

보강재를 첨가한 YBCO 초전도체의 기계적강도 변화

이남일, 장건익, 이상현¹, 김찬중²

충북대학교 신소재공학과, 선문대학교 전기전자공학과¹, 한국 원자력 연구소²

Mechanical Properties of YBCO Superconductors with Impregnation Materials

Nam-il Lee, Gun-eik Jang, ¹Sang-heon Lee, ²Chan-jung Kim

Department of advanced Materials Engineering Chungbuk National University

Department of Electrical and Electronics Engineering Sunmoon University¹

Korea Atomic Energy Research Institute²

Abstract : Bulk YBCO 초전도체는 top-seeded melt-growth 방법으로 제조되었다. YBCO bulk는 Epoxy resin과 AgNO₃를 보강해 초전도체의 기계적 강도를 향상하고자 하였다. Epoxy resin은 보강 재료인 STYCAST 2850-FT와 경화제인 CATALYST 24LV를 100:5 비율로 혼합하여 제조한 후 mould에 넣고 66℃에서 2시간 열처리 하였다 (rotary pump로 진공 분위기 조성). AgNO₃는 350℃에서 2시간, 450℃에서 1시간 열처리 하여 Ag와 NO₃의 분리 후 YBCO bulk에 Ag가 보강되도록 하였다. Epoxy resin과 분리된 Ag는 YBCO bulk의 crack과 void에 침투되는 것을 SEM과 광학현미경을 통해 관찰할 수 있었다. Three point bending test를 이용하여 보강 전후의 YBCO bulk의 기계적 강도를 측정하였다. 보강 후의 YBCO bulk의 기계적 강도는 보강 전에 비해 향상된 결과를 확인할 수 있었고, Epoxy resin과 AgNO₃를 보강한 YBCO는 기계적 강도 향상에 높은 신뢰성을 보이고 있다.

Key Words : YBCO, Epoxy resin, AgNO₃, superconductor, Mechanical property

1. 서 론

YBa₂Cu₃O_{7-x} (YBCO) 초전도체는 높은 부상력 때문에 high-speed flywheel 에너지 저장 system에 사용되고 있다. 이 system에서 가장 고안해야 할 것 중에 flywheel의 큰 하중에서 YBCO 초전도체가 견딜 수 있어야 하는데 pseudo-single crystal 형태의 부서지기 쉬운 성질을 가지고 있으므로 YBCO 초전도체의 기계적 강도를 높일 수 있는 방법을 강구해야 한다.[1]

Annealing을 하는 동안 상의 변형으로 crack을 야기하고 이 crack은 YBCO의 기계적 특성을 악화시킨다. 또한 top-seeded melt-grown으로 만들어진 초전도체는 oxygen formation, gas trap으로 많은 void가 존재하여 표면의 crack과 연결되어 기계적 특성을 악화시킨다. M. Tomita의 2002년 논문에 의하면 resin 보강은 기계적 강도를 향상시킬 수 있음을 보이고 있다[2]. 본 실험에서는 Epoxy resin과 AgNO₃를 사용하여 YBCO 초전도체에 보강함으로써 기계적 강도를 향상시키고자 하였다.

2. 실험

YBCO 초전도체는 top-seed melt-growth 방법으

로 제조되었다. 시편은 가로 40mm, 세로 20mm, 두께 20mm의 tetragonal 형태로 제작하였다. Epoxy resin은 보강재인 STYCAST 2850-FT와 경화제인 CATALYST 24LV를 100:5 비율로 혼합하여 66℃에서 2시간 열처리 하였다. 실험이 진행 되는 동안 rotary pump를 이용하여 진공 분위기를 조성하였다.

AgNO₃는 350℃에서 2시간, 450℃에서 1시간 동안 열처리를 통해 Ag와 NO₃ 분리 후 Ag를 YBCO bulk에 보강되도록 하였다.

강도 측정을 위해 sample을 diamond cutter기를 이용해 40(W)×4(L)×1.5(T)mm³로 절단하여 three point bending test를 하였고, 10회에 걸쳐 실시하였다. 그림 1은 three point bending test의 개략적 모습을 나타낸다.

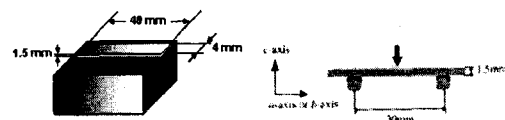


그림 1. three point bending test의 개략적 형태

3. 결과 및 고찰

3.1 미세구조

그림 2는 Epoxy resin의 보강 전 후의 SEM image 이다. 보강 후에 resin이 기공들 속으로 침투된 모습을 확인할 수 있었다. 그림 3은 AgNO₃의 보강 전 후의 SEM image 이다. AgNO₃는 314℃의 녹는점을 보이므로 350℃에서 녹아 YBCO의 기공과 crack 속으로 침투하게 되고, 444℃에서 Ag와 NO₃가 분리되어 Ag가 YBCO의 기공과 crack을 보강하게 된다.

3.2 기계적 강도

표 1은 시편을 40(W)×4(L)×1.5(T) mm 크기로 절단하여 bending test한 결과를 나타낸다. 보강 전 후 비교시 보강후의 굽힘 강도가 증가하는 결과를 확인할 수 있었고, resin 보강 후 굽힘 강도는 38.4 MPa, AgNO₃ 보강 후의 굽힘 강도는 10.8 MPa의 향상된 결과를 나타내었다.

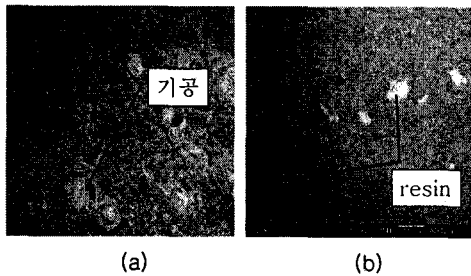


그림 2. Epoxy resin을 YBCO 초전도체에 보강하기 전 후의 SEM 사진. (a) 보강 전, (b) 보강 후

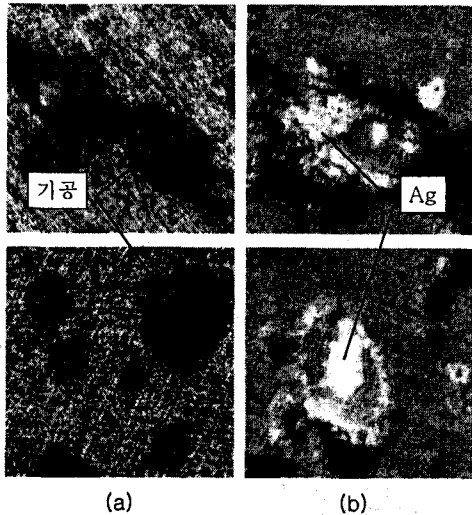


그림 3. AgNO₃를 YBCO에 보강하기 전 후 광학 현미경 사진. (a) 보강 전, (b) 보강 후

4. 결론

Resin과 Ag는 YBCO bulk의 기공과 crack에 침투되어 보강된 모습을 SEM과 광학 현미경을 통해 확인할 수 있었고, 보강 후의 YBCO bulk 초전도체는

bending test 결과 향상된 굽힘 강도를 확인할 수 있었다. 보강 후의 YBCO 초전도체의 굽힘 강도는 resin : 38.4 MPa, AgNO₃ : 10.8 MPa로 각각 향상되었다.

표 1. Bending strength

YBCO bulk superconductor	Bending strength (MPa)
Without resin	76.7
with resin impregnated	115.1
Without AgNO ₃	68.4
with AgNO ₃ impregnated	79.2

5. 감사의 글

본 연구는 산업자원부 전력산업연구개발 사업의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] R. de Andrade Jr., A.C Ferreira, G.G. Sotelo, W.I. Suemitsu, L.G.B. Rolim, J.L. Silva Neto, M.A. Neves, V.A. dos Santos, G.C.da Costa, M. Rosario, R. Stephan, R. Nicolsky, *physica C* 408(2004) 930
- [2] M. Tomita, M. Murakami, *nature* vol.421 (2003)
- [3] M. Tomita, M. Murakami, K. Katagiri, *physica C* 378 (2002) 783
- [4] M. Tomita, M. Murakami, S. Nariki, K. Sawa, *physica C* 378 (2002) 864