

# SrSO<sub>4</sub>의 첨가량이 Bi2212 고온초전도체 튜브에 미치는 영향

정승호, 장건익  
충북대학교 재료공학과

## The effect of SrSO<sub>4</sub> on Bi2212 HTS tube

(Seng-ho Jung and Gun-Eik Jang)

Department of Materials Engineering, Chungbuk National University

### Abstract

SrSO<sub>4</sub> were systematically added on Bi2212 from 0 to 10wt% to study the effect of Bi2212 superconductor tube characteristics. After mixing, the melted solution of Bi2212 and SrSO<sub>4</sub> was initially poured into the cylinder type of steel mold preheated at 550°C for 30min and rotated at 1000rpm. Following that, tube was annealed at 840°C for 72hrs. The tube dimension was 60 in diameter, 60mm in length and 2mm in thickness. XRD data suggests that there was no typical segregation phase related with SrSO<sub>4</sub>. Well textured grain with typical 2212 phase was observed and average size was 20 $\mu$ m. The measured critical current and critical current density of Bi2212 tube added by 5% SrSO<sub>4</sub> at 77K were 495A and 202 A/cm<sup>2</sup> respectively.

**Key Words :** MCP(Melt Cast Process), Bi2212, Tube, Critical current(I<sub>c</sub>)

### 1. 서론

BSCCO계 고온초전도체 튜브의 응용에는 전류도입선과 한류기 분야에 많은 연구가 되고 있고, 그중 고온초전도 한류기는 전력계통에서 발생할 수 있는 막대한 사고전류를 막아줌으로써 발전단을 보호할 수 있으며, 변압기의 보호 및 기타 전력기기의 보호에 뛰어나 연구가치가 높다<sup>1)-3)</sup>. J. Bock 등은 전류도입선, 한류기용 Bi2212 고온초전도체 튜브를 원심력을 이용한 MCP법으로 제조하여 시편의 크기에 따라 600~4000A/cm<sup>2</sup>의 임계전류밀도를 갖는다고 보고하였다<sup>4)</sup>.

본 연구에서는 MCP기법으로 즉, 분말을 용융하고 회전하는 몰드에 주입하여 튜브형태로 성형하기 위하여 원심성형로를 자체 설계 제작하였다. 그리고 Bi2212 고온초전도체에 기계적 전기적 안정성에 기여하는 것으로 알려진 SrSO<sub>4</sub>를 Bi2212 분말에 첨가하여 튜브를 제조하고 임계전류를 측정하는 다음 시편

을 절단하여 XRD로 상을 분석하고, SEM으로 미세조직을 관찰하였다.

### 2. 실험

Merck社의 상용 Bi2212 분말 100g에 SrSO<sub>4</sub>를 0wt% 5wt%, 7wt%, 10wt% 비율로 첨가하거나 튜브의 두께를 줄일 목적으로 SrSO<sub>4</sub>를 5wt%로 고정하고 Bi2212 전체 분말의 양을 84g과 94.5g으로 조절하였다. 혼합된 분말은 고주파 유도용해로와 백금도가니를 사용하여 1050°C에서 20분간 용융하여 균일한 용융체가 되도록 하였고, 1000rpm으로 회전하는 스틸 몰드에 주입하였다. 이 때 열충격에 의한 손상을 방지하고자 550°C에서 30분간 예열하였다. 또한 임계전류 측정을 위한 전극 용도로 은 튜브를 몰드의 양끝단에 삽입하였다. 그림 1은 전체적인 실험과정의 개략도 이다.

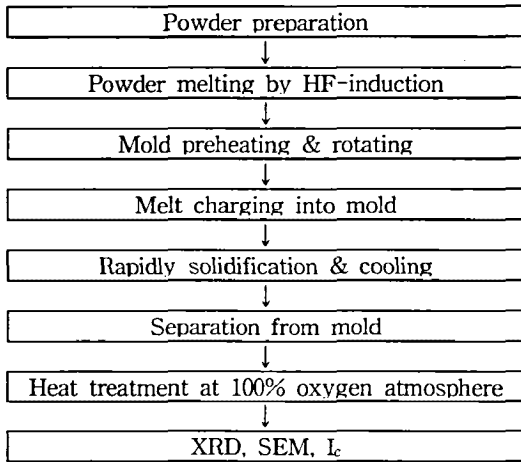


그림 1. 전체적인 실험 공정도

이행된 튜브를 순도 99.9%의 100% 산소 분위기 하에서 먼저 300°C까지 상승 후 24시간 유지하여 은전극이 가공과정에서 받은 응력을 제거하도록 하였다. 이후 초전도 상이 생성되기 시작하는 온도로 알려진 740°C까지 상승하여 5시간 유지시킨 후 다시 Bi2212 상 생성을 위하여 840°C 까지 상승 후 72시간 유지 후 740°C 까지 냉각하였다. 그림 2는 전체적인 열처리 일정이다.

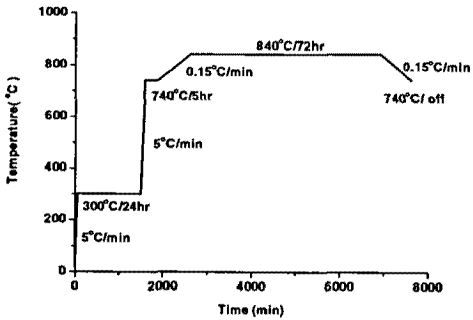


그림 2 열처리 스케줄

성형 후 상온까지 냉각된 튜브를 몰드로부터 이행하여 액체질소로 냉각한 다음 자석에 대한 반발 여부를 확인한 후 튜브 양 끝단의 은 전극에 구리 케이플을 납땜하여 부착시키고 액체질소에 넣어 임계전류를 측정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

그림 3은 SrSO<sub>4</sub>의 첨가비율별로 제조한 Bi2212

고온초전도체 튜브들로 외경 30mm, 길이 60mm, 두께는 2mm이었고, 액체질소와 자석을 이용한 부상실험에서 모두 마이스너 효과를 보여 주었다

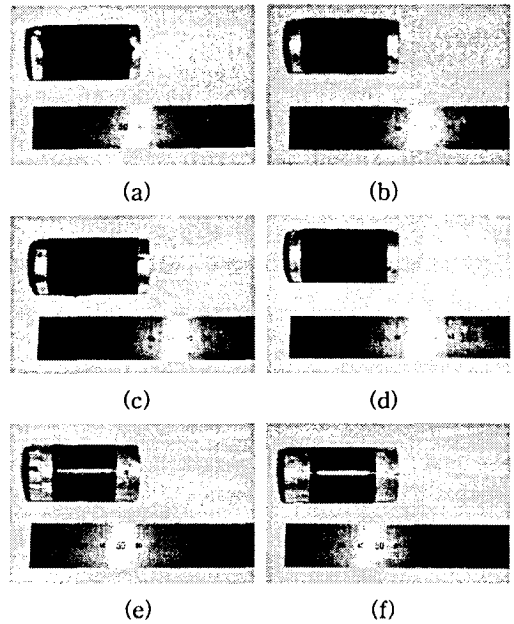


그림 3 SrSO<sub>4</sub>의 첨가량에 따라 제조된 Bi2212 튜브 (a) 0wt% (b) 5wt% (c) 7wt% (d) 10wt% (e) 80g with 5wt% (f) 90g with 5wt%

그림 4는 제조된 시편의 XRD 패턴으로 SrSO<sub>4</sub>의 첨가량에 상관없이 전형적인 Bi<sub>2</sub>Sr<sub>2</sub>Ca<sub>1</sub>Cu<sub>2</sub>O<sub>8+x</sub> 상을 나타내었다.

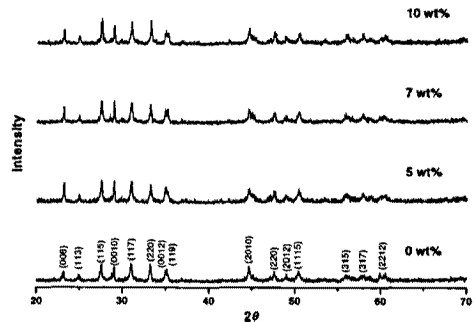


그림 4 SrSO<sub>4</sub>를 0wt%, 5wt%, 7wt%, 10wt% 씩 첨가하여 제조한 시편들의 XRD 패턴.

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

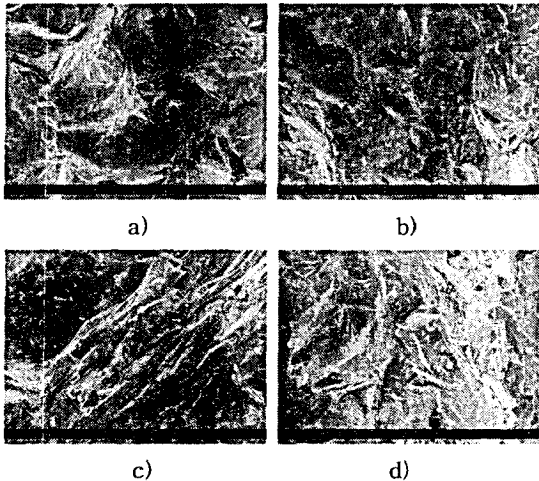


그림. 5 SrSO<sub>4</sub>를 wt% 별로 첨가하여 제조한 시편들의 SEM 사진

- a) 0wt%
- b) 5wt%
- c) 7wt%
- d) 8wt%

그림 6은 SrSO<sub>4</sub>를 Bi2212 분말 100g에 0wt%, 5wt%, 7wt%, 10wt%씩 첨가하여 제조한 튜브와 Bi2212 분말 80g, 90g에 SrSO<sub>4</sub>를 5wt%씩 첨가하여 제조한 튜브들의 임계전류 값이다.

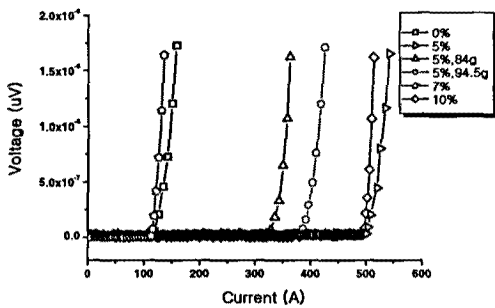


그림. 6 SrSO<sub>4</sub>의 첨가량에 따라 제조한 튜브들의 임계전류(I<sub>c</sub>)

Bi2212 분말 100g에 SrSO<sub>4</sub>를 첨가하지 않았을 때 측정값은 113A였다. SrSO<sub>4</sub>를 5wt%, 10wt%를 첨가

하였을 때 임계전류는 각각 496A, 495A였고, 7wt%를 첨가한 튜브는 115A로 상대적으로 낮은 값이 측정되었는데 이는 열처리 당시 기술적인 문제로 인해 산소의 유입이 원활하지 않았기 때문으로 사료된다. Bi2212 분말 80g, 90g에 SrSO<sub>4</sub> 첨가량 5wt%일 때 임계전류는 각각 319A, 375A였다.

Bi2212 분말 100g에 SrSO<sub>4</sub>가 0wt%, 5wt%, 7wt%, 10wt% 일 때 제조된 튜브의 단면적은 각각 2.21cm<sup>2</sup>, 2.35cm<sup>2</sup>, 2.2cm<sup>2</sup>, 2.45cm<sup>2</sup>이고 분말의 양을 조절할 경우 2.25cm<sup>2</sup>, 2.39cm<sup>2</sup>이었다. 이는 용융체를 몰드에 주입할 때 발생하는 손실량이 모두 다르기 때문이다. 임계전류를 튜브의 단면적으로 나눈 임계전류 밀도는 51A/cm<sup>2</sup>, 211 A/cm<sup>2</sup>, 52.3 A/cm<sup>2</sup>, 202 A/cm<sup>2</sup>, 142A/cm<sup>2</sup>, 157A/cm<sup>2</sup>이었다.

#### 4. 결론

1) Merck社의 상용 Bi2212 분말에 SrSO<sub>4</sub>를 0wt%, 5wt%, 7wt%, 10wt% 별로 첨가하여 튜브를 제조하였다. 제조된 튜브들의 크기는 외경 30mm, 길이 60mm이고 두께는 각각 2.21cm<sup>2</sup>, 2.35cm<sup>2</sup>, 2.2cm<sup>2</sup>, 2.45cm<sup>2</sup>, 2.25cm<sup>2</sup>, 2.39cm<sup>2</sup>이었다.

2) XRD 분석 결과 SrSO<sub>4</sub>의 첨가량에 상관없이 전형적인 Bi<sub>2</sub>Sr<sub>2</sub>Ca<sub>1</sub>Cu<sub>2</sub>O<sub>8+x</sub> 상을 나타내었으며 840°C에서 72시간 동안 열처리 된 시편들의 SEM 사진으로 판상 형태의 잘 발달된 미세구조가 관찰되었다.

3) SrSO<sub>4</sub>를 0wt%, 5wt%, 7wt%, 10wt% 별로 첨가한 임계전류 측정치는 각각 113A, 496A, 115A, 495A, 319A, 375A이었다. 임계전류 밀도는 각각 51A/cm<sup>2</sup>, 211 A/cm<sup>2</sup>, 52.3 A/cm<sup>2</sup>, 202 A/cm<sup>2</sup>, 142A/cm<sup>2</sup>, 157A/cm<sup>2</sup>이었다.

#### 감사의 글

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

## 참고 문헌

[1] 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

[2] C. Meggs, G. Dolman, T. C. Shield, J. S. abell, T. W. Button, "HTS Thick Film Components for Fault Current Limiter Applications", IEEE Transaction on Applied Superconductivity, Vol. 9, No. 2, pp676-679, 1999

[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] J. Bock, S. Gauss, A. Hobl, D. Krischel, M. Schillo, P. Schafer, "HTc Current Leads in Commercial Magnet Systems Applying Bi 2212 MCP BSCCO Materials", IEEE Transaction on Applied Superconductivity, Vol. 9, No. 2, pp495-498, 1999