

## 보조전계를 이용한 전기영동 초전도 막의 제작

### Superconducting Film Fabrication using Field Assisted Electrophoresis

소대화\*, 박정철\*\*, 전용우\*\*\*, 조용준\*, 樊占國\*\*\*\*

(Soh Deawha\*, Park Jungcheol\*\*, Jeon Yongwoo\*\*\*, Cho Yongjoon\*, Fan Zhanguo\*\*\*\*)

#### Abstract

For fabricating high  $T_c$  superconducting deposited film, novel electrophoretic deposition technique applied to deposit surface charged particles on metal substrate with only d.c field has been studied. The electric properties of superconducting film don't improve easily because the particles of deposition film are deposited randomly on substrate and don't make orientation affected to its critical current density. In this paper, we studied conventional electrophoresis in addition to a.c field assisted for the improvement of BSCCO superconducting film with high orientation of deposition particles.

**Key Words** : electrophoretic deposition, d.c field, a.c field, BSCCO superconducting film

#### 1. 서론

Y계와 Bi계 고온 초전도체의 선재 제조를 위하여 다양한 제작 기법이 이용되고 있다. 전기영동법을 이용한 제작법은 비교적 간단한 제조장치를 사용하여 균일하고 치밀한 전착후막을 형성할 수 있다는 점과 다양한 크기와 형태 및 두께 제어가 용이하고, 장 선재의 양산공정에 적합하다는 이점으로 전기영동전착(Electrophoretic deposition)법의 기술개발 노력이 꾸준히 시도되고 있다 [1-5]. 공정상의 이점을 이용한 전기영동전착법은 외부의 전착 전압으로 직류(d.c) 전계만을 이용하는 연구가 주류를 이루어 왔다. 최근에는 전착 전압에 의해 형성되는 초전도 분말의 전착 형태를 개선함으로써 초전도 선재에 흐르는 초전류를 증가시킬 수 있는 연구도 시도되고 있다 [6]. 이러한 점을 고려하여 본 논문에서는 기존의 전착용 직류 전계의

인가 이외에 단상 및 3 상의 교류(a.c) 전계를 동시에 인가함으로써 전기영동전착 초전도 막의 입자 배향성을 향상시키고, 초전도 선재의 임계전류 밀도를 개선시킬 수 있는 처리과정에 관하여 연구하였다.

#### 2. 실험 방법

두 개의 병렬 기판을 이용하여 a.c 전계를 인가하는 방법은 d.c 전계만을 인가하는 전착법보다 현탁액 내의 초전도 분말의 전착 과정중에 입자를 정렬시킬 수 있고, 결과적으로 전착 모재에 전착되는 입자에 배향성을 향상시키는데 효과적이므로 초전도 막에 흐르는 초전류의 흐름을 개선시킬 수 있다. 이러한 이유는 a.c 전계가 전착에 사용하는 d.c 전계보다 훨씬 고전압이기 때문에 전계 방향에 따라 입자의 진동이 분산된 입자를 일정한 방향으로 정렬시켜 무질서한 전착구조를 감소시키기 때문이다.

이 결과 배향성을 증가시킬 수 있고, 입자를 a.c 전계에 평행하게 전착시킬 수 있으므로 c-축으로의 배향성을 활성화하여 a.c 전계를 인가하지 않은 방법보다 임계전류밀도를 개선시킬 수 있을 것으

\* : Myongji University, Korea.  
(E-mail : dwshoh@mju.ac.kr)  
\*\* : Kyungwon College  
\*\*\* : Sungduk College  
\*\*\*\* : Northeastern University, Shenyang 110004

로 사료된다.

지금까지 연구에 이용된 보조 전계 인가방식은 단상 a.c 전계를 인가하여 단면의 테일 형태에 BSCCO 막을 형성시키는 연구가 일부 수행되었다 [6]. 본 연구에서는 BSCCO 초전도 분말을 이용하여 원형의 Ag 모재에 d.c 250 V의 잔착용 전압과 d.c 전압보다 낮은 a.c 전계를 인가하여 a.c 전계의 인가 유무에 따른 초전도 전착막의 구조에 대하여 관찰하였고 또한 연속전착의 특수성을 고려하여 3상 전계를 인가하는 방식을 고안하고자 하였다.

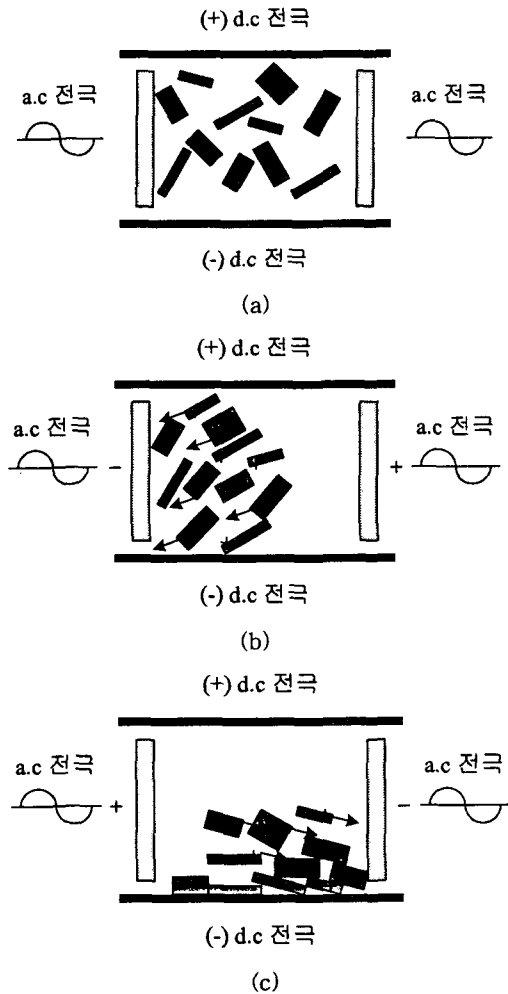


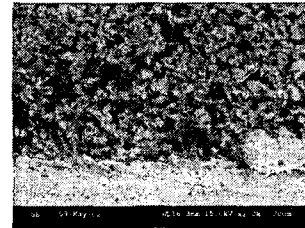
그림 1. 단상 교류전계에 의한 시료입자의 배향 전착

Fig. 1. Schematic diagram of oriented deposition in presence of a.c field.

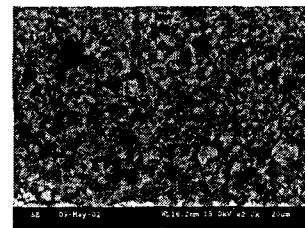
그림 1은 단상의 a.c 전계를 인가하였을 때 전계의 교번에 따른 초전도 입자의 움직임을 개략적으로 나타낸 것으로써 전계의 인가에 의해 배향성의 형성을 도식화한 것이다.

### 3. 결과 및 고찰

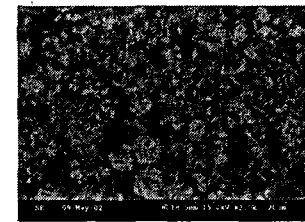
전착이 끝난 BSCCO 초전도 선재의 직류 및 교류 전계 인가의 영향을 관찰하기 위하여 전착 후 열처리 과정을 거친 후 SEM을 이용하였다. 이 때 입자의 배향 특성이 우선적 관찰 대상이므로 기존의 BSCCO 초전도 선재의 열처리 온도보다는 낮은 온도인 700℃를 최고 온도로 하여 열처리를 수행하였다.



(a)



(b)

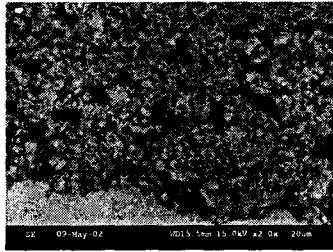


(c)

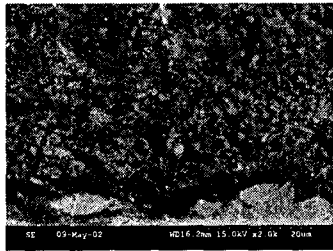
그림 2. a.c 전계에 따른 BSCCO 초전도 막의 단면 SEM 사진

Fig. 2. Cross sectional SEM photograph of BSCCO superconducting film with a.c assisted field.

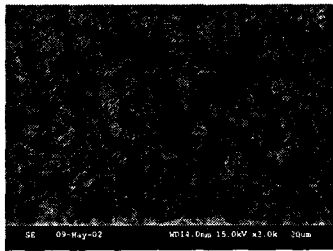
그림 2는 250 V의 d.c 전착 전압에 20 V의 a.c 전압을 60, 30, 0초 동안 각각 인가하여 제작한 BSCCO 초전도 선재의 단면 사진으로써 시편 입자의 외관 형태상으로는 배향성의 유무 관찰이 어려웠다. 외부 a.c 전계의 유무에 따른 입자 배향성의 뚜렷한 관찰은 어려웠으나 그림 2(a), (b)에서와 같이 a.c 전계를 인가한 시편이 그림 2(c)의 a.c 전계를 인가하지 않은 시편과 비교하였을 때, 치밀한 부분이 더 많이 관찰되는 것으로 나타났다. 이는 결과적으로 입자의 배향성이 a.c 전계를 인가함으로써 향상되었다고 판단할 수 있다.



(a)



(b)



(c)

그림 3. a.c 전계에 따른 BSCCO 초전도 막의 측면 SEM 사진

Fig. 3. Longitudinal SEM photograph of BSCCO superconducting film with a.c assisted field.

그림 3은 동일한 시편의 측면을 관찰한 SEM 사진으로써 단면 사진에서와 같이 a.c 전계를 인가한 시편(a, b)에서 전계를 인가하지 않은 시편(c)보다 치밀한 부분이 더 많이 관찰됨을 알 수 있다. 시편의 SEM 사진 관찰로부터 전기영동법을 이용하여 제작한 선재의 제작과정에서 d.c 전착 전압 이외에 배향성을 향상시키기 위한 a.c 전계의 인가가 초전도 분말의 전착에 영향을 미친다는 것을 확인할 수 있었다.

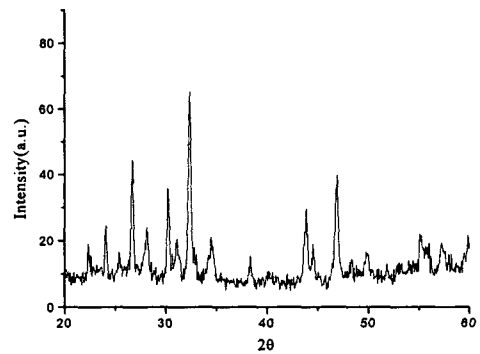


그림 4. a.c 전계를 인가하지 않은 BSCCO 초전도 막의 XRD

Fig. 4. XRD analysis of BSCCO superconducting film without a.c assisted field.

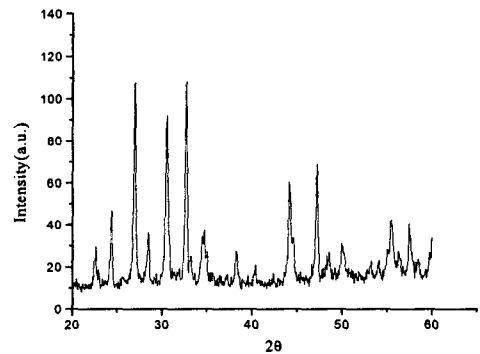


그림 5. a.c 전계를 인가한 BSCCO 초전도 막의 XRD

Fig. 5. XRD analysis of BSCCO superconducting film with a.c assisted field.

a.c 전계의 인가 여부에 따라 형성된 전착막의 치밀성의 차이를 확인하기 위하여 825℃에서 재차 소결처리를 수행한 후 XRD(Jeol, XJE-6A) 분석을 하였다.

그림 4는 외부에 a.c. 전계를 인가하지 않은 시편의 XRD 분석 그림으로써, 그림에서와 같이 BSCCO의 주피크들의 강도가 약하고 랜덤하게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 그림 5는 동일 조건의 시편 제작 조건에 a.c 보조 전계를 인가한 시편의 XRD 분석 그림으로써 보조 전계의 인가에 따라 BSCCO 주피크들의 강도가 개선되어 나타났다. 이는 보조 전계의 영향으로 배향성이 향상되었다는 것을 알 수 있으며, SEM 분석에서와 같이 막의 치밀성이 향상됐음을 의미한다.

#### 4. 결론

전기영동법을 이용하여 제작한 BSCCO 초전도 선재는 이전의 연구 결과에서와 같이 출발 BSCCO 초전도 분말의 특성이 중요하며 또한 전착 조건과 열처리 조건이 매우 중요하다. 이러한 외부 인자들은 최적의 조건을 설정함으로써 전기영동전착 BSCCO 초전도 선재의 특성을 향상시킬 수 있다. BSCCO 초전도 선재의 임계전류밀도의 향상에는 분말 입자의 결합과 배향성이 중요한 역할을 차지한다. 전기영동 전착법은 전착 후 외부의 물리적 힘이 가해지지 않으므로 전착 과정에서 입자의 배향성이 중요하다. 본 연구는 이러한 분말 입자의 배향성 향상에 관한 기초 연구로써 외부에 a.c 전계를 인가함으로써 BSCCO 분말 입자의 치밀성이 향상되는 것을 관찰하였고 이는 전기영동 전착 초전도 선재제작에서 입자의 배향성에 a.c 전계가 영향을 미친다는 것으로 판단할 수 있다.

#### 감사의 글

본 연구는 KISTEP에서 시행한 국제공동연구사업(과제번호: M1-0011-00-0043)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, "전기영동법에 의한 YBCO 고온초전도체 후막제조", 산업기술연구소논문집, 제18집, p. 600, 1999.
- [4] Deawha Soh, N. Korobova, "Pure Thin Film from Ba/Ti Alkoxides", 한국전기전자재료학회지, 11권, 11호, p. 46, 1998.
- [5] Deawha Soh, "Superconductor Thick Film Wire by Electrophoresis Method", The 2nd Int'l Workshop, Non-equilibrium Many-body Systems, October, 1999.
- [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.
- [7] 소대화, 박정철, 이영매, 조용준, 코로보바, "전기영동 초전도 후막선재의 현탁용매 영향", 한국전기전자재료학회 1999 추계학술대회논문집, p. 81, 1999.