

고온 초전도 선재의 장선화를 위한 접속에 관한 연구 STUDY ABOUT A CONNECTIVE METHOD OF HIGH T_c SUPERCONDUCTING WIRE FOR LONG WIRE

임성훈, 강형곤, 이재윤, 임성우, 한병성,
전북대학교 전기공학과

Sung-hun Yim, Hyeong-gon Kang, Jae-Yun Lee, Sung-woo Yim, Byung-sung Han
Dept. of Electrical Eng., University of Chon Buk.

Abstract

This study is about a connective method of High T_c wire for long wire. We prepared silver-sheathed BiPbSrCaCuO wires by the powder-in-tube method. Since the superconducting wires are ceramic, it is very hard to connect each other. In this study, we used a silver sleeve to connect wires and pressed them by various pressures. Then optimum pressure was 9,000 Kgf/cm² to get the high critical current. The highest critical current was 10A.

1. 서론

고온 초전도 선재를 마그넷이나, 케이블, 기타의 실 기기나 시스템에 응용하기 위해서는 선재의 장선화가 필수적이다. 그러나 고온 초전도 선재는 저온 초전도 선재와는 달리 세라믹 계통이기 때문에 길이 방향으로 전기적 특성이 저하되지 않는 장선의 선재를 제작 한다는 것은 많은 어려움이 따른다. 특히 접속부는 선재가 사용되는 자석에 따라 요구되는 전기적, 기계적, 열적 특성을 만족해야 한다. 접촉저항이 높은 경우에는 Joule열에 의하여 권치가 발생하며, 영구전류 모드의 운전에서는 자장이 감소한다^{1), 2)}.

저온 초전도선재는 금속계에 속하므로 기계적인 특성이 우수하고 가공성이 뛰어나며, 고온 초전도 선재에 비해 다양한 접속기술이 개발되어져 각 기술에 대한 전기적 기계적 특성이 많이 연구되었다. 그 중에서 선재와 동일한 초전도 슬러브를 사용한 방법이 기존의 방법보다 우수하다고 보고 된 바 있다³⁻⁶⁾.

본 연구에서는 이를 고온초전도 선재간의 접합에 응용하여 가압 압력에 따른 임계전류의 변화를 알아 보고자 하였다.

2. 실험방법

시편분말은 99.99% 순도를 갖는 Aldrich사 제품인 Bi₂O₃, PbO, SrCO₃, CaO, CuO시약을 사용하여 고상반응법(solid state reaction)으로 제조하였다. 시료의 조성 비율이 Bi 초전도상인 2223비가 되도록 하기 위하여 Bi:Pb:Sr:Ca:Cu의 몰비가 1.6:0.4:1.6:2.0:2.8이 되도록 칭량한 후 막자사발에서 균일하게 혼합하였다.

혼합한 시료를 산소 분위기에서 830℃로 20시간씩 세번 반복하여 하소한 후 230mesh 표준망체에 통과시켜 외경과 내경이 6mm, 4mm인 은관에 충전하였다.

원활한 인발을 위해 피복제인 은관을 풀림 열처리하며, 선재를 최종 직경이 1.2mm가 되도록 인발하였

고, 직경이 2mm인 선재 또한 준비하였다. 인발은 단면적감소를 15%의 원추형 다이를 사용하였다.

직경이 1.2mm인 선재를 30mm크기로 자른 직경 2mm인 선재안으로 그림 2와 같이 삽입하였다. 여기서 고온 초전도 선재의 특성상 양단에서 저온 초전도 선재와 같이 압력을 주어 연결하지 못하고, 열처리 과정 중의 초전도상의 성장을 통한 상호 접속에 의존하였다. 이를 돕기 위해 슬리브 중간 부분에 초전도 분말이 그대로 충전되어 있는 상태로 연결을 실시하였다. 또한 슬리브 안에 새롭게 초전도 분말을 첨가하여 접속한 후 그 임계전류 값을 측정하여 보았다. 이렇게 준비된 선재를 50시간 단위로 각각 3000, 6000, 9000, 12000Kgf/cm²의 압력별로 가압하며, 100, 200, 300, 400시간 동안 열처리를 실시하였다. 그리고, 열처리시간별과 가압압력에 따른 샘플들의 접속 부위의 임계전류를 측정, 비교하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 3은 접속된 선재를 마운팅한 후 옆으로 잘라 광학 현미경으로 그 단면을 본 그림이다. 접속 부위가 상호 견고하게 결합되어 있는 것을 확인할 수 있다.

선재의 가압 압력에 따른 임계전류밀도의 변화는 그림 4와 같이 압력이 증가할 수록 임계전류값이 증가하다가, 9,000 kgf/cm² 에서 가장 높은 임계전류값을 보여 주는 것을 기점으로 감소함을 확인할 수 있다. 이것은 압력이 증가할 수록 연결 부위의 초전도상의 성장에 도움을 준다는 것을 알 수 있다. 그러나, 너무 과도한 압력은 임계전류값의 증가에 도움이 되지 못한다. 본 실험에서 측정한 임계전류값은 9,000 kgf/cm²로 가압했을 때 가장 큰값을 얻었다. 3000kgf/cm²에서 2.1A값이 9,000 kgf/cm²에서 10A를 최고 값으로 하여 12,000kgf/cm²에서 6.25A로 감소하는 것을 볼 수 있다.

이것은 선재 접속을 위하여 너무 높은 가압은 오히려 접속 부위의 초전도 상의 성장에 방해가 되기 때문에 임계전류값이 감소하는 것으로 보인다. 열처리 시간에 따라 보면 200시간에서 가장 좋은 임계전류값을 나타냈으며 이 온도에서 압력의 증가에 따른 임계전류값변화도 뚜렷이 보여 주었다. 이것은 과도한 열처리 시간은 접합부위에 있어서 초전도상의 성장에 좋은 영향을 미치지 않음을 보여준다. 또한 접속 표면에서 초전도 성장에 도움을 주고자 분말을 더 첨가한 선재는 좋은 임계전류 특성을 나타내지 못하였다(그림 5). 이것은 슬리브 중간의 초전도 분말의 상태는 인발과정을 통하여 충분히 충전된 분말이 초전도 상의 성장에 더욱 기여함을 알 수 있다. 가압되지 않은 분말일수록 임계전류 특성도 좋지 않고, 더욱 많은 열처리 시간이 필요함을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구팀이 사용한 고온 초전도 선재의 장선화를 위한 연결방법에서 적당한 가압 압력은 200시간 열처리에서 9000kg/cm^2 이었고 이때의 임계전류 값은 10A이었다. 슬리브 중간의 초전도 분말은 인발과정을 통하여 충분히 압력을 받아 충전된 시료가 좋음을 확인하였다. 이 슬리브를 이용한 접속법은 기존의 방법에 비하여 간편한 방법이고, 양호한 초전도상의 성장을 위해 앞으로 시료의 조성비 및 입자의 크기 등을 조정한다면 더 좋은 특성의 접합선재를 얻을 수 있으리라 본다.

5. 참고 문헌

1. Martin N. Wilson, "superconducting Magnet", Oxford University Press, 1983.
2. R. D. Blaugher, "recent developments on methods for superconductor joining", Lett.
3. T Kuhlemann, H Wolf and J H Hinken, "measurement of the surface resistance R_s of superconducting/normal conducting sandwiches", IOP Publishing Ltd, 1992.
4. J. W. Hafstrom, D. H. Killpatrick, "Joining NbTi superconductors By Ultrasonic welding", IEEE Trans.on Magn.,vol. MAG-13, no.1, jan. 1977.
5. M. J. Leupold and Y.Iwasa, "Superconducting joint between multifilamentary wires joint-making and joint result", Cryogenics 16(1976)
6. 김우곤,이호진, 홍계원. "10-14Ohm의 미소저항을 갖는 NbTi초전도선재접합방법 및 저항측정 기술", 전기학회,1994.

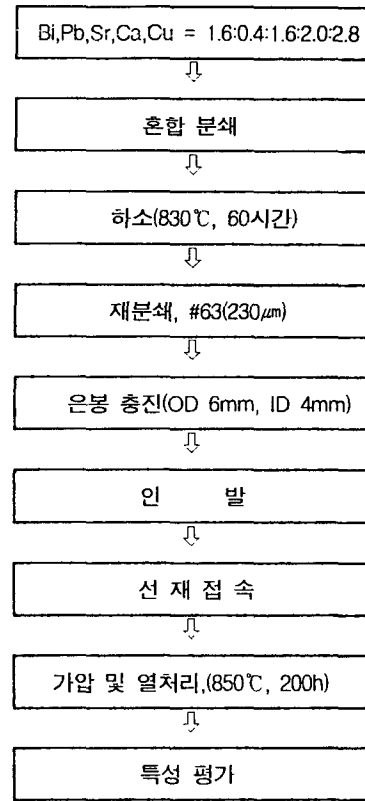


그림 1. 선재 접합 공정
Fig. 1. flow chart of connection of wire

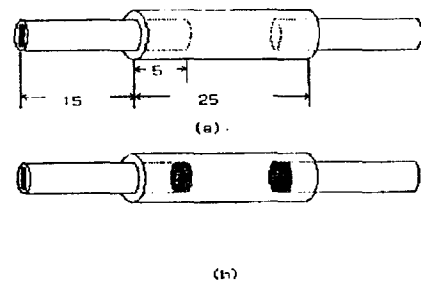


그림 2. 접합부위의 임계 전류 측정
Fig. 2. part to measure the Critical Current

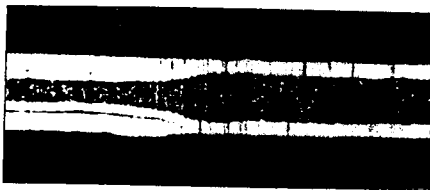


그림 3. 고온 초전도 선재의 접속
Fig. 3 the picture of connected wire

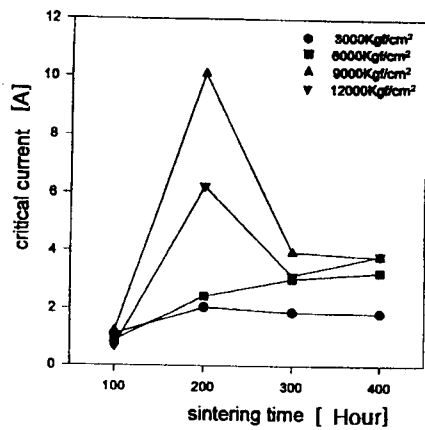


그림 4. 가압압력에 따른 선재의 임계전류
Fig. 4. Critical current along applied pressure

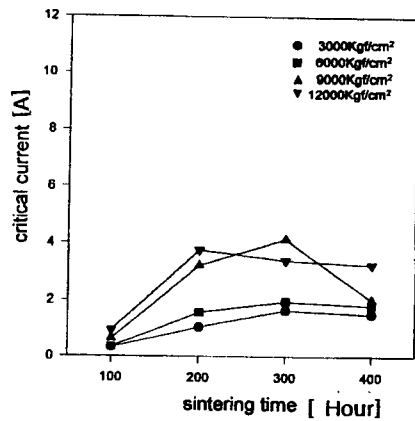


그림 5. 접합면에 분말 추가시 가압압력에 따른 선재의 임계전류
Fig. 5 Critical current along applied pressure when powder was added in the joint surface