

고온 초전도 선재의 곡률반경에 따른 특성변화 연구

The study of characteristic change versus a curvature radius of high Tc superconducting wire

. 강형곤* . 김민기 . 최명호 . 최효상 .. 한병성
. 전북대학교 대학원 .. 전북대학교 교수

. Kang Hyeong Gon*. Kim min Ki. Choi Myeong Ho. Choi Hyou sang. . Han Byoung sung
. Dep. of Elec. Eng. Graduate School Chonbuk National Univ.
. Associate Prof. Dep. of Elec. Eng. Chonbuk National Univ.

. Abstract

In this study, we measured I_c depending on a curvature radius of High Tc superconducting tapes which were made of a single wire, two and three WIT(wire in tube).

Wires are manufactured by the process of pressing and sintering (150h, at 845°C) for the growth of 2223 high Tc Bi superconducting phase. We know that I_c of a single wire decrease with reduction of a curvature radius. The maximum I_c of 2 WIT wire is 2.54 (A) and have a better characteristic than a single wire (0.89 A) at a curvature radius 75mm.

I. 서론

1987년 미국 휴스턴 대학의 Chu박사의 연구결과에 의하여 초전도체는 액체 헬륨을 써야만 했던 저온 시대를 벗어나 액체 질소를 사용하는 고온 초전도 시대를 맞이하게 되었다.⁽¹⁾ 그 후 계속된 연구 결과로 초전도체는 눈부신 성장을 지속하여 왔다. 최근의 연구 동향을 살펴보면 초전도체의 임계특성 향상연구와 더불어 지금까지 개발되어진 초전도체를 이용하는 응용분야에 대한 연구의 비중이 점차 높아지고 있다. 응용분야를 초전도체의 형태별로 구분해 보면 크게 선재와 박막의 두가지 형태로 나누어 볼 수 있는데 예를들어 초전도체를 전자기 장치로 응용할 경우에는

얇은 박막형태로 제작하여야 하고 전기저장, 송전선, 초전도자석 등에 응용하고자 할 경우에는 가느다란 선재 형태의 가공이 요구된다. 고온 초전도선재 제작 방법에는 금속기판방법,^(2,3) 금속간 화합물의 산화법,⁽⁴⁾ 분말 충전법,⁽⁵⁾ 등이 알려져 있으나 세라믹계 고온 초전도체의 특성인 입자의 약결합과, 약한 취성으로 인해 가공상에 많은 어려움이 따르고 있다.⁽⁶⁾ 이러한 점으로 선재 제작에 있어 곡률반경에 따른 특성변화는 고온 초전도체를 이용한 MRI - CT, 다심케이블 제작, 마그넷 제작에 있어서 매우 중요한 위치를 차지한다. 따라서 본 논문에서는 SEM, I_c , DTA분석 등을 통하여 고온 초전도 선재의 특성을 평가하고 여기서 얻어진 적정 조건하에서 곡률반경에 따른 BiSrCaCuO 초전도 선재의 임계전류의 변화를 조사하였다. 또한 2겹, 3겹의 WIT(wire in tube)선재를⁽⁷⁾ 제작하여 서로간의 I_c 특성도 비교하여 보았다.

II. 실험방법

Aldrich사 제품의 순도 99.99%이상의 Bi_2O_3 $SrCO_3$ $CaCO_3$ CuO PbO 를 몰비 Bi: Sr: Ca: Cu: Pb=1.8: 2: 2.2: 3.3: 0.4로 정확히 칭량한 후 분말의 반응성을 촉진하기 위해 막자사발에서 아세톤을 용매로 3시간 동안 고르게 연마하였다. 이렇게 균일하게 연마된 시료를 810°C의 산소 분위기에서 전기로를 이용하여 50시간동안 하소하였다. 하소된 시료를 재

분쇄한 후 표준망체 #63(230 μ m)으로 걸러내어 선재의 유연성을 증대하기 위해 500 $^{\circ}$ C에서 2시간 동안 풀림열처리 한 외경 6mm 내경 4mm인 은관안에 충전하였다. 분말이 충전된 은관을 단면적 감소율 15%의 비율로 직경이 1.2mm가 되기 까지 인발하여 고온 초전도 단심 선재를 만들었다.

또한 직경이 6*4mm인 은관에 초전도 분말을 충전하여 로울러를 이용, 직경 1.2mm 까지 선재형태로 인발공정을 행한 다음 이것을 직경 6*4mm인 은관안에 초전도 분말과 함께 충전하여 2겹의 WIT(wire-in-tube) 초전도 선재를 제작하였다. 동일한 방법으로 3겹 초전도 선재도 제작하였다.

최종적으로 그림 1과 같은 2겹과 3겹의 WIT선재를 로울러를 이용하여 직경이 1.36mm될때까지 선재를 가공한 다음 인발기를 이용하여 직경 1.2mm의 선재로 인발하였다. 이와 같은 공정을 거쳐서 만들어진 선재를 Tape화 하여 845 $^{\circ}$ C에서 50시간 열처리 하고 pressing 후 길이 4cm 가량으로 절단하여 곡률반경이 각각 105, 75, 50, 30mm되게 하였다. 또 2겹, 3겹 WIT 선재도 동일한 방법으로 75, 30, 23mm되게 곡률을 주었다. 이렇게 제작된 테이프들의 임계전류를 측정하여 곡률변화에 따른 특성을 비교하였다.

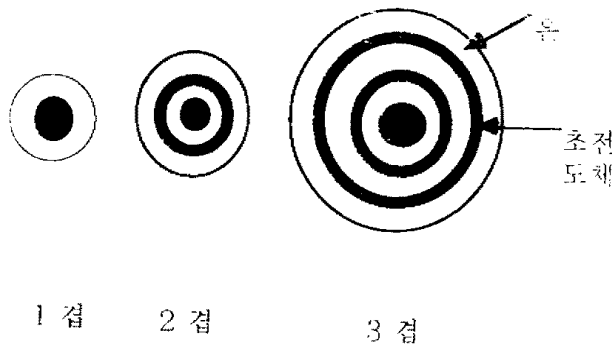


그림 1. 만들어진 각 선재의 단면
Fig 1. A cross section of wires

III 결과 및 고찰

본 연구에 쓰인 시료의 DTA곡선을 그림 2에 나타내었다. 온도에 따른 질량감소를 측정하기 위하여 900 $^{\circ}$ C까지 승온 비율 10 $^{\circ}$ C/min.의 비율로 열을 가하면서 측정을 실시하였다. 열분석 결과 3개의 흡열 피크와 두개의 발열 피크를 얻을 수 있었다. 578 $^{\circ}$ C에서 약한 흡열 피크를 볼 수 있었으며 799 $^{\circ}$ C 이후 실제적인 질량감소를 나타내었다. 857 $^{\circ}$ C 부근이 적당한 열처리 온도로 보이나 일반적으로 은관에 충전한 초전도체의 경우 이보다 낮은 열처리 온도를 적정 온도로 결정하고 있다.

본 실험에서는 845 $^{\circ}$ C에서 열처리를 실시 하였다.

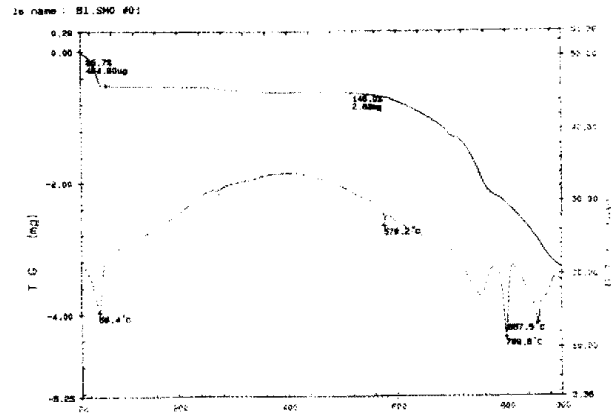


그림 2. 열 분석곡선

Fig 2. A curve Of thermal analysis

실험에 앞서 단심선재를 온도 845 $^{\circ}$ C에서 50, 100, 150, 200시간 별로 나누어 열처리를 실시하여 적정 열처리시간을 알아내고자 하였다. 그림 3에서 150시간 정도 열처리를 했을때 약 5 A 정도의 I_c 값을 나타내었고 200시간에서는 5.39 A 정도의 I_c 값을 나타내었다. 더 이상의 긴 열처리시간으로 약간의 I_c 값의 향상은 있을 수 있으나 100시간의 2.2 A에서 150시간의 5 A로 I_c 값이 큰 폭으로 상승된 것을 볼때 더이상의 큰 폭의 I_c 값의 상승은 없으리라 본다. 또한 전자현미경 사진에서 보아도 50, 100시간 보다 150시간에서 넓고 고른 일방향 판상구조의 초전도 상이 양호하게 성장된것을 볼 수 있다. 본 실험에서는 이러한 결과를 바탕으로 150시간 까지 열처리 시간을 설정하였다.

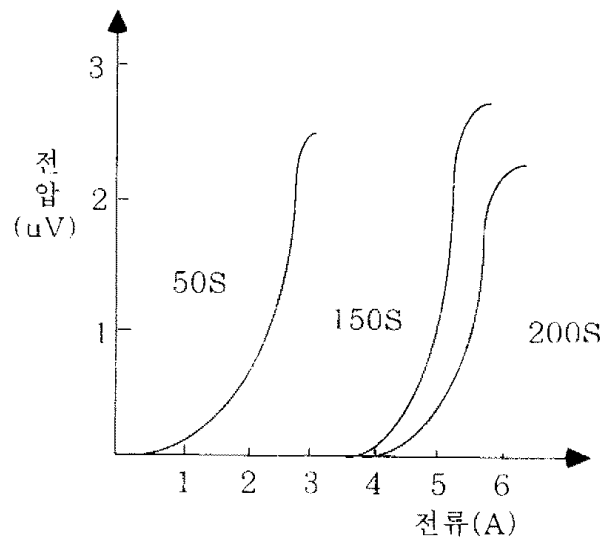
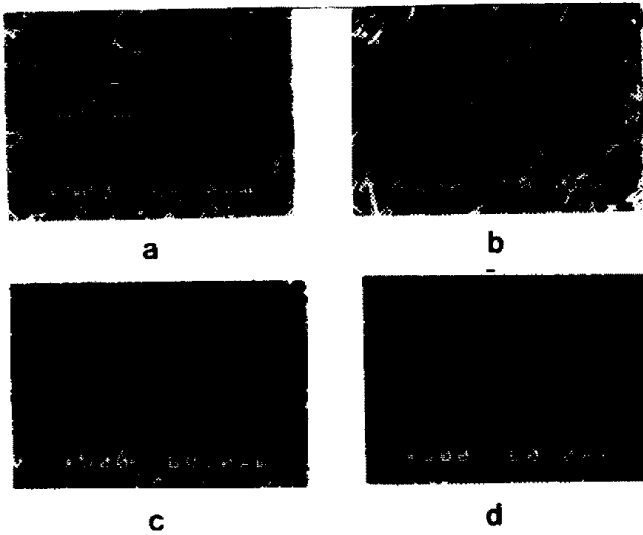


그림 3. 열처리 시간에 따른 단심선재의 I_c 값 비교
Fig3. I_c of a single wire versus heating treatment time



(a) 50h (b) 100h (c) 150h (d) 200h
 그림 4. 열처리 시간별 전자현미경사진
 Fig 4. SEM versus heating treatment time

각각의 곡률반경을 갖는 시편들을 열처리 한 후 최종적으로 I_c 를 측정해 보았다. 그림 5는 단심 선재에서 50시간 열처리 후 곡률을 주고 다시 100시간 열처리하여 I_c 를 비교한 결과이다. 대체적으로 보면 직선형태에서 2.05, 105mm에서 1.58, 75mm에서 0.89, 50mm에서 0.83, 30mm에서 0.70 A 으로 곡률반경이 작아질수록 I_c 값이 감소하는 것을 볼 수 있다.

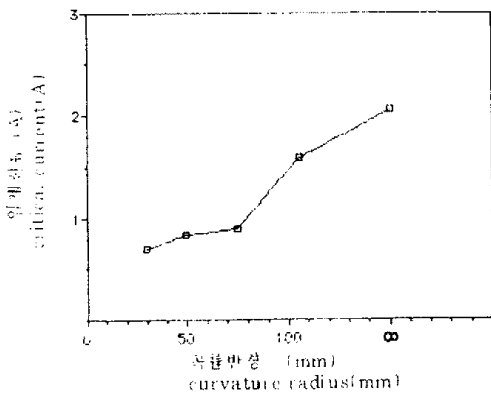


그림 5. 곡률 반경에 의한 임계 전류
 Fig 5. Curvature radius vs critical current

그림 6은 위에서 만들어진 2겹과 3겹 선재의 I_c 값을 비교해 보았다. 여기서도 단심선재의 경우와 동일하게 곡률반경이 작아질수록 (2겹은 직선형태에서 0.33, 30mm에서 0.25, 23mm에서 0.02 A 로 3겹은 직선형태에서 0.28, 50mm에서 0.09, 30mm에서 0.03, 23mm에서 0.02 A) I_c 값이 작아지는 특성을 볼 수 있다. 그런데 특이할 만한 점은 2겹과 3겹의 WIT에서 곡률반경 75mm일때 2.54, 0.9로 I_c 값이 무한대 곡률반경 때의 0.33, 0.28보다 상승한 것을 볼

수 있다. 이것은 WIT 선재에서, 곡률반경 75mm까지는 초전도 입자의 결합력이 끊어짐 없이 초전도 상이 잘 성장하였음을 보여 준다. 실험결과 단심 보다는 2, 3겹 WIT선재가 곡률을 줄때 좀 더 낮은 I_c 값을 가질 수 있음을 보여주었다 (곡률반경 75mm).

앞으로 WIT선재를 더 연구하여 열처리 시간 및 온도 공정기술을 잘 개선 한다면 곡률을 갖는 초전도선재 응용분야에서 단심으로 이루어진 다심 케이블 보다는 WIT선재로 이루어진 다심 케이블이 작은 곡률반경을 갖으면서도 큰 I_c 값을 갖는 응용기기를 개발할 수 있으리라 본다.

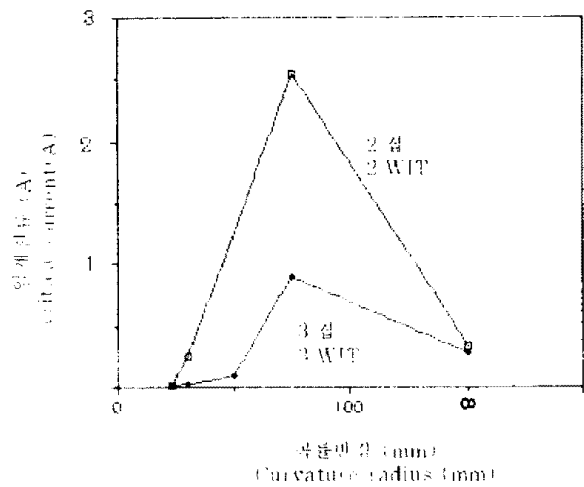


그림 6. 2, 3겹 WIT 선재의 곡률반경에 따른 임계전류
 Fig 6. Curvature radius vs Critical current of 2, 3 WIT

IV. 결론

- 세라믹계 고온 초전도 선재는 직선 형태에서 단심이 2.05 A로 가장 높게 나타났으며 105mm에서 1.58 A, 75mm에서 0.89 A, 50mm에서 0.83 A, 30mm에서 0.70 A로 곡률반경이 작아 질수록 I_c 값도 작아짐을 확인하였다.
- WIT선재(wire in tube)의 곡률반경 75mm에서 보듯이 곡률반경이 무한대 일때 보다 좀 더 높은 I_c 값(2겹이 2.54, 3겹이 0.9)을 갖는 것을 볼때 단심보다는 같은 곡률을 주었을 때 I_c 값 면에서 유리함을 알 수 있다.
- 초전도 선재 제작에 있어서 2겹, 3겹 WIT 선재를 비교해 볼 때 초전도체 안의 은 비율이 증가 할수록 오히려 임계전류항상에 좋지 않은 영향을 미치는 것 같다. (6, 9)

고온초전도 다심케이블 제작시, 마그넷 설계시 WIT선재의 자연곡률반경을 고려한다면, 멀지 않아 고 효율의 고온 초전도 응용기기들이 나올수 있으리라 본다.

V 참고문헌

- (1) M. k. Wu, J. R. Ashburn, C. J. Tong, P. H. Hor, R. L. Meng, L. Gao, Z. J. Huang, Y. Q. Wang and C. W. Chu, *Phy. Rev. Lett.*, 58 (1987) 908.
- (2) K. Togano, H. Kumakura, H. Shimizu, N. Irisawa, T. Morimoto, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 27 (1988) L45.
- (3) J. P. Singh, D. Shi, D. W. Capone, *Appl. Phys. Lett.*, 53 (1988) 237.
- (4) F. E. Pinkerton, G. P. Meisner, C. D. Fuerst, *Appl. Phys. Lett.*, 53 (1988) 438.
- (5) M. S. Oh, Q. F. Liu, W. Misiolok, A. Rodrigues, B. Avitzur, M. R. Notis, *J. Amer. Ceram. Soc.*, 72 (1989) 2142
- (6) H. Mukai, Proc. 3rd Int. Sym. Supercon. (ISS 90, Nov. 6-9, Sendai, Jpn), (1990) 607
- (7) J. Schwartz, H. Sekine, T. Asano, T. Kuroda, K. Inoue and Maeda, *IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS*, VOL. 27, No. 2, MARCH 1991
- (8) J. P. Singh, H. J. Leu, R. B. Poepple, E. Van Voorhees, G. T. Goudey, K. Winsley, D. Shi, *J. Appl. Phys.*, 66 (1989) 3154.
- (9) Y. Kubo, K. Michishida, N. Shimizu, Y. Higashida, H. Yokoyama, Y. Hayami, E. Inukai, A. Saji, N. Kuroda, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 28 (1989) L1936

본 논문은 기초전력공학 공동연구소의
자원을 받아 수행되었음