

## SmBCO 박막형 초전도 테이프의 lamination 공정을 위한 soldering 연구

하동우, 김태형, 오재근, 김호섭, 하홍수, 고락길, 송규정, 이남진, 양주생, 오상수  
한국전기연구원 초전도재료연구그룹

### Study on soldering process of SmBCO coated conductor for lamination

Dong-Woo Ha, Tae-Hyung Kim, Jae-Gn Oh, Ho-Sup Kim, Hong-Soo Ha, Rak-Kil Goh,  
Gyung-Jung Song, Nam-Jin Lee, Joo-Saeng Yang and Sang-Soo Oh  
Korea Electrotechnology Research Institute

**Abstract :** Lamination of coated conductor is important to commercialize for electrical stabilizer and mechanical support. It should be known the properties of soldering interface and the variation of superconductivity on coated conductor with various kinds of solders. SmBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>x</sub> thin films were deposited by co-evaporation method (EDDC, Evaporation using Drum in Dual Chambers). 4 kinds of solders were used to investigate interface properties of SmBCO conductors. In-Bi solder could maintain good connection.

**Key Words :** SmBCO, Coated conductor, Lamination, Soldering Critical current

#### 1. 서 론

제 2세대 고온 초전도선재는 박막형태로 세계적으로 실용화를 위한 연구가 진행되고 있다. 기존의 BSCCO 복합선재는 flux pinning에 대한 문제점으로 자장 인가에 따라 임계전류밀도가 감소하는 특성이 있어 전력기에 적용이 제한되고 있다. 이러한 문제점에 대해 자기장에 대한 특성 감소가 낮은 ReBCO등의 박막 제조공정의 연구가 진행되고 있다[1]. 박막 초전도선재의 구조는 방향성을 가지는 기판위에 완충층 / 초전도층 / 보호층의 구조로 되어 있으며, 최종적으로 기계적, 전기적 안정성을 확보하기 안정화재 (stabilizer)를 적층하여야 하며 이를 위해 납땜 (soldering)에 의해 라미네이션 (lamiantion)한다.

안정화재의 소재로는 구리, 동합금 또는 스테인레스 등이 사용된다. 초전도 선재와 안정화재의 접합은 납땜을 하는데, 납땜 재료의 특성에 따라 접합 특성에 크게 영향을 미치는 있다. 즉 솔더 조성 및 용융온도에 따라 라미네이션 공정의 조건이 달라지게 된다.

따라서 라미네이션 공정 후 2세대 고온 초전도 선재의 초전도 특성의 저하에 가장 적은 영향을 주는 납땜의 선택이 중요하다. 본 연구에서는 용융점이 다른 솔더를 사용하여 라미네이션 공정에 적합한 솔더를 선택할 수 있는 기초 연구를 수행하였다.

#### 2. 실험

라미네이션 공정에 있어서 솔더의 조성 및 용점에 대한 접합특성을 보기위해 사용한 초전도 박막선재는 다음과 같은 공정으로 제조하였다. 사용한 금속기판으로 Hastelloy를 사용하였고, 기판의 표면조도를 향상시키기

위해 전해연마를 하였다. 완충층 증착은 IBAD공정을 이용하여 Epi-MgO/IBAD-MgO/Y2O3/Al2O3/Hastelloy 구조로 증착하였다.

초전도층 증착은 EDDC(evaporation using drum in dual chamber)공정을 이용하였다. EDDC는 Evaporation증발법을 이용하며 증발챔버, 반응챔버, differential pumping chamber로 구성되며 초전도 구성원소별로 증발시킨다. 원소별 증착률은 Sm:Ba:Cu=6 Å/sec:13 Å/sec:6.8 Å/sec가 되도록 하였다. 증착시 반응챔버의 진공도가 5mTorr일때 증착챔버의 진공도는 1x10<sup>-5</sup>Torr 이하가 하여 단일 완충층이 증착된 기판을 spot welder로 드럼에 부착한 후 1x10<sup>-5</sup>Torr 이하에서 Sm, Ba, Cu를 상온에서 녹인다. 드럼의 회전수를 0.7rev/sec의 속도로 고정시키고 온도를 700도 Sm, Ba, Cu의 금속원료를 원하는 증착률에 서 증착속도는 보통 1µm/hr로 하였다. 증착이 끝난 후 산소를 흘려 대기압 하에서 히터전원을 차단하고 자연 냉각하였다. 초전도층 증착 후 보호층으로 Ag을 DC sputtering하여 5µm 두께로 증착하였다. 이렇게 증착한 초전도 선재를 용점 및 조성이 다른 솔더를 이용하여 선재와의 접합특성을 조사하였다. 사용한 솔더로는 저용점의 In-Bi 솔더, Sn-Sb 솔더, Sn-Pb 솔더, Sn-Ag-Cu 솔더를 사용하였다. 표 1에는 사용한 솔더의 조성과 용융점을 나타내었다. 용융점이 최소 72 °C에서 238 °C까지의 범위를 가지고 있다. 솔더의 용융점의 차이에 따른 납땜 후의 박막형 초전도 선재에 미치는 영향을 조사하였으며 또한 솔더접합의 미세조직 및 EDS분석을 하였다. 납땜 과정 동안 Ag 보호층과 초전도층에 미치는 영향을 조사하였다.

표 1. 솔더의 종류에 따른 용융점

Solder	Melting point (°C)
66.3 In - 33.7 Bi	72
62 Sn - 38 Pb	183
95.5Sn - 4 Ag - 0.5Cu	225
97Sn - 3 Sb	238

### 3. 결과 및 고찰

그림 1에는 납땜의 종류에 따른 계면에서의 특성을 평가하기 위한 SmBCO 박막형 선재의 특성을 나타내고 있다. 선재의 길이는 30 m였으며 전류단자는 In sheet로 접합하였고 액체질소에서 end-to-end Ic 값이 185 A/cm-w를 나타내었다.

그림 2에는 표 1에서의 여러 솔더를 사용하여 전류단자를 납땜하였을 때의 표면 상태를 조사하였다. 용점이 가장 낮은 66.3 In - 33.7 Bi 솔더를 사용하였을 때 전류단자는 Ag 보호층과의 접합이 잘 된 것을 볼 수 있었다. 하지만 이보다 용점이 높은 솔더에서는 Ag 보호

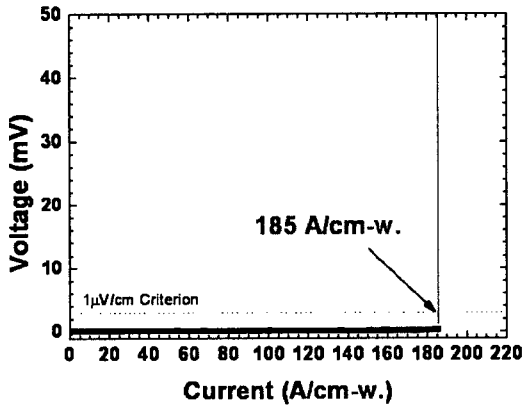


그림 1. 길이 30 m의 SMBCO 박막형 선재에서의 end-to-end Ic (at 77K).

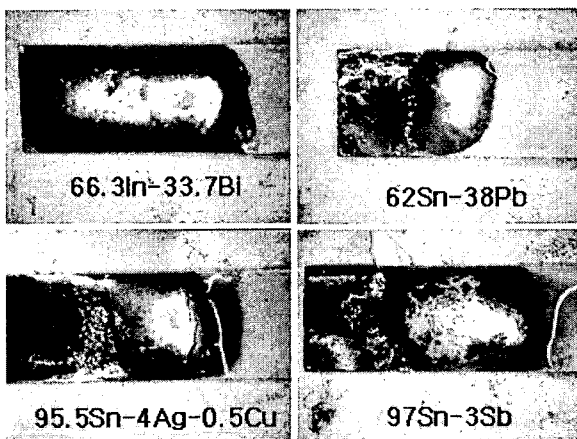


그림 2. 표 1에서의 각종 솔더로 SmBCO 박막형 선재의 납땜 후 표면상태

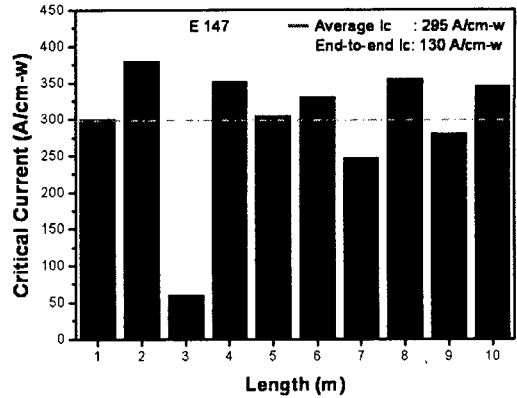


그림 3. 66.3 In - 33.7 Bi 솔더를 사용한 그림 1의 SmBCO 박막형 선재의 1 m 구간별 Ic.

층이 벗겨졌다. 그래서 그림 2에서의 이 부분에 대해 SEM 분석을 한 결과, 초전도층이 드러나 있었으며 EDS 조성 분석 결과 초전도층은 남아 있었다. 따라서 납땜을 위해서는 용점이 낮은 In-Bi 솔더의 사용이 필요함을 알 수 있었다.

그림 3은 66.3 In - 33.7 Bi 솔더를 사용한 그림 1의 SmBCO 박막형 선재의 1 m 구간별 Ic 값을 나타내고 있다. 적절한 솔더를 사용함으로써 계면간의 접합력을 유지할 수 있어 훨씬 높은 Ic 값을 얻을 수 있었다. 이러한 결과는 향후 lamination 공정에 중요한 데이터로 활용될 수 있을 것이다.

### 4. 결론

EDDC 공정에 의한 SmBCO 박막형 초전도 선재의 솔더 종류에 따른 납땜성 및 초전도 특성에 미치는 영향을 조사하였다.

66.3 In - 33.7 Bi 솔더를 사용한 경우 초전도층, 보호층 그리고 솔더와의 접합력을 유지할 수 있었고 초전도 특성을 감소시키지 않게 되어 구간별 평균 Ic 값이 295 A/cm-w으로 평성 평가의 정확성을 향상시켰다.

### 감사의 글

본 연구는 과학기술부의 차세대초전도응용기술개발사업의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

### 참고 문헌

- [1] Verebelyi D.; Harley E.; Scudiere J.; Otto A.; Schoop U.; Thieme C. "Practical neutral-axis conductor geometries for coated conductor composite wire", Superconductor Science and Technology, vol. 16, no. 10, pp. 1158-1161(4), 2003.