

Fabrication and properties of 1000A class HTS current lead

1000A급 고온초전도 전류인입선 제조 및 통전특성 분석

Sung-chang Park, Jai-moo Yoo, Jae-Woong Ko, Hai-Doo Kim,
Cheol-Jin Kim*

박성창, 유재무, 고재웅, 김해두, 김철진*

66 Sangnam-dong, Changwon, Kyungnam, Korea 641-010,
Korea Institute of Machinery & Materials
*GyeongSang National Univ. Ceramic engineering.

경남 창원시 상남동 66번지 한국기계연구원
*경상대학교 세라믹공학과

Abstract

Long lengths (>100m) of BSCCO 2223 tapes were fabricated of optimal process. We have $I_c \sim 22A$, $J_c \sim 22,000A/cm^2$ (77K, 0T) at last heat treatment, and then prototype 1000A class current lead (length $\sim 50cm$) for HTS applications was fabricated using these tapes. Surface of current lead except both end part ($\sim 1cm$) was clothing with fiber glass. Also the transportation properties and thermal loss was studied on prototype 1000A class current lead.

Keywords : 2223, current lead

1. 서론

초전도체의 우수한 특성을 응용하여 다양한 전력기기(초전도한류기, 모터, 발전기, 초전도 에너지저장장치, 변압기, 송전선 등)를 개발하기 위해서는 초전도체와 전원을 연결시켜주는 전류인입선의 개발이 필수적이다. 현재 구리나 황동으로 제작한 전류인입선의 경우 열전달이 높고, 전기저항에 의한 Joule열이 발생하여 냉각계의 열이 외부로 방출되면서 값비싼 냉매제(액체헬륨)가 증발하게 된다[1-3]. 따라서 장기적 운용비용이 높아져서 초전도 응용기기들의 상업화를 제한하는 원인이 되고 있다. 산화물 고온초전도체를 이용하여 전류인입선을 제조하는 방법에는 MCP (Melt Casting Process)를 이용한 Bi-2212 전류인입선, CIP (Cold Isostatic Press)를 이용한 Bi-2223 tube 전류인입선[4], 그리고 일축 소결 단조를 이용하여

잘 발달된 texture를 가지게 만든 전류인입선 등 여러 가지가 있다. 이와 같은 Bulk형 전류인입선의 경우 세라믹 특성상 낮은 열전도도를 갖고 있는 장점이 있으나 금속계와 달리 열충격, 상온과 초저온사이의 thermal cycling 및 고전류 통전에 의한 stress에 약해서 전류인입선이 쉽게 취성 파괴될 수 있다. 최근 기계적 성질이 훨씬 우수한 Bi계 고온초전도 선재를 사용한 선재집적형 전류인입선을 개발하고 있다. 특히 신뢰성측면에서 고가의 초전도 전력기기의 안정된 동작을 위해 미국 ASC사는 BSCCO 선재를 적층시킨 고전류 통전용 전류인입선 제조공법을 사용하고 있다.

본 연구에서는 고온초전도 선재를 이용한 전류인입선을 제작하기 위해 최종 열처리가 끝난 길이 100m급의 BSCCO 2223 선재를 이용하여 prototype 길이 50cm의 선재적층형 전류인입선을 제작한 후 전류

통전실험을 하였다. 또한 무산소동으로 만들어진 전류인입선과 제작된 선제적층형 전류인입선의 액체헬륨 증발량에 의한 열적손실을 비교하고자 하였다.

2. 실험방법

전류인입선의 기본이 되는 BSCCO 2223 선제는 고순도, 고균일의 BSCCO 2223 전구체 분말을 사용하여 제조되어진다. PIT법을 사용하여 61심 100m급 선재로 인발, 압연된 선재는 몇 단계의 열처리 공정을 거치면서 대형 box로에서 BSCCO 2223의 입자성장을 최대화하고 미세조직의 균일화를 위해 온도, 유지시간, 분위기등의 변수를 조절하여 최대의 임계전류값을 가지도록 하였으며 각 구간별 임계전류 특성분석을 행하여 전체적으로 균일한 선재를 얻고자 하였다. 이렇게 제조된 61심 BSCCO 2223 선재를 길이 50cm씩 잘라 적층하여 1000A급 전류인입선을 제작한 후 fiber glass로 housing을 하고 통전실험을 행하였다. 그리고 열적손실을 calorimetric method에 의해 측정하고자 하였다. 개략적인 실험공정도를 그림 1에 나타내었다.

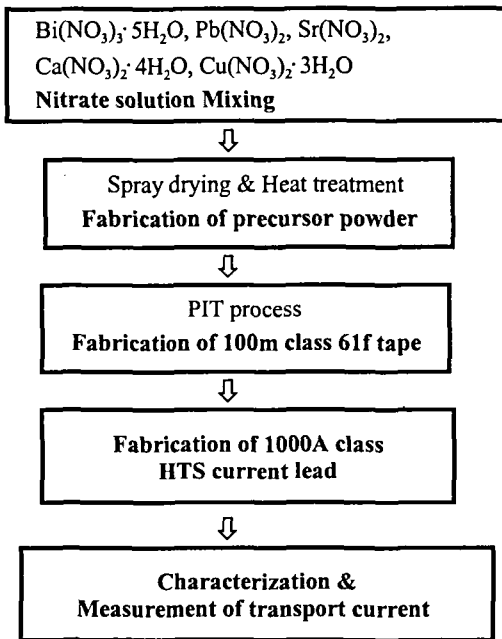


그림 1. 개략적인 실험공정도

3. 결과 및 고찰

그림 2 a)는 100m 급의 BSCCO 2223 61심 다심 장선재를 대형 액체질소 bath에 넣어 임계전류를 측정하는 모습이며, b)는 $1\mu\text{V}/\text{cm}$ 를 기준으로 임계전류를 측정된 결과값을 나타낸 그림이다 ($I_c \sim 22\text{A}$, $J_c \sim 22,000 \text{ A}/\text{cm}^2$). c)는 61심 다심 장선재 1개 filament의 횡단면 미세조직으로 대부분 c축으로 잘 발달된 BSCCO 2223 입자를 관찰할 수 있으며, 극소량의 이차상 (Ca_2PbO_4 , 3221phase) 들도 관찰되어진다

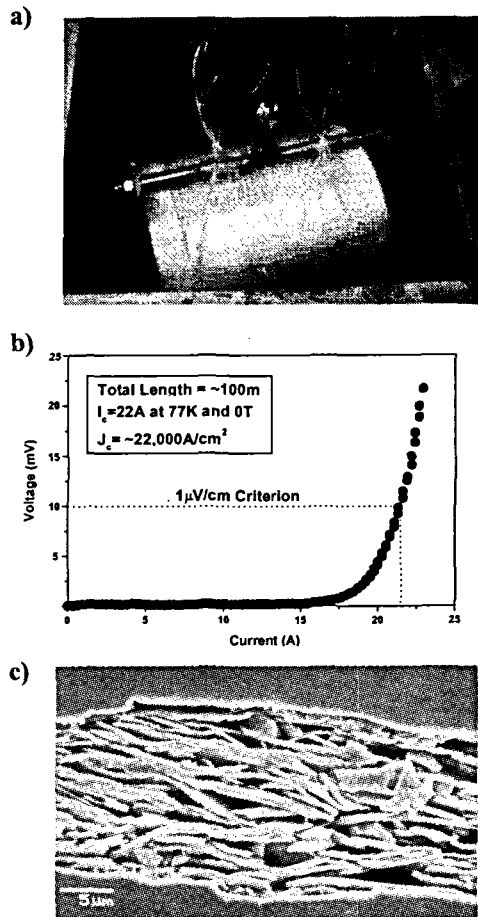


그림 2. a) 제조된 61심 100m 다심선재의 임계전류 측정모습, b) 100m 다심선재의 전류-

전압곡선, c) 61심 다심선재 한개 filament
의 횡단면 SEM 미세조직사진

본 실험에서는 제조된 BSCCO 61심 선재를 이용하여 길이 50cm prototype 전류인입선을 선제적층법에 의해 제작하였다. 그림 3의 a)는 BSCCO 선제적층법에 의해 제작된 단위 bus bar의 모습이며, 그림 3의 b)는 임계전류특성 측정을 위해 전류인입선의 양 끝부분에 대용량의 전류가 흐를 때 생기는 전기저항을 줄이기 위해 무산소동으로 제작된 홀더를 사용하여 전원을 연결하고 액체질소 온도(77K) 하에서 단위 bus bar에 흐를 수 있는 최대 임계전류를 측정하는 모습을 나타낸 그림이다. 그림 3의 c)는 단위 bus bar의 통전특성 결과를 나타낸 그래프이다.

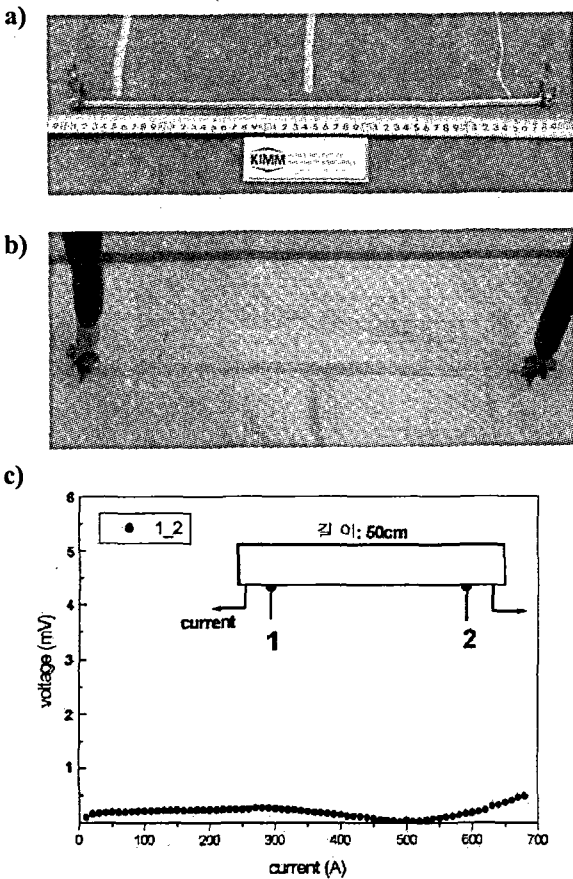


그림 3. a) Prototype 길이 50cm, 단위 bus bar
b) 액체질소(77K)속에서의 통전측정 모습,
c) 단위 bus bar의 통전측정 결과

위 결과를 바탕으로 적층된 단위 bus bar를 자기장을 상쇄시킬수 있는 방식으로 배열하여 1,000A이상의 전류가 흐를수 있는 전류인입선을 제작하고자 하였다. 그림 4의 a)는 전류 통전시 단위 bus bar 들이 서로간의 자기장을 상쇄시키도록 배열한 전류인입선의 단면을 확대한 그림이다. b)는 전류통전 실험을 위해 전체적으로 전극을 연결한 모습이며, c)는 이러한 선재를 이용하여 액체질소 하에서 전류 통전을 한 결과를 나타낸 그래프이다.

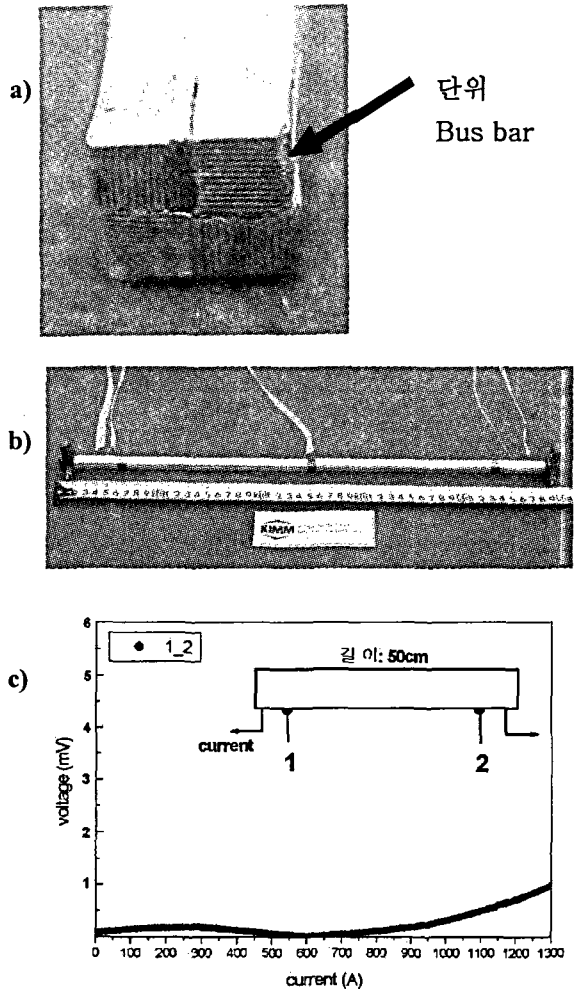


그림 4. a) 1000A급 전류인입선의 단면확대 사진
b) 측정을 위해 전극단자를 연결한 모습
c) 1000A급 전류인입선의 통전측정 결과

전류 동전특성 측정은 DC 1500A급 power supply를 이용하여 4단자법으로 측정하였으며, 총 통전용량은 1100A가 넘을 것으로 사료되는데 각각의 선재들을 Ag paste로 적층을 하였기 때문에 이에 따른 접촉저항의 ohmic component 에 의해 전류량 증가시 전위차가 완만하게 증가하게 된다.

전류인입선으로 제작된 bus bar는 임계전류 특성을 분석한 다음 최종적으로 fiber glass로 housing을 한다. 아래 그림 5의 a)와 b)는 housing된 전류인입선의 단면을 나타낸 그림이고, c)는 길이 50cm의 전체적인 전류인입선 모습이다.

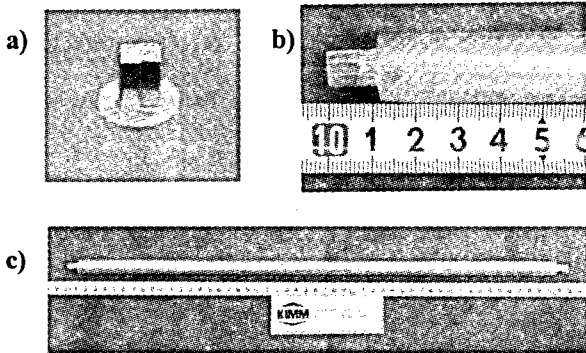


그림 5. a),b) housing 전류인입선의 단면 사진
c) fiber glass로 housing된 길이 50cm 전류인입선의 전체 사진

일반적으로 전류인입선으로 많이 사용되는 무산소동과 이번에 개발된 고온초전도 선재적층형 전류인입선간의 열적손실을 비교하여 향후 발표할 예정이다.

참고문헌

- [1] John K.F. Yau, Nick Savvides and C.C.Sorrell, "High-Tc superconducting current leads" Physica C 307 23-28 (1998)
- [2] T.Sasaoka, J.Sato, K.Fukushima, M.Okada, M. Endo, Y. Yaegashi and M.Nagano, "Design and testing of current lead made from Ag-Au sheathed Bi-2223 superconducting wires" Cryogenics 37 409-415 (1997)
- [3] D.P.Sekulic, F.J.Edeskuty and Z.Uzelac, "Heat transfer through a high temperature superconducting current lead at cryogenic temperature" Int. J. Heat Mass Transfer. Vol. 40, No. 16, 3917-3926 (1997)
- [4] V.Plechacek, J.Hejtamanek, "Properties of superconducting Bi-2223 tubular current lead" Physica C 282 2577 (1997)