

Mechanical and Magnetic Properties of YBCO Superconductor with Bi/CNT Composite and Resin/CNT Impregnation

W. S. Oh^a, G. E. Jang^{*,a}, Y. H. Han^b, T. H. Sung^b

^a Department of Advanced Materials Engineering, Chungbuk national university, Cheongju, Korea

^b Korea Electric Power Research Institute

Bi/CNT 화합물과 Resin/CNT를 보강한 YBCO 초전도체의 기계적, 자기적 특성 변화

오원석^a, 장건익^{*,a}, 한영희^b, 성태현^b,

Abstract

Bi/CNT composite and resin/CNT were chosen to improve the mechanical properties of $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ (YBCO) superconductor. In order to elucidate the effects of Bi/CNT composite and resin/CNT in YBCO superconductors, melt texture superconductor were impregnated by mixed compound of Bi and CNT into the artificial holes parallel to the c-axis, which were drilled on the YBCO superconductor. Various amount of Bi/CNT and resin/CNT were impregnated to YBCO superconductor with different holes diameters. Typical artificial holes diameters were 0.5, 0.7, and 1.0 mm respectively. Result of three-point bending test measurement, the bending strength with resin/CNT impregnation was improved up to 59.64MPa as compared with 50.79 MPa of resin/CNT free bulk. Resin/CNT impregnation has been found to be one of the effective ways in improving the mechanical properties of bulk superconductor.

Keywords : YBCO superconductor, artificial hole, Bi/CNT composite, mechanical property

1. Introduction

Top-seed melt-growth(TSMG)으로 제작된 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ (YBCO) 초전도체는 pseudo-single crystal 형태로 oxygen formation, gas trap으로 많은 void가 존재하며 표면의 crack과 연결되어 부서지기 쉬운 성질을 가지고 있다. 또한

annealing을 하는 동안 상의 변형으로 생긴 crack이 YBCO 초전도체의 기계적 특성을 악화시킨다. YBCO 초전도체는 높은 부상력으로 high-speed flywheel 에너지 저장 시스템에 사용되고 있는데 flywheel의 큰 하중에서 견딜 수 있는 기계적 강도 향상 방법을 강구해야 한다. 본 연구에서는 YBCO 초전도체의 기계적 강도를 향상시키기 위해 다양한 양의 epoxy resin과 Bi/CNT 화합물을 이용하여 보강함으로써 기계

*Corresponding author. : Gun-Eik Jang Fax : +82 43 274 8925
e-mail : gejang@chungbuk.ac.kr

적 특성과 자기적 특성을 향상시키려 하였다.

II. Experiments

YBCO 초전도체는 top seed melt-growth 방법으로 제조되었다. 실험에 사용된 시편은 가로 40 mm, 세로 10 mm, 두께 3 mm의 형태로 제작하였으며 다양한 양의 보강제를 함침하기 위하여 각각 직경 0.5 mm, 0.7 mm, 1.0 mm의 hole을 5개씩 인위적으로 가공하였다. 보강제인 epoxy resin은 66 °C에서 2시간 열처리하였고 또다른 보강제인 Bi-In compound는 조성이 In-70 wt%, Bi-30 wt%가 되도록 제작하였으며 250°C에서 2시간 열처리하였다. 열처리가 진행되는 동안 rotary pump를 이용하여 진공 분위기를 조성하였다. 또한 강도가 좋은 carbon nano tube(CNT)를 resin과 Bi-In compound에 첨가하여 기계적 강도를 향상시키려 하였다. 3점 굽힘 시험으로 보강 전, 후의 YBCO 초전도체에 기계적 강도를 측정하였고 다양한 양의 함침을 위해 인위적으로 가공한 hole이 YBCO 초전도체의 자기적 특성에 미치는 영향을 확인하기 위하여 magnetic flux density와 levitation force를 측정하였다.

III. Results

1. 미세 구조

Fig. 1과 2는 보강 전, 후의 YBCO 초전도체에 인위적으로 가공한 hole의 단면 및 resin과 resin + CNT를 인위적으로 가공한 hole에 함침 후의 단면 SEM 사진이다. resin과 resin + CNT가 hole 안에 비교적 잘 함침되어 있음을 확인하였다.

Bi-In compound와 Bi-In compound + CNT의 함침 후 미세구조는 Fig. 3에 나타내었고 비교적 잘 함침이 이루어 졌으나 YBCO 초전도체와 보강제와의 접합부분이 resin, resin + CNT 보강 시편에 비하여 이격되어 있는 것을 확인하였다.

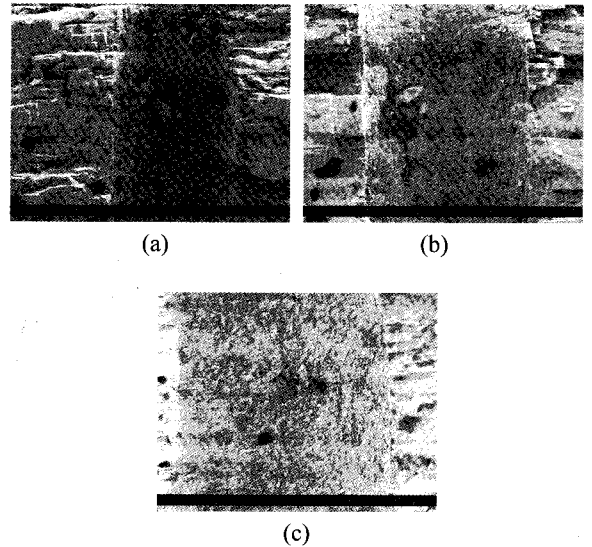


Fig. 1. SEM image before impregnation : (a) 0.5 mm, (b) 0.7 mm and (c) 1.0 mm.

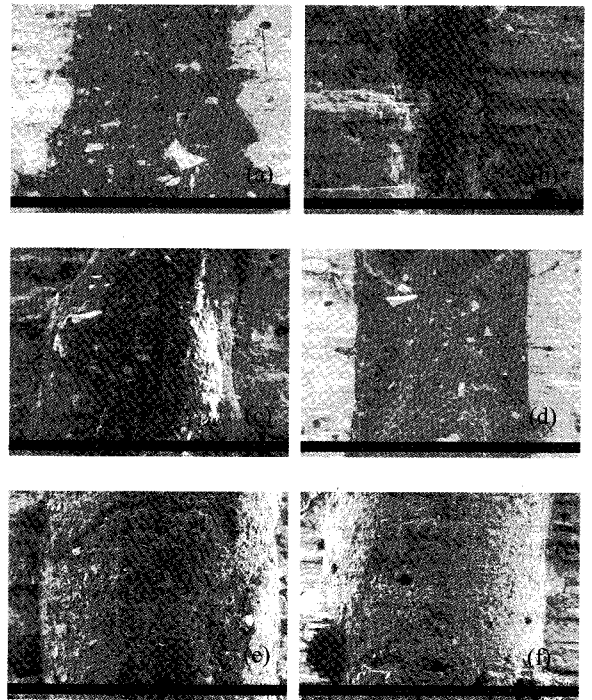


Fig. 2. SEM image after resin and resin + CNT impregnation : (a) 0.5 mm with resin, (b) 0.5 mm with resin + CNT, (c) 0.7 mm with resin, (d) 0.7 mm with resin + CNT, (e) 1.0 mm with resin and (f) 1.0 mm with resin + CNT.

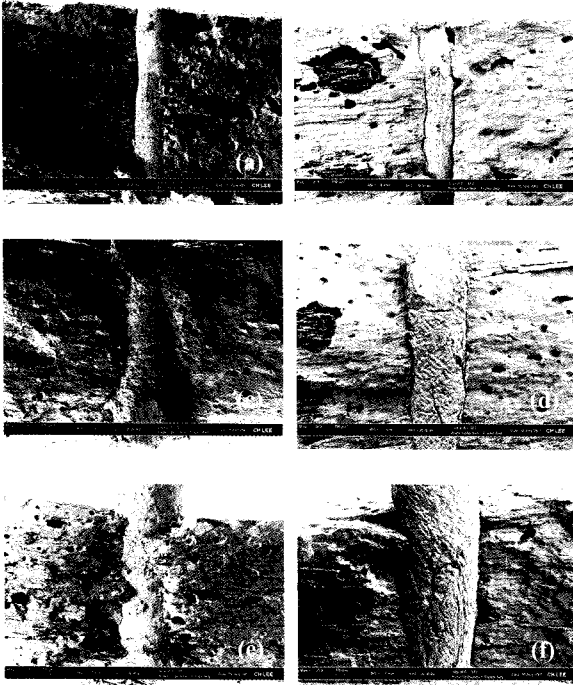


Fig. 3. SEM image after Bi-In compound and Bi-in compound + CNT impregnation : (a) 0.5 mm with Bi-In compound, (b) 0.5 mm with Bi-In compound + CNT, (c) 0.7 mm with Bi-In compound, (d) 0.7 mm with Bi-In compound + CNT, (e) 1.0 mm with Bi-In compound and (f) 1.0 mm with Bi-In compound + CNT.

2. 기계적 강도

40(L) x 10(W) x 3(T) mm³ 크기의 YBCO 시편을 3점 굽힘 실험으로 기계적 강도 측정 결과를 Table 1에 나타내었다. CNT를 첨가한 시편에서 기계적 강도가 증가하였음을 확인하였다. 직경 0.5 mm의 hole에 Resin + CNT를 함침한 시편이 가장 우수한 기계적 특성을 보였으며 hole 가공 전의 50.79 MPa에서 보강 후 59.64

MPa로 약 20%의 기계적 강도 증진 효과를 나타내었다. Bi-In compound를 보강한 시편은 YBCO와 보강제의 접합이 불충분하여 비교적 낮은 기계적 특성을 갖는 것으로 판단된다.

3. 자기적 특성

YBCO 초전도체에 인위적인 hole 가공 전과 후의 자기적 특성을 비교하기 위하여 magnetic flux density와 levitation force를 측정하였다. Fig. 4는 가공된 hole의 직경에 따른 magnetic flux density 측정결과를 나타낸 것이다. 인위적인 hole 가공 전, 후의 flux density 측정 결과 인위적으로 가공한 직경 0.5 mm, 0.7 mm hole이

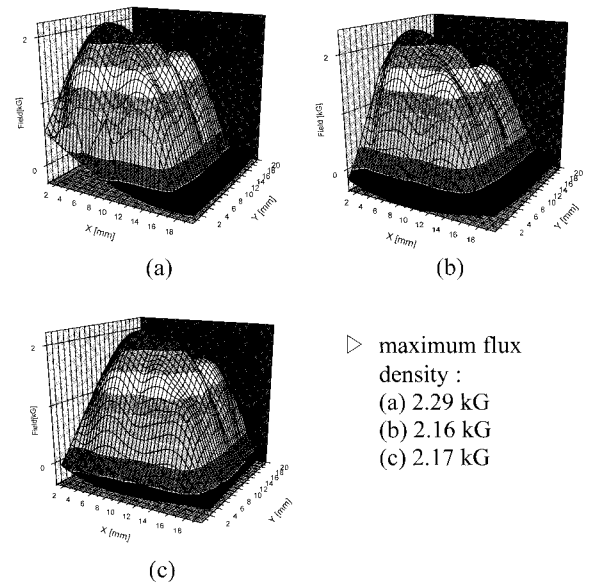


Fig. 4. Magnetic field distributions measured at 77 K on the sample with different holes diameters ; (a) without hole, (b) with 0.5 mm and (c) with 0.7 mm.

Table 1. the result of three point bending test.

Hole size(mm)	Bending strength(MPa)				
	Before impregnation	Resin	Resin + CNT	Bi-In compound	Bi-In compound + CNT
Without hole	50.79	-	-	-	-
0.5	45.32	46.64	59.64	47.51	52.37
0.7	34.52	42.47	54.47	46.33	48.81
1.0	34.32	48.18	41.46	44.93	45.12

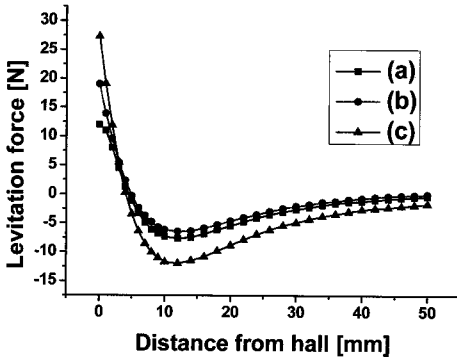


Fig. 5. The levitation force in terms of different diameters of hole in YBCO samples measured at 77 K ; (a) without hole, (b) 0.5 mm and (c) 0.7 mm.

YBCO 초전도체에 미치는 영향은 미약한 확인하였다. Fig. 5는 hole 가공 전, 후의 levitation force 측정 결과를 나타내었다. 인위적인 hole을 가공한 후의 levitation force가 직경 0.5 mm 가공 후 19 N, 0.7 mm 가공 후 27.3 N으로 가공 전 10.9 N보다 증가한 것을 확인하였다.

IV. Conclusions

YBCO 초전도체에 직경 0.5 mm, 0.7 mm, 1.0 mm의 인위적인 hole을 가공하였다. Resin, Bi-In compound, CNT를 인위적 hole에 함침한 결과 resin + CNT를 보강한 시편이 다른 보강재와 비교하여 높은 기계적 특성이 측정되었다. 직경

0.5 mm의 hole에 resin + CNT를 보강한 시편의 bending strength는 59.64 MPa로 가장 우수하였으며 hole 가공 전 50.79 MPa 보다 약 20 % 향상된 기계적 특성을 나타내었다.

다량의 보강재 함침을 위한 인위적인 hole 가공에 따른 YBCO 초전도체의 자기적 성질은 hole 가공 후 flux density는 미약하게 감소하였으나 levitation force는 가공 전 10.9 N에서 0.5 mm hole 가공 후 19 N, 0.7 mm hole 가공 후 27.3 N으로 증가였다.

*

Acknowledgments

본 연구는 산업자원부 전력산업 연구개발사업의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

References

- [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. Nicolisky, *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.