

## 수직보조전계 인가방식에 의한 전기영동 전착막의 제작

전용우\*, 박성범\*\*, 소대화\*\*

성덕대학\*, 명지대학교\*\*

### Fabrication of EPD Films by Applying a.c Field Assisted Method

Jeon Yong-Woo\*, Park Seong-Beom\*\*, and Soh Dea-Wha\*\*

Sungduk College\*, Myongji University\*\*

#### Abstract

The electrophoretic deposition (EPD) technique have been applied to fabricating superconducting films and wires in former researches of our Lab. However, the particles of EPD films were usually deposited randomly on the metal substrate, the vertically combined a.c and d.c fields were applied to the EPD electrodes for orienting and densifying the particles of high  $T_c$  superconducting deposition film on the substrate metal. Therefore, the surface states of EPD films by this combined fields could be oriented and affect to the electric properties increasing of superconducting films. The proposed method modified by a.c. assisted field to the conventional electrophoresis system was suitable to obtain improved properties with particle oriented deposition and densification.

**Key Words** : electrophoretic deposition (EPD), superconducting film, metal substrate, a.c assisted field

## 1. 서 론

전기영동전착법을 이용한 초전도 후막제조 의 경우, 다양한 크기의 형상 기관에서 균일하고 치밀한 전착 후막을 얻을 수 있으며, 막두께의 제어가 용이하다는 이점이 있다[1,2]. 이러한 전기영동전착법의 가장 중요한 기본요소로는 현탁용매의 선정과 전착전계 인가조건을 들 수 있다.

본 논문에서는 기존의 전기영동전착 기법에서 적용하던 직류 인가전계 이외에 전착을 위한 보조적 수단으로 교류(alternating current) 전계를 동시에 인가하는 전착 시스템을 개발하여, 이를 초전도 막의 전착 제조연구에 적용하였다[3]. 전기영동 전착시 초전도 막의 무질서한 입자들의 전착 현상을 일정한 방향으로 정렬시켜 입자의 배향성(orientation)과 전착밀도를 향상시킴으로써, 결국 초전도 전착막의 임계전류 특성(밀도)을 개선시킬 수 있는 전착기법을 연구하였다[4].

## 2. 실험

### 2.1 실험장치

본 실험에 사용된 시료는 평균  $2\mu\text{m}$ 의 입자 크기를 갖는  $\text{Bi}_{1.8}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{Pb}_{0.4}\text{O}_x$ 의 초전도 분말을 사용하였으며, 초전도 막을 형성하기 위한 전기영동 장치로는 직류 전착전계와 교류보조 전계를 인가하는 방식의 장치를 사용하였다.

BSCCO의 초전도 분말은 용액중에서 표면에 하전된 표면전하를 갖고 있으며, 외부로부터 전계가 가해지면 전계의 방향으로 힘을 받은 현탁입자들이 끌려가서 결국 금속전극의 표면에 부착되어 전착막을 이루게 된다.

이 과정에서 입자의 배향전착을 가능하게 하기 위하여 판상의 현탁입자들의 무질서한 전착 거동을 정렬하여 부착시키기 위한 방법으로 직류 전착전계와 수직방향으로 교류 보조전계를 병행 인가하는 방식을 채택하였다[5].

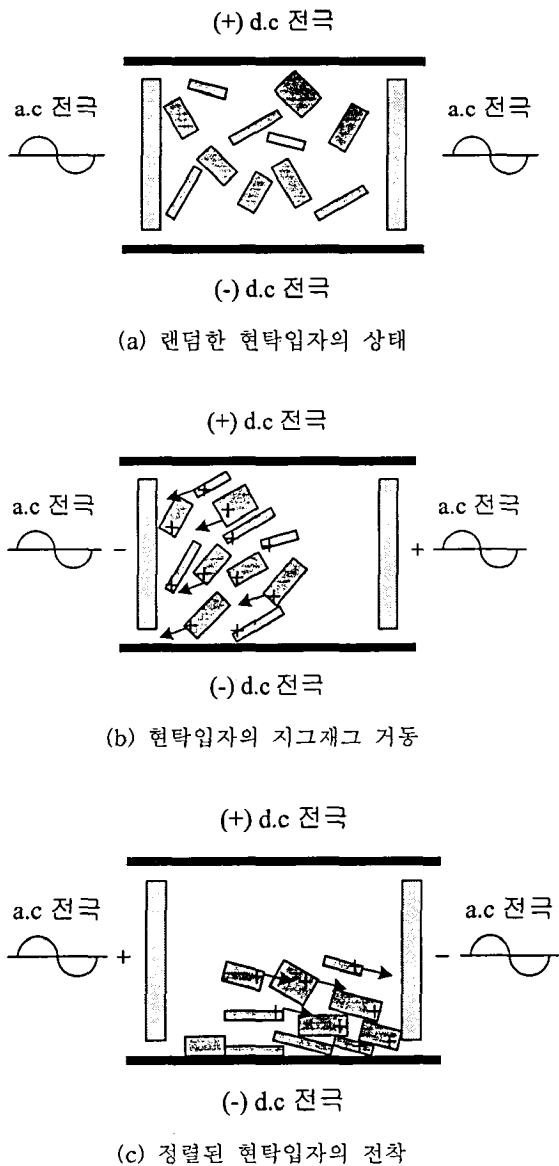


그림 1. 수직 교류전계에 의한 시료입자의 배향 전착 모형

## 2.2 실험방법

전착전계 이외에 교류 보조전계가 병행 인가되므로 전착전계와 보조전계 사이의 전압의 크기 및 입자의 형상에 따른 거동과 그 응답성 및 그에 따른 보조전계의 크기와 주파수 등의 상관 관계도 매우 의미있는 조사 대상이 될 수 있을 것이다. 그러나 본 연구는 보조전계의 범위를 60 Hz의 상용

전원으로 국한하였으며, 우선 상용전원의 전압 크기만을 상대적으로 조정하였으며 보조전계의 유도 전착 효과를 실제적 상황에서 확인하여 전착전계만을 단독으로 사용하였을 때 발생하는 제 문제해소의 가능성을 입증하고, 초전도성 개선에 가장 바람직한 c축 방향의 배향성 활성화를 도모할 수 있는 기술적 확증을 얻어 제시하고자 한다.

그러므로 본 연구에서는 BSCCO 초전도 분말을 아세톤 용액에 현탁시켜 원형 및 태잎형태의 Ag 모재에 직류 전착전압과 교류전계 및 전착시간의 변화를 주어 초전도 전착막 샘플을 제작하였고, 분석 결과를 바탕으로 보조전계 유도전착 효과를 비교 분석, 확인하였다.

표 1. 전착조건의 변화

구분	조건 변화
용매	아세톤
직류	50~500 V
교류	0 ~100 V
인가시간	30~180 sec

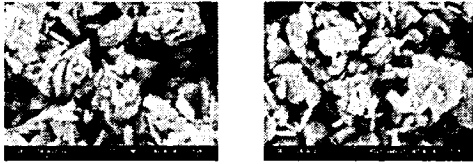
## 2.3 결과 및 고찰

교류 보조전계에 의한 배향성 유도전착의 효과 분석을 위하여 직류 및 직/교류 전계 인가변화에 따른 EPD 전착 BSCCO 초전도 막을 제작하여 직류 및 직/교류 전계 인가의 영향을 분석하고 전착된 시편의 표면과 단면의 구조, 전착 입자의 배향성과 치밀도 등의 특징을 관찰하였다.

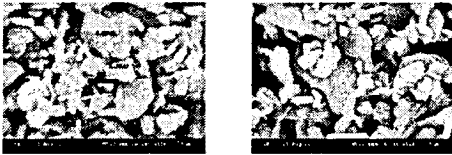
그림2는 직류전착전계를 250 V를 고정하고 교류 보조전계를 변화 인가한 관찰사진으로 교류 보조전계를 인가한 시편의 표면밀도가 향상된 것을 확인 할 수 있다. 교류보조전계를 인가한 시편의 표면 분석 결과로, 아세톤 용액에 현탁시켜 원형 및 태잎형태의 Ag 모재에 직류 250 V의 전착전압을 인가하여 전착방향으로 125 V/cm의 전착전계를 형성하고, 동시에 교류 25 V를 전착전계와 수직방향으로 인가하여 25 V/cm의 교류 보조전계를 형성하여, 제작한 샘플이 비교적 양호한 것으로 확인되었으며, 이는 직류 전착전압과 동시에 교류보조전계가 미치는 영향을 확인할 수 있었다.

50 V이상의 교류 보조전계를 인가할 경우 입자

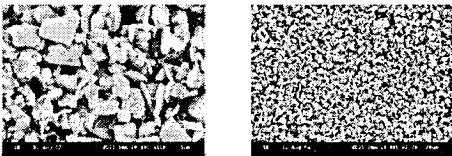
들의 배양성을 오히려 방해하는 것으로 판단되며 특히 작은 입자들의 방향성에 영향을 미치는 것으로 확인되었다.



(a) 직류 150V (b) 직류 250V



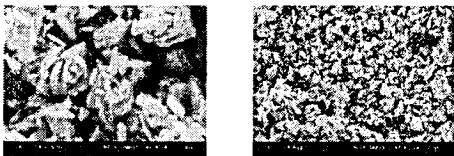
(c) 직류 250V ⊥ 교류 50V, (d) 직류 250V ⊥ 교류 100V



(e) 직류 250V ⊥ 교류 25V, (f) (e)의 저배율사진

그림 2. 보조전계 인가 EPD 전착 BSCCO 초전도 막의 SEM 사진 (표면)

그림 2의 (e)에서 보여주는 전착 표면은 전착장치 내에 250 V의 직류 전착전압과 25 V의 교류전압을 90초 동안 인가하여 제작한 BSCCO 초전도 막의 단면 사진으로 판상구조의 입자 형태를 보여주고 있다.



(a) ×10000 배 (b) × 2500 배

그림 3. 보조전계 무인가(직류 250 V) EPD 전착 BSCCO 초전도 막의 SEM 사진 (표면)

그림 3에서 직류 전계만을 인가했을 경우와 비교, 분석해 보면 전착된 입자의 면과 면간의 접촉면이 동일 방향으로 정렬되어 전착 입자의 배향성이 현저히 개선된 차이가 있음을 확인할 수 있다.

따라서 교류전계를 보조전계로 인가하여 전착한 경우 판상구조 형태를 갖는 BSCCO 분말이 모재 위에 면과 면이 겹쳐서 쌓인 모습으로 전착되었고, 표면 현상이 균일하고 치밀함과 평편하게 전착됨이 SEM 확대 사진에서 확인할 수 있다. 그 결과, 입자의 배향성 향상에 따른 입자의 전착밀도 증가, 입자간의 대향접촉 면적의 증가와 함께 무질서하게 전착될 경우에 발생하는 입자간의 빈 공간 현상이 감소되어 치밀성과 전도성이 향상될 수 있을 것으로 분석된다.

반면 직류전계만을 인가한 그림 3의 경우는 입자들이 매우 무질서하게 전착 되었으며, 이에 따른 표면적 및 전착밀도의 저하와 함께 입자의 부분적 뭉침현상으로 전착막에 빈 공간들이 발생되었으며, 이러한 입자들의 뭉침현상은 입자들의 무질서한 전착과 동시에 덩어리 형태로 부유된 상태에서 전계에 이끌려가는 현상으로 볼 수 있으며, 이는 결과적으로 교류 보조전계를 인가함으로써 입자들을 충분히 교란시켜 유동과 정렬에 의한 배향성을 향상시킬 수 있음을 실험적으로 증명한 결과이다.

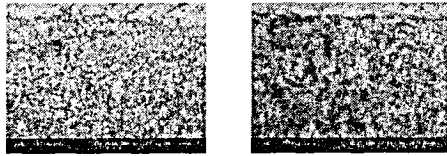
최근 확인된 국외 연구보고에 의하면 교류보조전계를 사용한 막의 제조연구에 대한 연구[6]는 이루어지고 있으나, 250 V/cm 이상의 매우 큰 교류전압을 사용하는 한계성과 비효율성을 앓고 있으며, 상용주파수(60 Hz)와 저 전압(25 V/cm)을 사용하는 본 연구와는 많은 차이를 보여 입자의 배양 전착 연구에 대한 직접적 비교에는 어려운 점이 있으나, 본 연구에서 증명된 실험적 결과와 공정의 효율성 면에서는 비교우위를 확보하고 있다.

그림 4는 동일한 시편의 측면을 관찰한 SEM 사진으로써, 단면 사진에서와 같이 교류 보조전계를 인가한 시편(a)에서 보조전계를 인가하지 않은 시편(b)보다 우수한 치밀성이 관찰되었다.

교류 보조전계를 인가한 시편의 경우 매우 치밀한 입자의 전착밀도가 전체적으로 유지되고 있으며, 그림 2와 같은 일정한 방향성을 갖는 전착 형태를 확인할 수 있다. 시편(b)의 경우는 시각적으로 치밀성이 저하된 현상을 직접 관찰 할 수 있다.

시편의 SEM 사진 관찰로부터 전기영동 전착법

을 이용하여 제작한 선재의 제작과정에서 직류 전착 전압 이외에 입자의 배향성과 밀도를 향상시키기 위한 교류 보조전계의 인가가 초전도 분말의 배향전착에 효과적인 영향을 미친다는 사실을 확인하였다.



(a) 교류 인가 전착 (b) 교류 무인가 전착

그림 4. 보조전계 유/무에 따른 BSCCO 초전도 전착 막의 단면 SEM 사진 비교

### 3. 결론

전기영동법을 이용하여 제작한 BSCCO 초전도 막은 이전의 연구 결과에서와 같이 출발물질인 BSCCO 초전도 분말의 특성이 중요하며, 또한 전착 조건과 열처리 조건이 매우 중요하다. 이러한 외부 인자들은 최적의 조건을 설정함으로써 전기영동전착 BSCCO 초전도 전착막의 특성을 향상시킬 수 있다. BSCCO 초전도 전착막의 입계전류밀도의 향상에는 분말 입자의 치밀성과 배향성이 중요한 역할을 차지하며, 동시에 전기영동 전착법으로 전착된 막은 전착 후 외부의 물리적 힘이 가해지지 않으므로 전착 과정에서 입자의 배향성이 더욱 중요한 요인으로 작용한다.

본 연구는 이러한 분말 입자의 배향성 향상에 관한 기초 연구로써, 직류전계를 전착전계로 사용하고 여기에 보조전계로 교류전계를 병행 인가함으로써 BSCCO 분말 입자의 치밀성과 배향성이 직류전계만 인가한 시편보다 월등히 향상됨을 확인하였다.

따라서 전기영동전착에서 입자의 배향성에 영향을 미치는 교류 보조전계 효과를 전기영동전착법에 의한 초전도 선재 제작에 응용하여 적용한다면 전기영동 전착 초전도 선재의 특성 향상에 상당한 기여를 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

### 감사의 글

본 연구는 KISTEP에서 시행한 국제공동연구사업(과제번호: M6-0011-00-0043)의 지원으로 수행되었음을 밝히며, 이에 감사를 드립니다.

### 참고 문헌

- [1] T. Kiyoshi, K. et al. NRIM R&D program on HTS coils for 1GHz NMR spectrometer, ICEC16/ICMC proc. p.1099.
- [2] Nobuyuki KOURA, Takeyo TSUKAMOTO, Hiromasa SHOJI and Touru Hotta ; "Preparation of Various Oxide Films by Electrophoretic Deposition Method : A study of the Mechanism" Appl. Phys. Vol. 34. p. 1643, 1995.
- [3] 소대화, 박정철, 전용우, 조용준 "보조전계를 이용한 전기영동 초전도 막의 제작" 한국전기전자재료학회 추계학술대회, Vol. 3, No. 2, p. 105, 2002.
- [4] 소대화, 박정철, 이영매, 추순남, "후막전착 YBCO 초전도선재 제작연구(1)", 한국전기전자재료학회지, 제12권, 10호, p. 937, 1999.
- [5] 전용우, 소대화, 박정철, 조용준, 번점국, "보조전계를 이용한 전기영동 초전도 막의 제작", 한국전기전자재료학회, 하계학술대회 논문집, Vol. 3, No. 1, p. 105, 2002.
- [6] Cheng-Feng J. Yue, D. Kumar, Rajiv K. Singh, "Fabrication of Ag-sheathed Bi-Sr-Ca-Cu-O thick films by a novel a.c.-electric field assisted electrophoretic deposition method", Physica C, p. 291, 1999.