

은 피복 BSCCO 선재 접합부의 선형전압성분 분석

황보후, 최세용, 강준선, 나완수, 김정호*, 주진호*
성균관대학교 전기전자컴퓨터공학부, *성균관대학교 금속재료공학부

Analysis on Linear Voltage Components of Jointed Ag-sheathed BSCCO tapes

Hoon Hwangbo, Seyong Choi, Joonsun Kang, Wansoo Nah,
Jung Ho Kim*, and Jinho Joo*

School of Electrical & Computer Eng. SungKyunKwan Univ.

*School of Metallurgical and Materials Science Engineering, Sungkyunkwan Univ.

kings@ece.skku.ac.kr, conny1@nature.skku.ac.kr, bigbear@ece.skku.ac.kr
wsnah@yurim.skku.ac.kr, dune7414@hanmail.net, jinho@yurim.skku.ac.kr

Abstract - Usually, the critical current of jointed BSCCO tapes degrades quite a bit compared to the normal unjointed tape regions. It has been thought that the current redistribution around the jointed region is the main cause of it. We experimentally found the linear voltage components around the jointed area, especially in the transition region, which suggests that the current redistribution around the jointed area is the main reason of the critical current degradations.

1. 서 론

초전도 선재는 극저온(4K~77K)에서 조셉슨 효과, 완전 전도성, 완전 반자성 등의 특성을 나타내기 때문에 미래의 신소재로 각광받고 있다. 응용 분야로는 한류기, 발전기, 변압기 등과 같은 전력 기기 등이 있다. 전력 기기에는 전기적, 열적, 기계적 특성이 뛰어난 재료가 필요하므로 초전도 선재의 장선 화가 필요하다. 그러나 접합 공정 없이 수백 m 이상의 장 선은 제조하기 어려우므로 접합 기술의 중요성이 대두되고 있으며 현재 활발한 연구들이 진행되고 있다.

선재의 접합 시에 가장 중요시되는 부분이 임계 전류 (I_c) 값이다. 임계 전류는 초전도 선재에 전류를 인가할 때 1 cm 구간에서 1 μV 의 전압이 유기 될 때의 전류 값으로 정의되며 일반적으로 $\sim 10,000 A/cm^2$ 이상의 전류 밀도의 선재가 필요하다. 그러나 초전도 선재의 접합 시의 열적, 기계적 충격 또는 내부적인 불균일한 접합에 의하여 임계 전류 값은 낮아지게 된다. 그러므로 초전도 선재와 결합 부위에서의 V-I 특성 곡선을 통해서 접합된 선재의 특성을 파악

할 필요가 있다.

일반적인 초전도 선재의 V-I 특성 곡선을 보게 되면 임계 전류까지는 거의 전압이 유기 되지 않다가 임계 전류 값을 넘어서는 순간부터 비선형적으로 전압이 증가하게 된다. 그러나 손상을 입은 선재의 경우 임계 전류를 인가하기 전부터 전압이 선형적으로 유기 되다가 다시 비선형적으로 전압이 증가하는 것을 발견할 수 있다. [1] 이러한 선형성분을 제거할 수 있다면 선재의 임계 전류 값은 더욱 높아지게 되고 더욱 좋은 특성을 갖는 초전도 선재가 만들어질 수 있게 된다. 본 연구에서는 초전도 접합 선재의 임계전류 열화 현상도 이러한 전압선형성분으로 설명할 수 있다는 것을 실험과 분석을 통해서 보였다.

2. 본 론

2.1 실험 선재 접합 및 장치구축

본 연구에서 사용될 접합선재를 제조하기 위해 선재의 열처리를 하였다. 먼저 선재를 50시간 열처리를 한 후 초전도 접합(superconducting-joint)을 이용하여 접합 선재를 제조하기 위해서 선재의 접합 면의 은(Ag)을 제거하는 에칭작업을 하였다. 접합할 두 시편을 masking한 후 과산화수소수와 암모니아를 1:1 비율로 섞은 혼합액에 담가서 접합 면의 은을 제거하였다. 그리고 두 시편을 접합시킨 후 다시 50시간 열처리를 하였다 [2-3]. 선재의 접합과정은 그림 1에 나타내었다.

접합 시편이 완성된 후 임계전류측정장치를 구축하였다. 먼저 각 계측기와 컴퓨터간의 통신을 위해서 gpib card 와 cable 을 준비하였다. 전압을 측정하기 위해서 정밀한 측정이 가능한 nano-meter(HP34420)를 사용하였고 전류는 직류 전원 공급 장치를 이용하였다. 전압과 전류

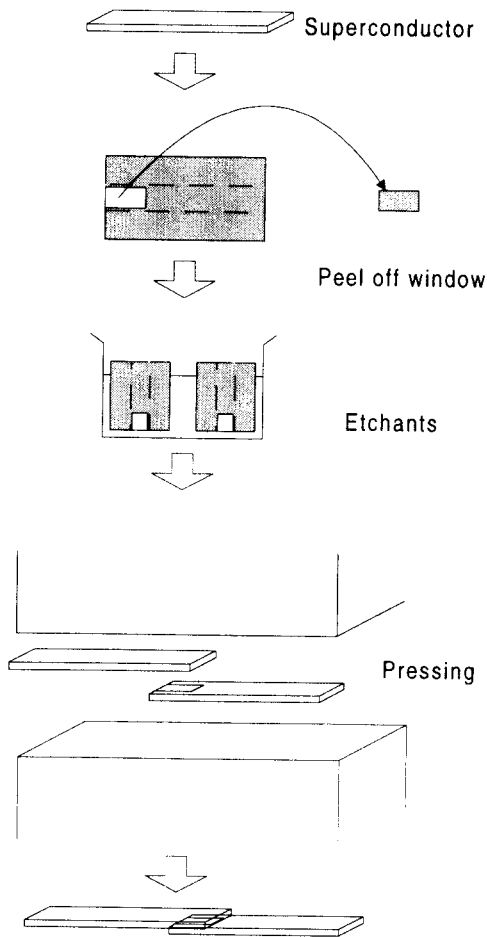


Figure 1. Schematic of Joint Process

탭은 은실을 이용하였다. 시편을 77K의 질소가 담긴 dewar에 담가서 전류를 인가하여 전압을 측정하였다. 시편에는 5 mm 간격으로 전압 탭을 만들어서 시편의 전체적인 전압 유기 추이를 살펴보았다.

2.2 실험 방법

그림 2는 접합선재를 나타낸다. 여기에서 2번 탭과 3번 탭, 그리고 5번 탭과 6번 탭 사이를 천이 부(transition area)라고 한다. Multi-37심의 접합선재의 부분별 전압 특성을 측정하기 위해 통전율(CCR) 60%이고, 선재 전체의 임계 전류는 8[A]인 접합선재를 사용하였으며 부위별로 여러 개의 전압 탭을 만들었다 [1-2]. 일반적인 4단자법 측정 시에는 전체 시편의 임계 특성을 평가하지만 선형성분이 생기는 부분을 발견하기 위해서 부위별로 전압 탭을 만들었다. 시편의 중앙 4 cm를 선택해서 이를 5 mm 간격으로 나누어 총 8개의 탭을 내었다. 탭 간격을 작게 할수록 더욱 자세한 V-I 특성 곡선을 얻을 수 있지만 은실을 선재에 접촉 시 Pb/Sn solder를 사용하기 때문에 남으로 5 mm 이하의 탭을 내기는 어려웠다. 시편의 한쪽 끝에서부터 다른 쪽 끝까지 전압이 유기 되는 양상을 보기 위해서 시편의 중앙 4 cm의 맨 왼쪽

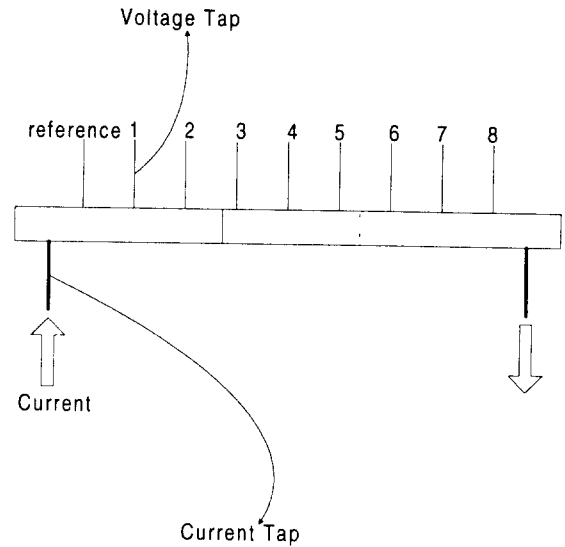


Figure 2. Jointed tape for measurements of voltage

끝을 기준 점으로 잡고 그 탭에서부터 1-8까지 차례로 탭 간 전압을 측정하였다. 그리고 이로부터 V-I 특성 곡선을 구하였다.

2.3 실험 결과 및 토론

그림 3은 1-8의 탭에서 측정된 V-I 특성 곡선을 나타낸다. 맨 하단서부터 상단으로 올라갈수록 기준 점에서부터 멀어지는 탭들이다. 선형성분은 임계 전류 이전에 전압이 선형적으로 상승하기 시작한 지점부터 비 선형적으로 상승하기 시작하는 지점까지 유기 되는 전압을 지칭한다.

그림 3을 보면 기준 점으로부터의 탭의 길이가 길어질수록 선형성분은 더욱 더 많이 생김을 볼 수가 있다. 선형성분은 2[A]서부터 발생되기 시작하였는데 2[A]에서 3[A]사이의 전류 구간에서는 3번 탭 이후의 특성 곡선이 거의 비슷한 선형성분을 가졌으나 4[A]서부터 8[A]사이에서는 5번 탭 이후에서 또 다른 선형성분이 유기 됨을 볼 수가 있다. 이 결과는 천이 부가 시작되는 3번 탭에서 선형성분이 유기 되고 그 다음 천이

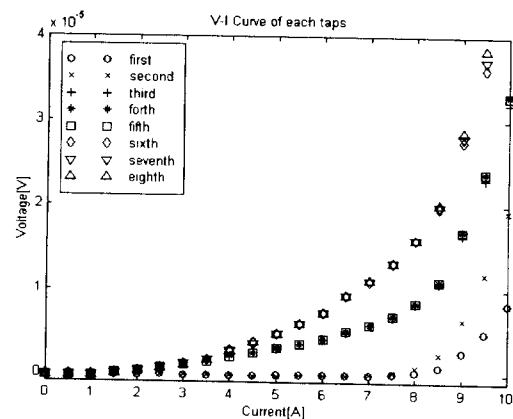


Figure 3. V-I curve of each taps

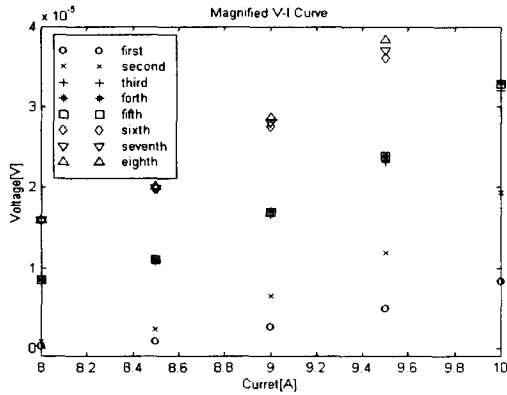


Figure 4. Magnified V-I curve

부인 5번 탭에서 선형성분이 중첩되어 나타났다고 해석할 수 있다. 기준 점에서 가까운 탭에서는 선형 성분이 거의 없다가 천이 부가 시작되는 지점에서 갑자기 선형 성분이 증가했다는 것을 확인 할 수 있다.

그림 3을 확대시켜 그림 4에 나타내었다. 여기서는 선재 전체의 임계 전류인 8[A]부터 도시하였다. 그림 5는 처음 선형성분이 유기 되는 구간 중 2[A]지점, 두 번째로 선형성분이 유기 되는 구간 중 8[A]지점을 택하여서 전압 상승 곡선을 나타내었다. 그림에서는 2[A]에서의 전압을 'o'로 8[A]에서의 전압을 '*'로 나타내었다. 2[A] 곡선에서 첫 번째 천이 부에서 큰 전압 상승이 발생했음을 알 수가 있고 8[A]곡선에서는 첫 번째 천이 부와 두 번째 천이 부에서 큰 전압 상승이 발생했음을 알 수 있다. 천이 부에서 전압이 크게 상승하는 것은 선재의 천이 부가 큰 저항을 가지며 결국 높은 전압을 유기 시킨다고 해석할 수 있다. 그림에 나타나 있듯이 천이 부를 제외한 접합부에서는 거의 전압 상승이 없음을 볼 수가 있다.

이 실험 결과를 해석해 본다면 선재의 천이 부에서 sheath와 초전도심이 비틀려서 전류 재분배 현상이 일어나 저항 성분이 생기고 결과적으로 선형성분이 유기 되었음을 예측 할 수 있다.

그림 6, 7은 접합선재의 광학 사진을 나타낸다. 그림에서 확실히 두 천이 부에서 sheath가 심하게 비틀려 있다는 것을 발견할 수가 있다. 결국 접합 공정 시에 sheath의 비틀림 현상을 최소화 할 수 있다면 선형 성분은 생기지 않을 것이고 천이 부에서의 전압 상승 현상도 발생하지 않을 것이다.

3. 결 론

실험 결과 접합 선재에 있어서 선형 성분의 유기에 가장 큰 영향을 미치는 부분은 천이 부라는 것을 확인 할 수 있었다. 또한 천이 부를 제외한 접합부에서는 선형 성분이 거의 없음을 알 수가 있었다. 선재의 천이 부에서는 sheath부분이 초전도 심층과 함께 비틀려서 초전도 층과 sheath

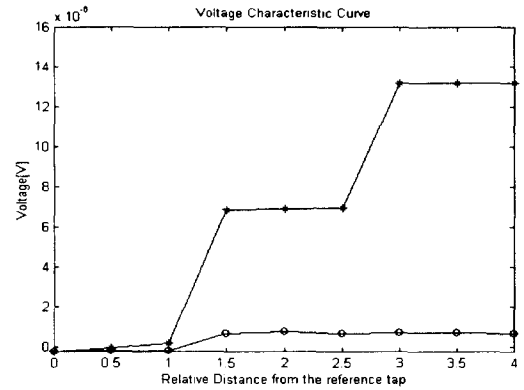


Figure 5. Voltage Characteristic of jointed tape

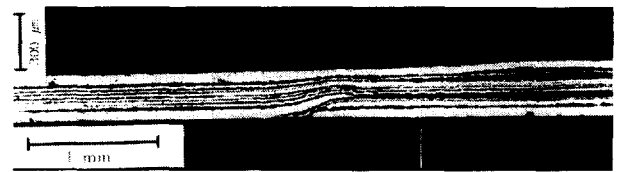


Figure 6. Optical micrograph of longitudinal cross section of jointed tape(left side)



Figure 7. Optical micrograph of longitudinal cross section of jointed tape(right side)

사이에 전류 재분배 현상이 일어나고 이로 인하여 저항 성분이 발생해서 선형 성분이 나타나게 된다. 추후로 접합부의 sheath부분을 완전히 제거 하고 선형성분이 없어지는지 확인한 후 천이 부에서의 저항 값을 실제로 계산하는 추가적인 연구가 필요하다.

본 연구는 한국학술진흥재단의 98 과학기술 기초 중점 연구지원비에 의해 수행된 연구이며 이에 감사드립니다.

[참 고 문 헌]

[1]M Polak, W Zhang, J Parrel, X Y Cai, A Polyanskii, E E Hellstor, D C Larbalestier and M Majors, "Current transfer lengths and the origin of linear components in the voltage-current curves of Ag-sheathed BSCCO components", Supercond.

Sci. Technol, 10, 769-777, 1997

[2]J H Kim and J Joo, "Fabrication and characterization of the Joining of Bi-Pb-Sr-Ca-Cu-O Superconductor tape", Supercond. Sci. Technol, In press

[3]Jung HO Kim, Bong Ki Ji, Jinho Joo, Cheol-Woong Yang, Wansoo Nah, "Superconducting Joint Between Bi-Pb-Sr-Ca-Cu-O Superconductor Tapes", IEEE Transactions on Applied Superconductivity, In press