

700A급 고온초전도 전류도입선 제조

박승남, 박치완, 장건익, *하동우, **성태현
충북대학교 재료공학과
*한국전기연구원 초전도연구실
**한국전력연구원 신기술팀

700Amp class of HTS current lead Fabrication

Seung-nam Park, Chi-wan Park, Gun-Eik Jang, *Dong-woo Ha,
**Tae-Hyun Seung

Department of Materials Engineering, Chungbuk National University
*Superconductive Laboratory, Korea Electrotechnology Research Institute
**New Technology Team, Korea Electric Power Research Institute

gejang@chungbuk.ac.kr

Abstract- HTS tubes were fabricated in terms of various SrSO₄ additions by Centrifugal Forming Method. For powder melting by induction, the optimum temperature ranges of melting and preheating 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 72 hours in oxygen atmosphere. The plates like grains more than 20 μ m were well developed along the rotating direction of mould regardless of the amounts of SrSO₄ in Bi2212. The measured I_c and J_c at 77K(B = 0T) in Bi2212 with 7% SrSO₄ composition were about 680A and 380A/cm².

Key Words : MCP(Melt Cast Process), Bi2212, Tube, Critical current(I_c)

1. 서 론

현재 전력 기기에서 가장 유망 있는 고온초전도체 응용 분야중의 하나는 한류기이다[1]. 이 한류기는 신속한 고장전류 제한으로 전력계통의 안정성을 확보해 주어, 현재 에너지·정보통신·환경 분야에서 많은 연구가 이루어지고 있다.[2,3]. 한류기에 사용되는 초전도체는 적용범위 및 방식에 따라 선재, 박막, 튜브형태의 벌크재료가 사용되고 있다. 초전도 재료는 현재 C축 배열이 용이한 Bi2212[4] 재료를 가장 많이 사용하고 있으며 대표적인 예는 Bi2212 초전도체를 사용, 직경 50mm, 두께 5mm, 길이 300mm의 튜브형태에서 입계전류 900A급의 전류도입선[5]이다. 이는 MCP기법으로 만들어 졌으며, 이 기법의 장점은 초전도체의 형태와 크기를 임의로 제어할 수 있다는 것이다.

본 연구에서는 원심성형기법을 이용 초전도투

브를 제조하였다. 이를 위하여 1차적으로 분말을 용융, 회전하는 몰드에 주입 후 튜브형태로 성형하기 위하여 원심성형로를 자체 설계·제작 하였다. Bi2212 고온초전도체에 기계적·전기적 안정성에 기여하는 것으로 알려진 SrSO₄를 Bi2212 분말에 첨가하여 전기적 특성을 평가하였다. 또한 SrSO₄ 첨가에 따른 미세구조 및 편석여부를 조사하기 위하여 XRD로 상을 분석하고, SEM으로 미세조직을 관찰하였다.

2. 실험

Bi2212 분말 100g에 SrSO₄의 wt%에 따른 특성파악을 위해 5wt%, 7wt%, 10wt%, 15wt% 비율로 SrSO₄의 양을 다르게 첨가하였다. 혼합된 분말은 고주파 유도용해로와 백금 도가니를 사용하여 1050°C에서 20분간 용융하여 균일한 용융체가 되도록 하였고, 1000rpm으로 회

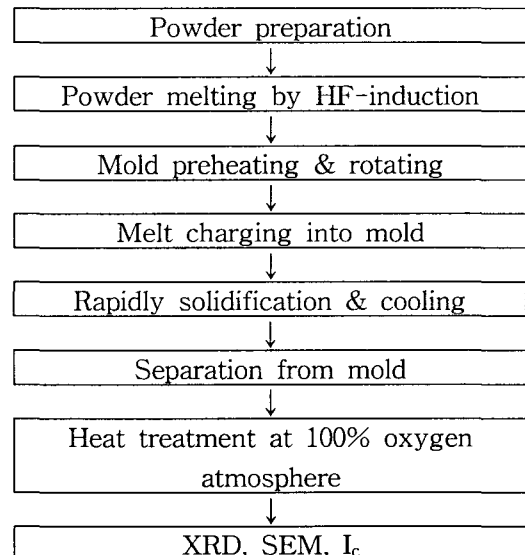


Fig.1.The overall experimental processing chart

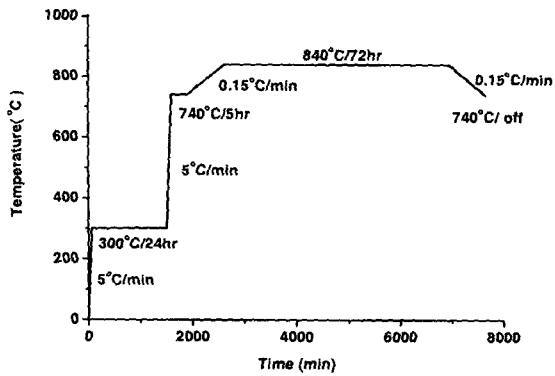


Fig.2. The detailed heat treatment schedule

전하는 몰드에 주입하였다. 이 때 열 충격에 의한 손상을 방지하고자 550°C에서 30분간 예열하였다. 또한 임계전류 측정을 위한 전극 용도로 은 튜브를 몰드의 양 끝단에 삽입하였다.

그림 1은 전체적인 실험과정의 개략도이다. 열처리 후 액체질소에서 자석에 대한 반발 여부를 확인한 후 튜브 양 끝단의 은 전극에 구리 케이블을 납땜하여 부착시키고 임계전류와 임계전류밀도를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 3은 SrSO₄의 첨가비율별로 제조한 Bi2212 고온초전도체 튜브들로 외경 30mm, 길이 60mm, 두께는 2~3mm이었다. 이 튜브들은 액체질소 하의 부상실험에서 모두 마이스너 효과를 보여 주었다.

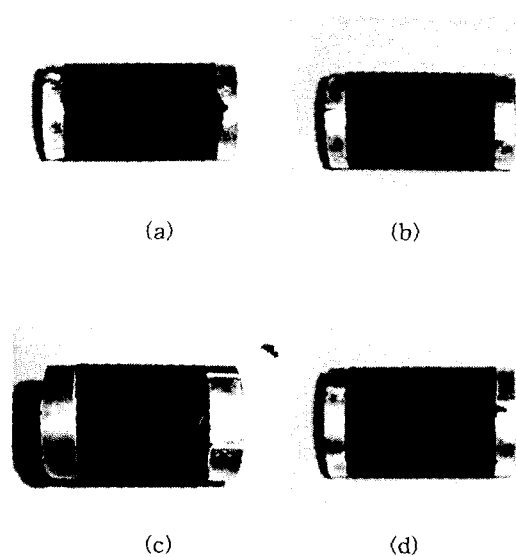


Fig.3. The Bi2212 tubes fabricated by different SrSO₄ addition
(a) 5wt% (b) 7wt% (c) 10wt% and (d) 15wt%

그림 4는 제조된 시편의 XRD 패턴으로 SrSO₄의 첨가량에 상관없이 회절 강도를 제외하고는 비슷한 형태를 보였고, 대체적으로 전형적인 Bi₂Sr₂Ca₁Cu₂O_{8+x} 상을 나타내었다.

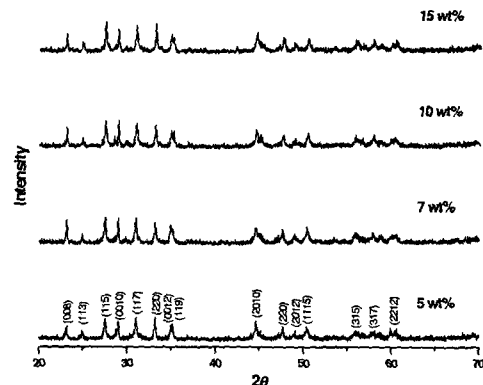


Fig.4. XRD diffraction patterns in terms of different SrSO₄ addition in Bi2212 compounds after heat treatment at 850°C for 72 hours in oxygen atmosphere

그림 5는 840°C에서 72시간 동안 열처리 된 시편들의 SEM 사진으로, 판상 형태의 잘 발달된 미세구조가 관찰되었다.

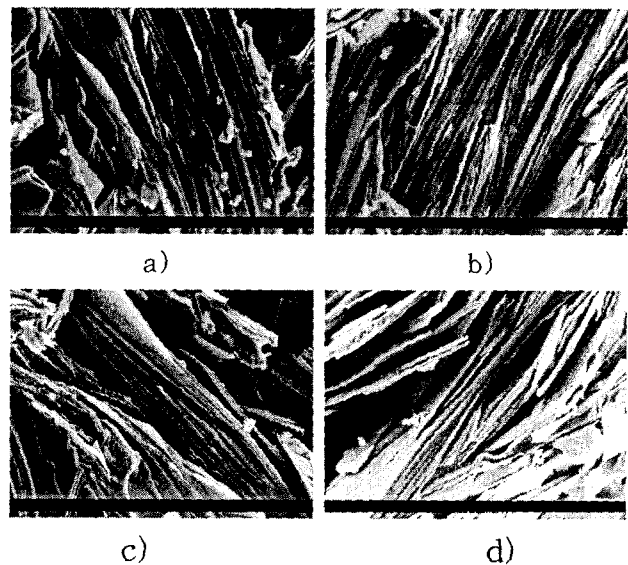


Fig.5. SEM images of fractured tube surface with different SrSO₄ addition
a) 5wt% b) 7wt%
c) 10wt% d) 15wt%

그림 6은 SrSO₄ 7wt% 튜브의 파단면의 SEM 사진과 EDAX 결과이다. 입계부분에서 XRD분석에서 파악이 어려운 황의 성분의 이차상 형태로 존재함을 확인 할 수 있었다.

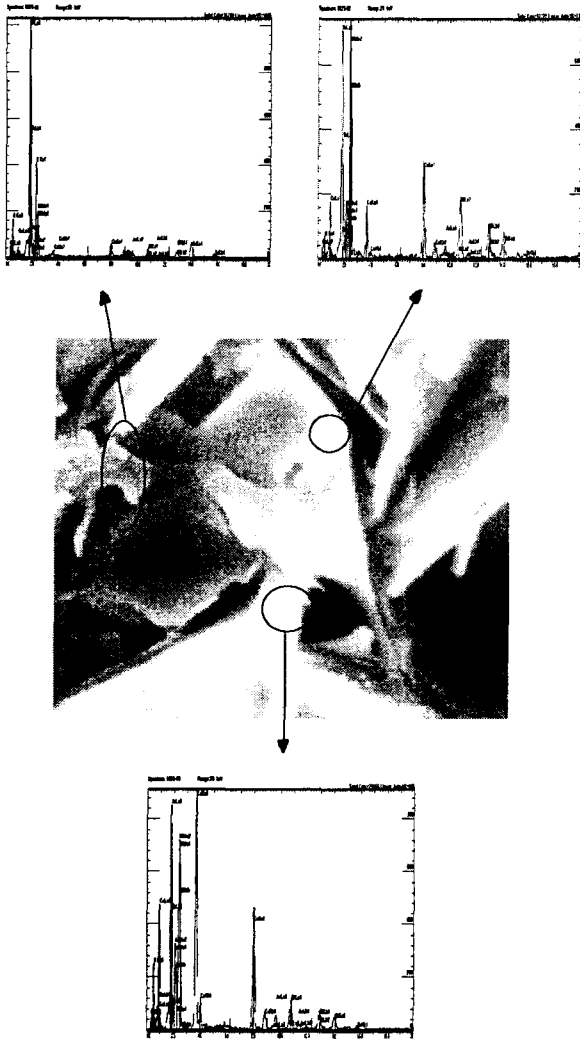
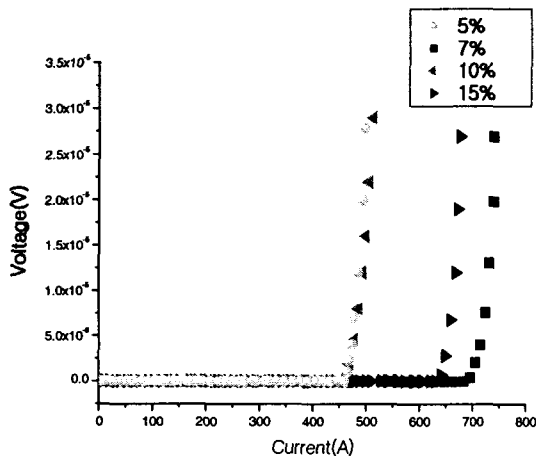
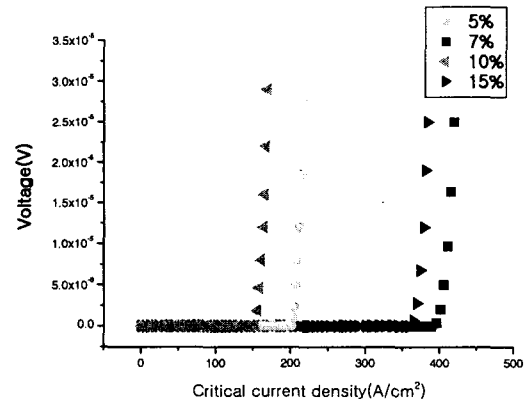


Fig.6. SEM image and EDAX results taken on the fractured surface of Bi2212 tube with 7 weight% of SrSO₄

그림 7은 SrSO₄를 Bi2212 분말 100g에 5wt%, 7wt%, 10wt%, 15wt%씩 첨가하여 제조한 튜브들의 임계전류와 임계전류밀도 값이다.



a) I_c



b) J_c

Fig.7. I-V characteristics of Bi2212 tubes depending on SrSO₄ additions from 5 to 15 wt%: a) I_c and b) J_c

Bi2212 분말 100g에 SrSO₄를 첨가하지 않았을 때 측정값은 113A였다. SrSO₄를 5wt%, 10wt%를 첨가하였을 때 임계전류는 각각 460A, 460A였고, 특히 7wt%, 15wt%를 첨가한 튜브에서는 680A, 630A로 상대적으로 높은 임계전류 값이 측정되었다.

Bi2212 분말에 SrSO₄가 5wt%, 7wt%, 10wt%, 15wt% 일 때 제조된 튜브의 단면적은 각각 2.28cm², 1.78cm², 3.02cm², 1.8cm²이고, 임계전류 밀도는 201A/cm², 380A/cm², 152A/cm², 350A/cm²이었다. 튜브두께는 2~3.5mm로 용융체를 몰드에 주입할 시 손실에 의한 두께 변화 외 거의 없었다. SrSO₄의 첨가는 전기적 특성에 결정적인 영향을 주는 미세구조 조절에 많은 영향을 미치는 것으로 사료된다.

4. 결론

1) Bi2212 분말에 SrSO₄를 5wt%, 7wt%, 10wt%, 15wt% 별로 첨가하여 튜브를 제조하였다. 제조된 튜브들의 크기는 외경 30mm, 길이 60mm이고 두께는 각각 2.28cm², 1.78cm², 3.02cm², 1.8cm² 이었다.

2) XRD 분석 결과 SrSO₄의 첨가량에 상관없이 전형적인 Bi₂Sr₂Ca₁Cu₂O_{8+x} 상을 나타내었으며 840°C에서 72시간 동안 열처리 된 시편 파단면의 SEM 사진으로 판상 형태의 잘 발달된 미세구조가 관찰되었다.

3) SrSO₄를 5wt%, 7wt%, 10wt%, 15wt% 별로 첨가한 임계전류 측정치는 각각 460A, 680A, 460A, 630A이었다. 임계전류 밀도는 각각 201A/cm², 380A/cm², 152A/cm², 350A/cm² 이었다.

4) SrSO₄의 첨가는 전기적 특성에 결정적인 영향을 주는 미세구조 조절에 많은 영향을 미치는

것으로 사료된다.

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 차세대초전도응용기술개발 사업단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

[참고 문헌]

- [1] Elschner, S.; Breuer, F.; Wolf, A.; Noe, M.; Cowey, L.; Bock, J. "Characterization of BSCCO2212 bulk material for resistive current limiters", IEEE Transaction on Applied Superconductivity, Vol.11, Issue.1, 2001
- [2] E. M. Leung, A. Podriguez, G. W. Albert, B. Burley, M. Dew, P. Gurrola, D. Madura, "High Temperature Superconducting Fault Current Limiter Development", IEEE Transaction on Applied Superconductivity, Vol. 7, No. 2, pp985-988, 1997
- [3] S. Odaka, S. B. Kim and A. Ishiyama, "Development of kA-class Gas-Cooled HTS Current Lead for Superconducting Fault Current Limiter", IEEE Transaction on Applied Superconductivity, Vol. 9, No. 2, 1999
- [4] X. H. Zong, J. X. Wang, J. Sun and Y. N. Wang, "study on inductive high-Tc superconducting fault current limiters", Physica C: Superconductivity, Volume 386, Pages 522-526, 2003
- [5] J. Bock, S. Elschner, P.F. Herrman, "Melt-Cast Processed MCP-BSCCO2212 Tubes for power application up to 10KA", IEEE Trans. appl. Supecond., vol.5, No.2, pp.1409-1413, 1995