

후막전착 YBCO 초전도선재 제조연구(I)

논문
12-10-18

Preparation of YBCO Superconducting Wire by Electrophoretic Thick Film Deposition

소대환*, 박정철**, 이영매*, 추순남**

(Deawha Soh*, Jungcheul Park**, Yingmei Li*, Soonnam Chu**)

Abstract

In this paper, by using the electrophoresis, preparation of YBCO superconducting wire deposited on metal Ag base wire was studied with its properties. YBCO powder could be prepared by solid state reactions with calcining and sintering processes. Superconducting wire prepared on metal Ag wire used as cathode of deposition base could be also fabricated in the YBCO/acetone-dispersed solution to obtain several tens of μm thick films. And then it could be used as superconducting wire for measurement after calcination, sintering and oxygen absorption processes.

In the process of film deposition, a catalyst I_2 added into the suspension solution was very useful for preparing thick film of YBCO, and BaF_2 of additive material was also necessary for preparing crack-free wire of YBCO superconductor.

As a result, YBCO superconducting wire added 2~3 wt.% of BaF_2 with catalyst, I_2 had better deposition condition for uniform and dense YBCO wires, and critical current density, J_c was calculated at the value of 1,458 A/cm² (more than 10³ A/cm², 77 K, 0 T) of 30 μm thick sample by 4 point probe method.

Key Words(중요용어) : Electrophoresis(전기영동), YBCO superconducting wire(YBCO 초전도체 선재), Critical current density(임계전류밀도)

1. 서 론

고온 초전도재료의 실용화 개발 노력과 함께 이물 코일 또는 테이프 형태의 선재(wire)로 가공하여 무손실 전력시스템, 전력저장, NMR용 고자계 발생장치 등의 다양한 활용성을 실현시키기 위한 연구노력이 활발하게 진행되고 있다^{1,2)}. 선재 가공기술은 주로 Bi2223계에서 PIT(Powder In Tube)법, CTFF(Continuous Tube Filling and Forming)법, Bi2212계에서 Dip coating법, PAIR(Pre-Annealing Intermediate Rolling)법, YBCO계에서 IBAD(Ion Beam Assisted

Deposition)법, RABITS(Rolling Assisted Biaxially Textured Substrate)법 등이 있다^{3,4)}. 이와 함께 YBCO와 Bi계 고온 초전도체의 선재 제조를 위한 전기영동전착(Electrophoresis)법의 기술개발 노력도 꾸준히 시도되고 있다⁵⁾. 전기영동법에 의한 선재 제조기술은 비교적 간단한 장치를 사용하여 균일하고 치밀한 전착후막⁶⁾을 다양한 크기와 형상 및 제어 가능한 두께를 용이하게 얻을 수 있으며, 장선을 양산할 수 있는 가공기술이다.

본 연구는 초전도성 YBCO 분말을 전기영동법으로 금속(Ag)선 위에 후막 전착시켜 열처리를 거친 뒤, 동일한 방법으로 전착막의 표면 위에 Ag막을 입혀 YBCO 초전도 선재를 제작하였다. 이때, 원활한 전착막 형성을 위하여 I_2 와 BaF_2 를 촉매제⁶⁾ 및 첨가제로 사용하여 전착막의 특성에 영향을 미치는 표면 균열 현상을 분석하고 제거하였다. 발생된 표면 균열을 제거하기 위하여 YBCO 분말을 1차 전착, 열처리한 후 표면 균열이 심한 전착막을 선택하여 그 위에 다시 2차 전착막을 형성하였다. 2차 전착이 끝난 후 표면의 균열 변화를 관찰하고, 제작된 초전도 선

* : 명지대학교 전자정보통신공학부
(경기도 용인시 남동 산38-2, Fax : 0335-336-7244 E-mail : dwhsoh@wh.myongji.ac.kr)

** : 경원전문대학 전자과
1999년 7월 15일 접수, 1999년 8월 30일 심사완료
<'99 춘계학술대회에서 추천된 논문임>

재의 임계전류밀도(J_c) 등의 특성을 측정하였다.

2. 실험 방법

2.1 시료의 제조

본 실험에 사용된 YBCO 분말은 기존의 고상 합성법을 이용하였으며, $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ 초전도체의 각 성분 원소 비가 $Y : Ba : Cu = 1 : 2 : 3$ 이 되도록 Y_2O_3 , $BaCO_3$, CuO 를 각각의 물비에 따라 혼합하여 920℃에서 6시간 동안 1차 하소한다음, 다시 분쇄, 혼합하여 5 ton/cm²의 압력으로 직경 10 mm, 높이 4 mm인 펠렛 형태로 성형한 후, 920℃에서 24시간 동안 2차 하소 반응시켰다. 시료의 미립화를 위해 충분히 분쇄한 후 입도를 분석하여 평균입도가 2~6 μm임을 확인한 후, 전기영동 전착 현탁액의 혼합용 분말로 사용하였다.

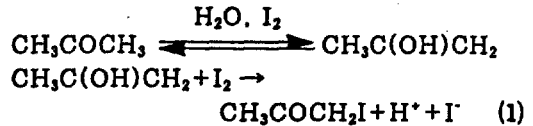
제조된 YBCO 분말의 전착을 위한 금속기선(base wire)¹⁰⁾은 열 및 전기전도도가 우수한 직경 0.8 mm, 99.9% 순도의 silver wire를 선택하였고, 기선 표면의 산화막 및 이물질 제거와 전착의 용이성을 위하여 사포(1500 Cw)와 용제로 표면을 가볍게 연마, 세척하여 현탁액 전착조의 (-)전극으로 사용하였다.

2.2 전기영동 선재의 전착

선재 제조를 위한 YBCO 전착장치는 그림 1의 개략도와 같으며, Ag선(-극) 주위에 망상의 금속(+극, 1.0' stainless wire)을 5 mm의 일정한 간격으로 고정시켜, 균일한 전계분포가 음극주위에 형성되도록 전착조 내의 전극을 구성하고, 영동전착 전원과 멀티

미터를 연결하여 전착을 수행하였으며, 이때 디지털 멀티미터로 측정된 시간에 따른 전착전류의 변화를 컴퓨터로 처리하여 재현시켰다.

전착조 내의 현탁액은 YBCO 분말 2.0 g/l와 첨가제 BaF_2 (0~3 wt.%) 및 전착속매제 I_2 (50~200 μm/l)를 혼합비에 맞춰 충분히 섞어서 연마한 혼합 분말을 아세톤 용액에 넣어 초음파로 분산시켜 얻었다. 미량의 H_2O 와 I_2 가 첨가된 아세톤 용액내에서 산이나 염기의 공존 촉매작용에 의해 H^+ 이온이 식(1)의 반응식과 같이 이온화 된다¹⁰⁾.



H^+ 이온전하가 현탁액 내에 생성되고, 이것이 YBCO 분말의 표면에 흡착되면 (+)의 표면 전하가 분말입자와 함께 고전계에 의해 이동하여 음극의 Ag 선 위에 균일하게 전착된다.

전착이 끝난 YBCO 샘플은 그림 2와 같은 프로그램으로 열처리하였다.

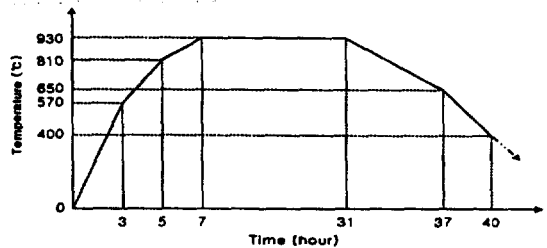


그림 2. YBCO 샘플의 열처리 온도 프로그램

Fig. 2. Thermal heat treatment program of YBCO sample

2.3 산소흡착 및 측정

전착된 YBCO 막으로부터 초전도성을 갖는 사방정 결정구조를 얻기 위하여 산소 분위기에서 산소 흡착과정을 수행하였다.

그림 3은 산소흡착을 위한 열처리과정 프로그램이다. 산소흡착 후 임계온도와 임계전류밀도는 교류자화를 측정법과 4단자 측정법으로 측정하였다¹⁰⁾.

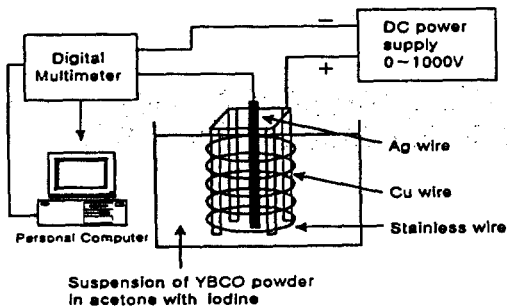


그림 1. 전기영동전착 장치의 개략도

Fig. 1. Schematic diagram of electrophoretic deposition system

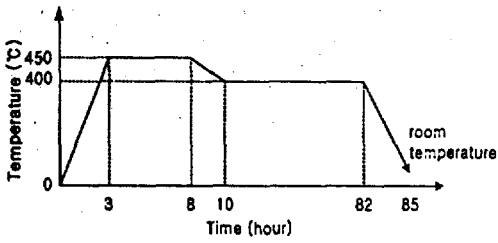


그림 3. YBCO 선재의 산소 흡착 온도 프로그램
Fig. 3. Thermal program of oxygen absorption

3. 결과 및 고찰

3.1 YBCO 선재 전착막의 형성

YBCO 선재 제작을 위하여 충분히 분쇄된 시료 분말의 크기 분포를 입도분석기로 분석하여 그림 4와 같이 입자 크기의 평균분포가 4 μm 내외로써, 2~6 μm 사이에서 주된 분포를 이루는 가우시안 분포에 근접함을 확인한 후 현탁액에 혼합, 분산시켜 영동전착 선재 제작용 분말로 사용하였다.

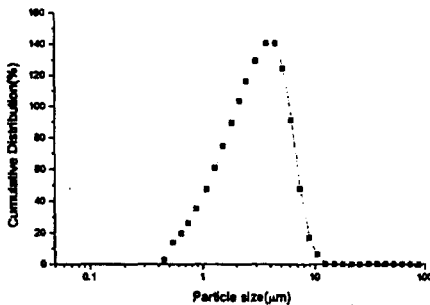


그림 4. YBCO 분말의 입자크기 분포
Fig. 4. Particle size distribution of YBCO powder

이 경우, 현탁액 내에서 YBCO 분말 자체만으로는 표면전하의 형성이 미흡하므로, 이를 위하여 I_2 와 같은 촉매제의 역할이 필요하게 된다. 따라서 촉매제의 특성과 적정조건의 설정을 위해서 I_2 와 전착량의 관계를 조사하였다.

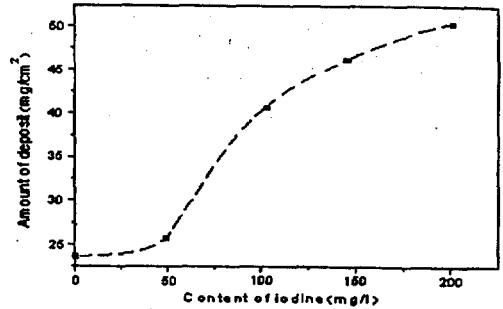


그림 5. 전착량과 요오드(I_2)량의 관계
Fig. 5. Relationship between amount of deposition and iodine content

그림 5는 2.0 g/l의 YBCO 현탁액에 I_2 첨가량을 변화시키면서 200 V의 인가전압하에서 1분 동안 전착시켰을 때 I_2 의 첨가량과 전착량의 관계를 조사하여 나타낸 것이다. I_2 첨가량이 200 mg/l 범위 내에서 증가할수록 YBCO 분말의 전착량은 증가하였으며, 그 이상에서는 오히려 감소하였다. 이것은 이온 전해질인 I_2 의 양이 증가할수록 분산액 내의 표면전하에 의한 이온 전도율이 증가하여 전착전류와 함께 전착량이 증가하기 때문이며, 일정량 이상에서는 H^+ 이온의 과도한 생성으로 H_2 기포가 발생되어 전착을 방해하기 때문이다.

그림 6은 2.0 g/l의 YBCO와 200 mg/l의 I_2 혼합조건하에서 1분 동안 전착시켰을 때의 인가전압에 따른 전착량의 변화를 측정한 결과로써, 전압에 따른 전착량이 700 V 범위 내에서는 음의 법칙과 일치하여 거의 직선적으로 증가하였으나, 그 이상에서는 일치하지 않았다. 이것은 강한 전계하에서 분산액의 일부가 분해되어 음극면에서 발생하는 기포가 전착막 표면으로 방출되면서 전착막을 와해시키는 영향이 지배적인 원인인 것으로 판단되며, 이들은 거칠은 다공성 전착표면을 형성하여 전착밀도와 막의 질을 저하시킨다.

한편, 영동전착 과정에서 음극의 전착표면 근처에는 전기 이중층이 형성되어 복잡한 전계분포가 형성된다. 음극표면은 전착된 분말에 의해 덮혀지면서 표면전하와 함께 전계에 의해 끌려오는 입자의 양과 입자에 미치는 전계의 힘은 시간에 따라 변하게 된다. 따라서 입자가 받는 힘의 크기에 따라 전계에 끌려 이동할 수 있는 분말입자의 양과 크기도 달라질 수밖에 없으므로 전착되는 분말입자의 양 및 크기 분포도 시간에 따라 함께 변하게 된다.

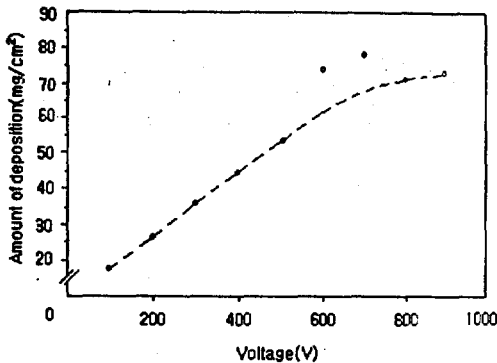


그림 6. 전착량과 인가전압의 관계
 Fig. 6. Relationship between amount of deposition and applied electric potential

이 과정에서 시간에 대한 전착현상의 추이를 확인하는 것은 전착량과 전착분말의 입자분포를 결정할 수 있는 중요한 인자가 되므로, 그 추이를 확인하기 위하여 전착전류의 전착시간에 대한 변화를 조사하였다.

그림 7은 YBCO와 I₂의 첨가량을 각각 2 g/l, 200 mg/l로 하였을 때, 1분 동안 전착을 수행하면서 인가전압에 따른 전착전류의 변화값을 메모리형 디지털 멀티미터로 동시에 측정, 저장한 후 그래프로 재현시켜 전착 과정에서의 전착량 추이를 나타낸 것이다. 이 결과로부터 주 전착은 10초 이내에 거의 이루어지고, 그 이후의 전착상태는 음극 주변이 전착 분

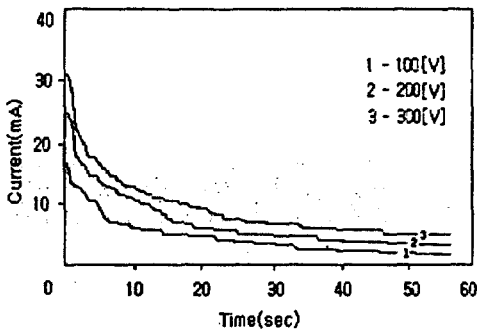


그림 7. 서로 다른 인가전압에 따른 전착전류와 전압의 관계
 Fig. 7. Relationship between current and deposition time at different applied electric potential.

말로 덮혀지면서 급격한 전계분포의 변화로 인하여 전류 값의 변화가 지수함수적으로 감소되어 나타난다. 그러므로 시간이 경과할수록 전착 분말의 크기는 점차 작아지는 분포를 형성하면서 음극 표면으로부터 전착 두께가 증가할수록 전착밀도는 감소될 수밖에 없다. 또한전착 두께의 증가는 열처리 과정에서 전착 내부보다 표면에서 균열현상이 발생하는 원인이 된다. 따라서 긴 시간의 전착을 통하여 두껍게 전착된 막에서 보다 많은 균열현상을 발견하게 된다.

3.2 YBCO 전착선재의 표면분석

앞에서 YBCO 전착막에 대하여 분석해 본 바와같이, 미세한 분말을 영동전착과 같은 방법으로 금속 기선위에 전착한 후 열처리 과정을 통하여 소결시킨 전착과정의 기포발생이나 전착밀도의 차이 또는 기선재와 전착막의 물리적 성질(열 팽창계수 등)의 차이 때문에 막의 표면에 미세한 기공이나 균열현상이 발생될 수 있다. 따라서 선재 제작을 위한 전착막의 표면현상은 특성을 좌우하는 중요한 인자로 작용한다. 이러한 현상들을 관찰하기 위하여 금속기선위에 전착시간과 전압의 전착조건을 각각 30초와 100 V로 고정시키고, 전착상태와 막의 질에 영향을 미치는 첨가제와 촉매제를 BaF₂와 I₂로 선정하여 첨가제의 양과 촉매제의 유무 및 1차 전착후 소결한 경우와 동일조건에서 1차 전착막 위에 다시 2차 전착하여 소결한 선재의 표면현상을 SEM 사진을 통하여 분석, 관찰하였다.

그림 8은 I₂를 첨가하지 않고, BaF₂를 0~3 wt.%까지 각각 모재에 첨가하여 100 V에서 30초 동안 전착시킨 선재의 표면을 SEM으로 관찰한 사진이다. 전착선재의 표면에 기공들을 포함하고 있기 때문에 표면이 거칠게 형성된 것이 관찰되었다. 이것은 현탁액 내에 I₂와 같은 표면전하 형성을 위한 촉매제가 없으므로 표면전하 밀도가 낮아서 전착시 물과 같은 일부의 용제가 분해되면서 기포가 발생된 원인으로 추정된다. 또한 상대적으로 전착량이 커진 BaF₂가 소결과정에서 분해되어 전착막에 영향을 미친 것으로 판단되며¹¹⁾ BaF₂의 첨가효과가 크게 나타나지 않았다.

그림 9는 그림 8의 선재시편 위에 같은 방법으로 2차 전착시켜 얻은 시편의 표면 SEM 사진이다. 이 경우는 오히려 표면이 더 거칠고 더 많은 큰 기공들을 볼 수 있다. 1차 전착에서 생긴 기공 위에 또 다시 2차 전착을 함으로써, 그 기공들이 더 선명하게 나타나게 된 것이다. 그러나 BaF₂가 증가할수록 입자

간의 결합상태는 더 견고함을 볼 수 있다.

가제로 사용한 경우이다. 그림 10에서 볼 수 있듯이 표면에 많은 크랙이 발생되었으나, 앞의 경우에 비하여 I_2 첨가로 인하여 전착량과 두께가 증가되었고, 크랙발생 현상이 현저하며 특히 첨가제 BaF_2 의 첨가량과 관계 있음을 알 수 있다. 여기서 BaF_2 첨가량이 2~3 wt.% 인 시편에서 크랙 발생수가 적은 것을 볼 수 있으며, 이는 다른 연구발표의 결과와 잘 일치되었다. 그러나 이 경우에서 크랙이 많은 점에 대해서는 또 다른 분석이 필요하다. 이를 위하여 전착 두께가 보다 두꺼운 시편을 만들어 조사하였으며, 동일한 시편에서도 두꺼운 부분과 얇게 전착 된 부분을 함께 만들어 조사하였다. 그 결과, 크랙의 발생은 두꺼운 시편에서 그리고 동일 시편 내에서도 두꺼운 부분에서 현저하게 나타남을 확인하였다. 따라서 본 논문의 3.1 펄 부분에서 분석하여 설명한 결과가 실험결과에서도 잘 일치하여 확인됨을 알 수 있다.

그림 8. 요오드를 첨가하지 않고 1차 전착된 선재의 표면 SEM사진(BaF_2 0, 1, 2, 3 wt.%).
Fig. 8. SEM photograph of 1st deposited wire without I_2 (BaF_2 0, 1, 2, 3 wt.%).

그림 10. 요오드를 첨가하고 1차 전착된 선재의 표면 SEM사진(BaF_2 0, 1, 2, 3 wt.%).
Fig. 10. SEM photograph of 1st deposited wire added I_2 (BaF_2 0, 1, 2, 3 wt.%).

그림 9. 요오드를 첨가하지 않고 2차 전착된 선재의 표면 SEM사진(BaF_2 0, 1, 2, 3 wt.%).
Fig. 9. SEM photograph of 2nd deposited wire without I_2 (BaF_2 0, 1, 2, 3 wt.%).

또한, 그림 10의 시편 위에 같은 방법으로 2차 전착을 수행하여 얻은 시편을 SEM으로 관찰하였다. 그림 11에서 확인할 수 있는 바와 같이, 그림 10에서 볼 수 있던 미세한 크랙들은 전혀 찾아 볼 수 없으며, 특히 BaF_2 를 2 wt.%와 3 wt.% 첨가한 시편에서 기공이나 크랙이 전혀 없이 균일하고 치밀한 거의 완벽한 전착 선재의 시편을 얻을 수 있었다. 이는 첨

다. 그림 10과 11은 앞의 경우에 대하여 I_2 를 첨

가제의 효과와 함께 이중 전착을 수행함으로써 얻어진 결과이다. 이를 다시 확인하기 위하여 크랙을 발생시킨 시편 위의 크랙발생 부분 위에 이중으로 전착을 수행하여 소결한 다음, 그 경계부분 주위를 동시에 확인하여 볼 수 있도록 현미경으로 관찰한 결과를 그림 12에 나타내었다. 여기에서 1차 전착만 수행한 부분(좌측)에 대하여 2차 전착을 수행하여 얻은 부분(우측)의 표면에서 역시 균일하고 치밀한 전착 표면을 얻을 수 있었다.

통하여 연결, 봉입시켜 준다면 전류밀도를 개선시켜 줄 수 있다. 한편, 표면의 손상이나 습기로부터 표면을 보호하기 위하여 시편 위에 같은 방법으로 Ag_2O 를 전착시켰다. Ag_2O 를 열처리하여 환원시키면 금속 Ag 보호막을 얻을 수 있으며, 직경 0.8 mm의 Ag 선 위에 약 30 μm 두께의 YBCO 후막을 전착시킨 바깥 층에 Ag 보호막을 입힌 시편을 절단하여 얻은 단면 사진을 그림 13에 나타냈다.

그림 13. YBCO 선재의 단면구조

Fig. 13. The cross-sectional view of YBCO wire

그림 11. 요오드를 첨가하고 2차 전착된 선재의 표면 SEM사진(BaF_2 0, 1, 2, 3 wt.%).

Fig. 11. SEM photograph of 2nd deposited wire added I_2 (BaF_2 0, 1, 2, 3 wt.%).

YBCO 전착막이 Ag 기선 위에 견고하고 일정한 두께로 형성되었고, 그 위에 Ag 보호막이 부착되어진 선재 시편의 단면을 관찰할 수 있다.

그림 14는 제작된 YBCO 선재의 X-선 회절 분석 결과로써, 현탁액 내의 YBCO 분말이 기판에 전착되어 용융점 이하의 온도(920 $^{\circ}C$)에서 소결 처리된 시편의 전착 분말은 전착전의 동일한 YBCO 분말의 X-선 회절패턴과 일치됨을 확인하였다.

그림 12. 1차 전착 선재와 2차 전착 선재의 경계 영역(비교)

Fig. 12. Boundary region between single and double deposition layer on Ag wire

표면에 발생한 미세한 크랙과 기공들을 이중전착을

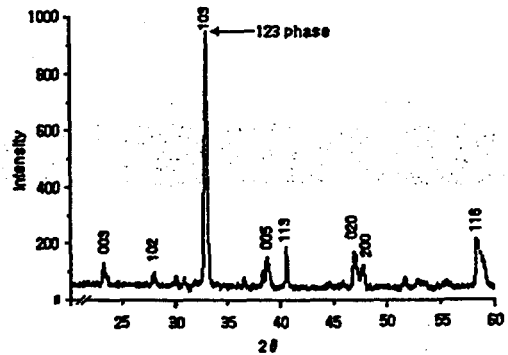


그림 14. YBCO 선재의 XRD 형태

Fig. 14. X-ray diffraction pattern of YBCO wire

3.3 YBCO 선재의 초전도 특성

앞에서 언급한 방법으로, YBCO 분말을 1차 전착하여 소결한 선재 시편을 제작하여 액체질소 온도에서 4단자법으로 임계전류(I_c)를 측정하였다. 그림 15에서 보는 바와 같이, 시편으로부터 측정된 임계전류는 1.14A이며, 이를 임계 전류밀도(J_c)로 환산하여 얻은 값은 1,458 A/cm²(77 K, 0 T, 30 μm)로써 10³ A/cm² 이상임을 확인하였고, 임계온도 측정결과로부터 $T_{c,on} = 96$ K, $T_{c,zero} = 92$ K의 값을 얻었다.

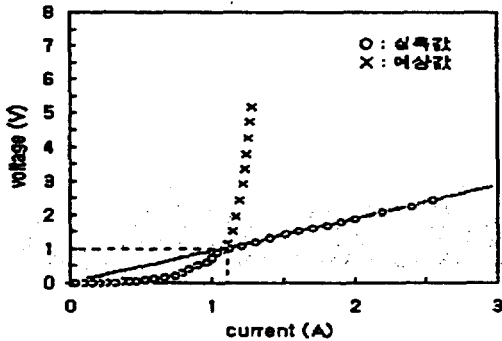


그림 15. 4단자법으로 측정된 임계전류밀도 값
Fig. 15. Critical current of sample wire measured by four point probe method.

YBCO에 비하여 BSCCO는 비교적 소결온도(845 °C이하)가 낮고 결정성이 용이하므로 선재의 경우 높은 J_c (10⁴ A/cm²이상)를 얻을 수 있으며, YBCO 선재는 bulk에 비하여 결정배향을 이루기가 어려우므로, 결정배향을 시켜줄 수 있는 선재 제작 조건이 확립된다면 보다 큰 J_c (10⁴ A/cm²이상)를 얻을 수 있을 것으로 예상된다.

4. 결 론

본 논문에서 전기영동법을 이용하여 YBCO 초전도 선재 제조를 위한 기초연구를 수행하여 얻은 결과는 다음과 같다.

1. 전기영동법으로 YBCO 분말을 전착시킬 때 인가 전압(0~500 V)과 촉매제 I₂(0~200 mg/l)의

2. 증가에 따라 YBCO 분말의 전착량은 증가하였다.
3. 촉매제 I₂를 첨가하지 않고 BaF₂의 첨가량만을 변화시켰을 때, BaF₂의 첨가량이 증가함에 따라 보다 많은 기공이 발생하였고, 2차 전착 후 기공에 의한 표면 거칠기는 더욱 증가되었다.
4. 일정량의 I₂를 첨가함으로써 표면 기공은 감소하였으나 두께 증가와 함께 균열현상도 증가하였으며, BaF₂를 증가시켰을 때 일정량(3 wt.%) 이하에서 치밀성이 향상되었다.
5. 1차 전착 및 소결 후에 이중으로 2차 전착과정을 반복하여 수행하였을 때, 표면의 크랙과 기공을 제거할 수 있었고, BaF₂를 2~3 wt.% 첨가시켰을 때 균일하고 치밀한 표면상태를 갖는 우수한 초전도 영동전착 선재를 얻을 수 있었다.
6. 1차 전착 선재 시편으로부터 측정된 임계온도는 $T_{c,on} = 96$ K, $T_{c,zero} = 92$ K이고, 임계전류밀도(J_c)의 값은 1,458 A/cm²로서, 10³ A/cm² 이상임을 확인하였다.

이상의 결과로부터, 다중전착 및 textured 배향기술 등의 부가적 기술효과를 적용할 수 있다면 전류밀도의 상당한 수준 향상이 기대될 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 명지정보통신연구센터(MIC), 경기도 권소사업 사업의 지원으로 수행되었음을 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. M. K. Wu, J. Ashburn, C. W. Chu, et al, *Phy. Rev. Lett*, 58, 908(1987).
2. 한국전기연구소, "초전도선의 신가공 및 코일 응용기술 개발" 과학기술부최종보고서, 1998.
3. T. Kiyoshi, K. et al, NRIM R&D program on HTS coils for 100 NMR spectrometer, ICEC16/ICMC proc. pp. 1099-1102.
4. 주상현, "전기영동전착에 의한 Al₂O₃ 후막 제조에 관한 연구", 명지대학교대학원 석사학위논문, 1998.
5. 조용준, "전기영동 전착에 의한 고온 초전도체 YBCO 후막 제조에 관한 연구", 명지대학교 대학원 석사학위논문, 1999년.
6. 徳岡保導, 岸富也, 永井隆 ; 電氣化學, 42-40(1974).
7. Nobuyuki KOURA, Takeyo TSUKAMOTO,

- Hiromasa SHOJI and Hideyuki NEGISHI :
"Preparation of Functional Material Films by
Electrophoretic Deposition Method", 表面技
術, Vol. 46, No. 6, 1995.
8. 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, pp. 1643-1647, 1995.
9. Nobuyuki KOURA, Hiromasa SHOJI :
"BSCCO superconductor coating by the
electrophoretic deposition method" Physica
C, pp. 50-54, 1992.
10. 소대화, "전기영동법에 의한 YBCO 고온초전
도체 후막제조", 산업기술연구소논문집, 제18
집, pp. 600-605, 1999.
11. Deawha Soh, N. Korobova, "Pure Thin
Film from Ba/Ti Alkoxides", 한국전기전자
재료학회지, 11권 11호, 46-52, 1998. 11.