지 가열하여 제조하였다. 제조된 튜브는 840 °C의 산소 분위기에서 72시간 동안 열처리 하였다.

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  $T_c$ ,  $I_c$ 값을 측정, 비교하였으며 SEM, XRD등을 측정하여 미세구조 및 성분을 분석하였다.

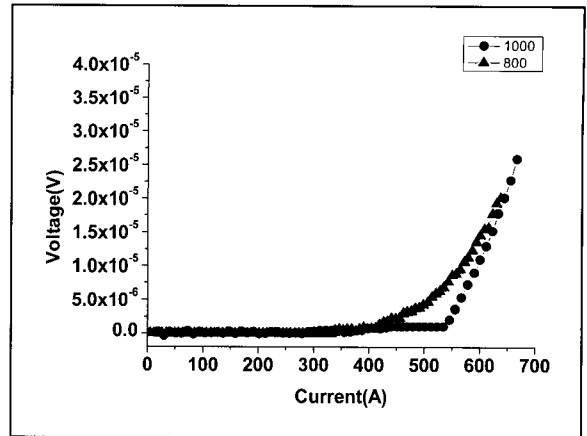
또한 NIKA사의 열 유동 해석 툴인 EFDLab을 이용하여 길이에 대한 균일성을 평가하였고, 이때 초기의 Bi2212 용융물의 온도는 900 °C 이었고 physical time 100s 동안 해석하였다.

## III. Result and discussion

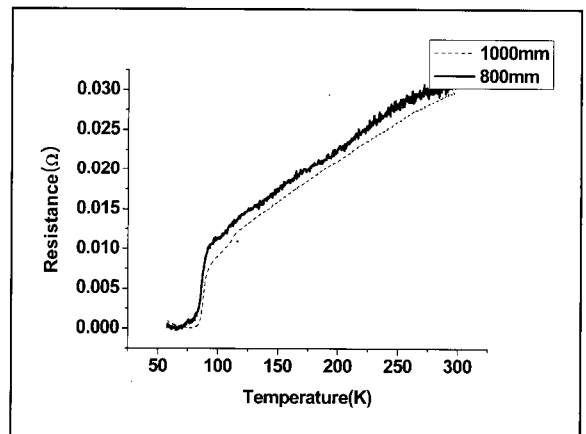
몰드의 회전속도에 따른  $T_c$ 와  $I_c$  특성은 800 RPM의 30 mm × 60 mm × 4.8 mm 시편에서  $T_c = 83$  K,  $I_c = 414$  A, 1000 RPM의 30 mm × 60 mm × 4.8 mm 시편에서  $T_c = 85$  K,  $I_c = 461$  A를 그림 1에 나타내었다.

이 결과는 회전속도가 클수록 튜브에 받는 원심력이 커져 튜브의 밀도가 증가하고 그에 따른 기공의 감소에 의한 것으로 판단된다.

그림 2는 길이에 따른  $T_c$ 와  $I_c$  특성을 나타낸다. 30 mm × 60 mm × 4.8 mm 시편에서  $T_c = 84$  K,



(a)

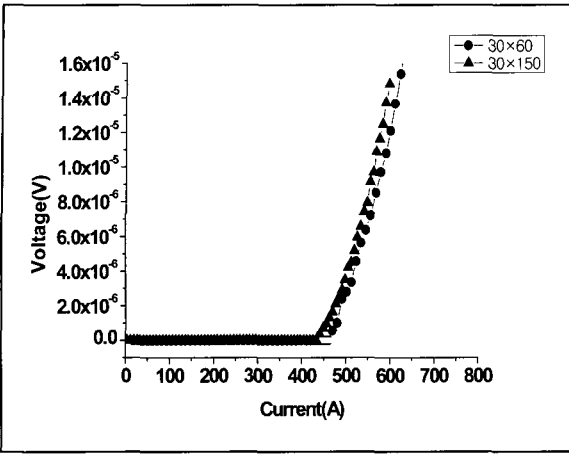


(b)

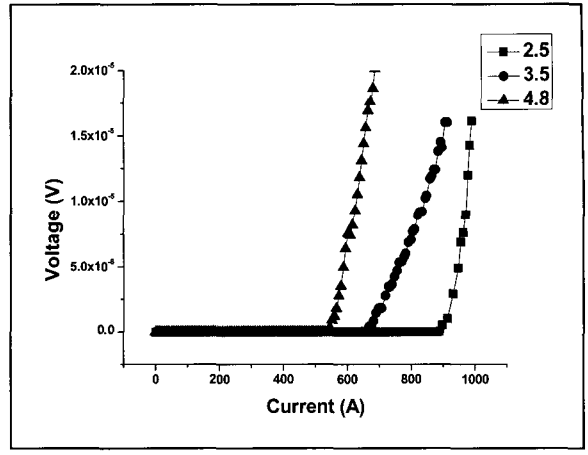
Fig. 1. The typical tube characteristics depending on mould rotation speeds : a)  $I_c$  data and b)  $T_c$  data.

$I_c = 460$  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.

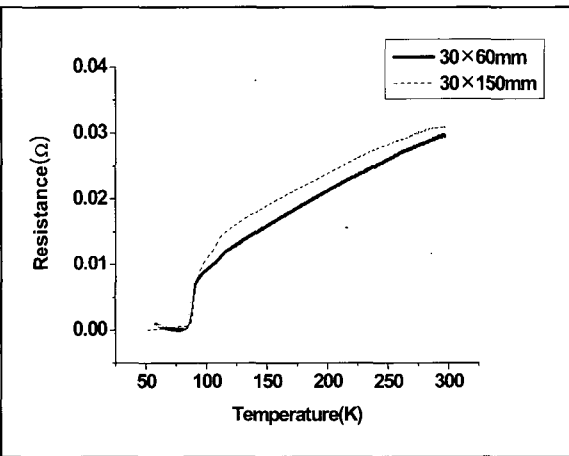
그림 3은 두께에 따른  $T_c$ 와  $I_c$ 특성을 나타낸다. 50 mm × 70 mm × 2.5 mm 시편에서  $T_c = 80$  K,  $I_c = 896$  A, 50 mm × 70 mm × 3.5 mm 시편에서  $T_c = 85$  K,  $I_c = 661$  A, 50 mm × 70 mm × 4.8 mm 시편에서  $T_c = 78$  K,  $I_c = 537$  A를 나타내었다. 튜브의  $I_c$ 값은 튜브 두께가 감소하면서 점차 증가하는 경향을 보였으며 50 mm × 70 mm × 2.5 mm 시편에서  $I_c = 896$  A로 가장 높은 값을 나타내었다.



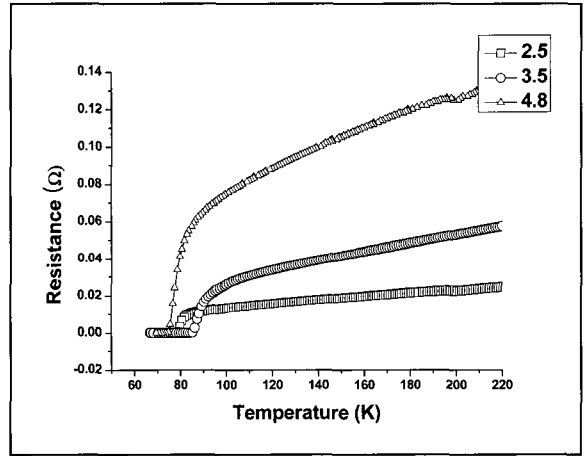
(a)



(a)



(b)



(b)

Fig. 2. The typical tube characteristics depending on length : a)  $I_c$  data and b)  $T_c$  data.

Fig. 3. The typical tube characteristics depending on Thickness : a)  $I_c$  data and b)  $T_c$  data.

이는 튜브의 두께가 증가할수록 미세구조가 일방향 판상 배향성에서 무질서한 구조로 변화되면서 나타나는 것으로 판단된다.

30 mm×150 mm×4.8 mm 튜브를 부위별 특성을 알아보기 위해 3등분으로 단자를 결속한 후  $I_c$ ,  $T_c$ , XRD 및 SEM을 측정하였다. 그림 4는 3 등분으로 단자를 결속한 모습과 부위별 SEM 결과이다. SEM 측정 결과 세 부분 모두 방향성을 갖는 층상구조로 성장했음을 확인하였다.

그림 5는 부위별 전기적 특성 측정 결과를 나타낸다.  $I_c$ 는 1번 부분이 600 A, 2번 부분이

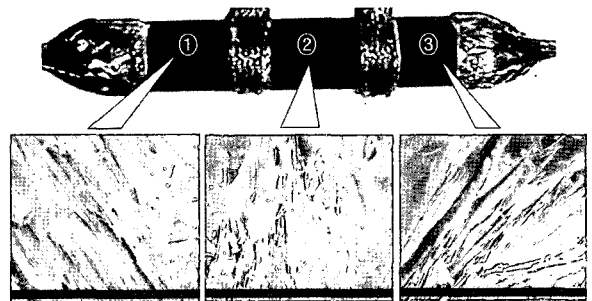


Fig. 4. The picture of tube to measure the uniformity along the tube and SEM micrographs of fractured tube surface taken from 3 different areas.

450 A, 3번 부분이 650 A로 용융물 주입부인 3번 부분이 가장 높았다.

열 유동 해석 프로그램인 NIKA사의 EFDLab을 이용해 냉각 속도와 튜브의 특성을 비교 분석한 결과를 그림 6에 나타내었다. 표 1은 해석시 다양한 조건을 나타낸다.

그림 7은 부위별 XRD 측정 결과를 나타낸다. 측정 결과 3번 부분이 가장 높은 intensity를 나타내었고, 2번 부분이 가장 낮은 결과를 나타내었다. 또한 세 부분 모두 2201 상이 존재하는 것으로 분석 되었다.

튜브를 3등분 하여 특성을 측정해본 결과 중

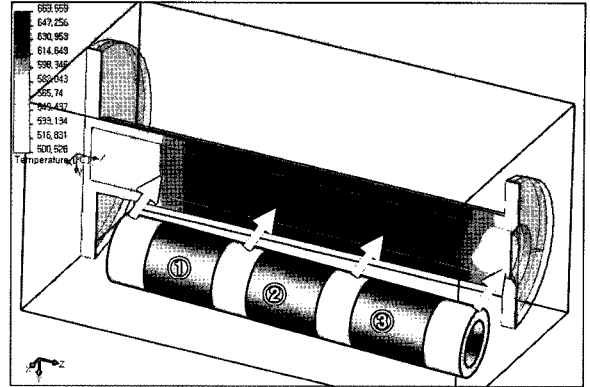


Fig. 6. Temperature distribution analysis of 3 different areas.

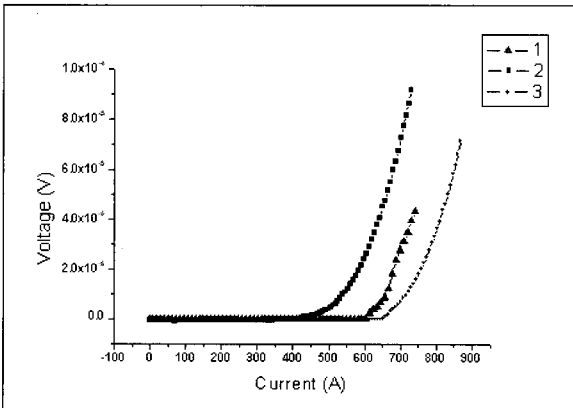


Fig. 5. The I-V characteristics from the tube of 3 different area at 77 K.

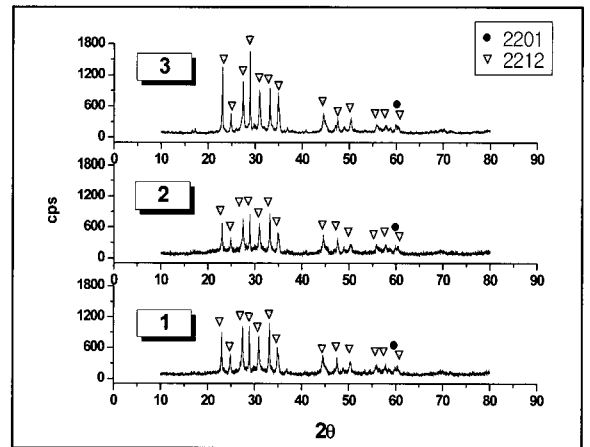


Fig. 7. XRD diffraction patterns from the tube parts of 3 different areas shown in Fig. 4.

Table 1. Various conditions for fluid flux analysis.

● Rotating reference frame	
Axis of coordinate system	Z
Velocity	1000 RPM
● Finish Conditions	
Finish Conditions	If one is satisfied
Maximum physical time	100 s
● Number of Cells	
Total Cells	93616
Fluid Cells	2912
Solid Cells	86476
Partial Cells	4228
Irregular Cells	0

간 부분인 2번이 가장 낮은  $I_c$  값과 가장 낮은 XRD intensity를 나타내었고 열 유동 해석 프로그램으로 비교 분석해 본 결과 냉각 속도도 가장 낮은 결과를 나타내었다. 반면 가장 높은  $I_c$ 와 XRD intensity를 나타낸 3번 부분의 냉각속도가 가장 빠른 결과를 나타내었다. 따라서 냉각 속도가 늦을수록 전기적 특성도 낮아지는 것으로 분석 되었다.

#### IV. Conclusions

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  $\mu\text{m}$  이상의 판상 조직을 나타내었다.

3) 튜브는 몰드의 회전속도에 따라  $I_c$ 값이 점차 증가하는 반면 길이와 두께가 증가할수록 감소하는 경향을 나타내었고 50 mm $\times$ 70 mm $\times$ 2.5 mm 튜브의 경우  $I_c$ 값은 약 896 A를 나타내었다.

4) 튜브를 3등분으로 나눠 특성을 측정한 결과와 열 유동 해석 결과와 비교 분석한 결과 냉각 속도가 늦을수록 낮은 전기적 특성을 나타내었다

## V. Acknowledgments

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

## References

- [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.