

YBCO 박막형 한류소자의 외부 자기장에 대한 켄치 의존성

박권배, 최호상, 김해림, 현옥배, 황시돌, *류경우
한전 전력연구원, 전남대학교*

Quench distributions in a YBCO film unit for current limiting under magnetic field.

K.B. Park, H.S. Choi, H.R. Kim, O.B. Hyun, S.D. Hwang, *K.W. Ryu
Kepri, Chonnam National University*

Abstract - We have studied quench characteristics for current limiting elements of YBCO films in applied fields of 0 - 130 mT. The films were deposited on sapphire substrates and covered by gold top layer. The current limiting element consists of 2 mm wide YBCO stripes connected in series. The electric field - current density (E-J) measurements showed that the presence of applied magnetic fields induces uniform quench distribution for the stripes, otherwise non-uniform quenches were observed. We suggest that suppressing the critical current by increased fields due to fault current effectively forced the stripes of higher $J_c(0)$ to quench, resulting in equalizing quench times.

1. 서 론

저항형 한류기의 가장 큰 문제점은 한류소자간에 발생하는 특성차이 및 소자 내에서 길이방향으로 재료의 불균일성에 따른 켄치분포의 불균일이다. 이를 해결하기 위해서 많은 연구가 진행중이며, 그 중에서 Bi-2223 링(ring) 및 봉(rod)형을 이용한 초전도 한류기에 자장 및 히터를 이용한 방법이 제안되고 있다[1]-[2]. 본 연구에서는 YBCO 박막형 한류소자의 켄치특성을 향상시킬 목적으로 자장 인가용 솔레노이드 코일을 제작하였으며, 자장이 인가된 경우와 없는 경우에 단일 한류소자 내에서 켄치특성을 각각 조사하였다.

2. 샘플 및 실험 방법

YBCO 박막형 한류소자에 자장이 인가된 경우에 켄치분포를 조사하기 위해서 준비한 샘플 및 측정회로도를 Fig. 1(a) 및 (b)에 각각 나타내었다. Fig. 1(a)와 같이 6 개의 strip 양단의 전압을 측정하기 위해서 7개의 전압 탭을 부착하였다. 한류소자에 자장을 인가하기 위해서 솔레노이드 코일을 이용하였으며, 한류소자는 코일의 중심부에 장착하였다. 코일의 중심에서 자석상수(magnet constant)는 3.48 mT/A이고 중심부의 자장은 거의 균일하였다. 또한 한류소자와는 직렬로 결선하여 한류소자에 통전되는 전류와 솔레노이드 코일에 인가되는 전류를 동기화 시켰다.

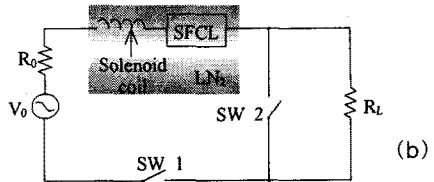
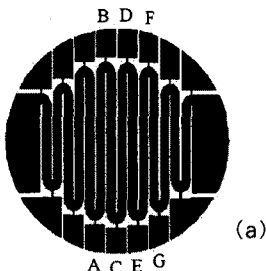


Fig. 1. Current limiting element and test circuit.

2. 실험 결과 및 검토

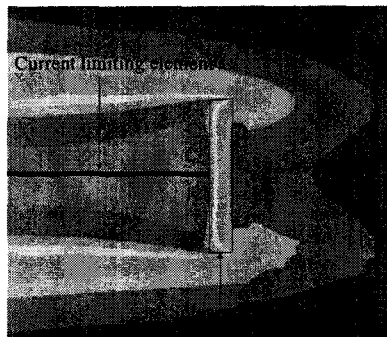


Fig. 2. The field distribution of the solenoid coil (at 20 A).

Fig. 2는 본 실험에서 솔레노이드 코일의 전류가 20 A인 경우에 자장분포를 해석한 결과이다. Fig. 2에서 나타난 것과 같이 한류소자가 위치하는 중심부의 자장은 대략 70 mT로 균일하게 분포함을 알 수가 있다. 이것은 측정된 값과도 잘 일치하였다.

Fig. 3은 본 실험에 사용된 YBCO 박막에 수직한 자장을 130 mT까지 가변하며 임계전류를 조사한 결과이다. Fig. 3의 결과에서 알 수 있듯이 본 실험에 사용된 YBCO 박막형 한류소자는 수직한 자장이 20 mT이상 인가되면서 임계전류의 감소를 보이며 130 mT에서는 $I_{c0}(B=0)$ 의 70 %정도의 대단히 큰 폭으로 감소하였다. 또한 n value값도 37에서 18로 감소하였다.

Fig. 4는 YBCO 박막형 한류소자에 자장이 인가되지 않는 경우로 Fig. 1(b)에서 솔레노이드 코일이 삽입되지 않은 경우에 해당되며, 6 개의 strip에서 켄치분포를 조사한 결과이다. Fig. 4에서 알 수 있듯이 C-D strip에서 가장 먼저 켄치가 발생을 시작으로 가장 인접한 strip 순서대로 켄치가 진행됨을 알 수가 있다. 이것은 한류소자의 길이방향으로 재료의 불균일성이 기인하는 것이다. 특성이 가장 나쁜 strip에서 먼저 켄치가 발생되어 hot spot을 형성하고 오직 열전달 특성에 의존하여 켄치가 전파됨을 알 수가 있다.

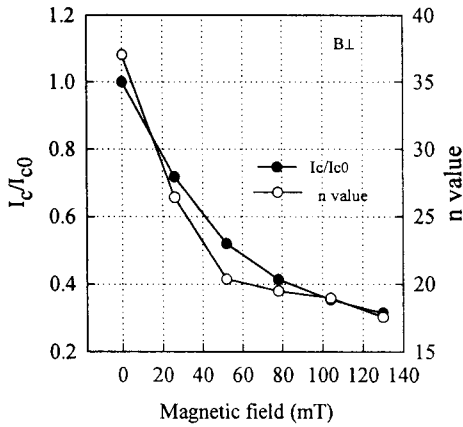


Fig. 3. Normalized critical current · n value vs. magnetic field.

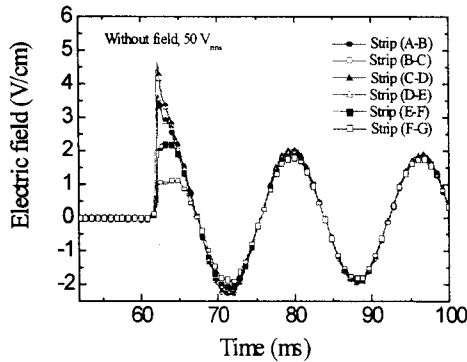


Fig. 4. Electric field in each strip vs. time (without the magnetic field).

Fig. 5.는 YBCO 박막형 한류소자에 자장이 인가된 경우로 Fig. 1(b)에서 솔레노이드 코일이 삽입된 경우에 6 개 strip에서의 퀀치분포를 조사한 결과이다. Fig. 5의 결과에서 알 수 있듯이 모든 strip에서 균일한 퀀치분포를 갖는다는 것을 알 수가 있다. 이것은 특성이 가장 나쁜 strip에서 퀀치가 가장 먼저 발생하지만 동시에 자장이 한류소자에 인가됨으로써 열에 의한 퀀치의 전달 속도를 급격하게 증가시킴으로서 strip간에 균일한 퀀치특성을 갖는 것으로 생각된다.

Fig. 6은 솔레노이드 코일을 삽입한 경우의 전압 ·

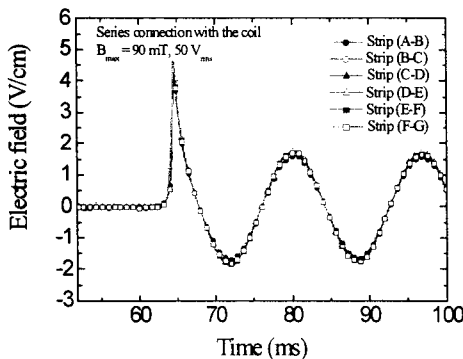


Fig. 5. Electric field in each strip vs. time (with the magnetic field).

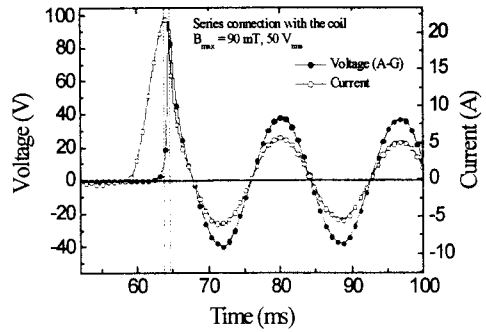


Fig. 6. Voltage · current vs. time (with field).

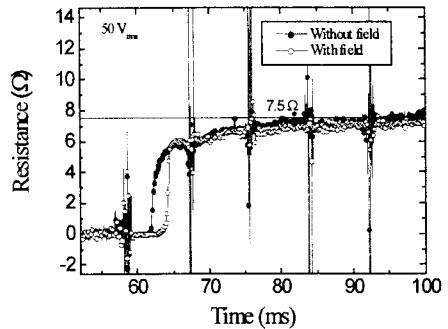


Fig. 7. Resistance vs. time.

전류관계를 나타낸 것이다. Fig. 6에서 알 수 있듯이 퀀치 초기에 위상이 차이를 보이지만 1 주기 이후에는 거의 동상에 가까워졌음을 알 수가 있다. 이것은 솔레노이드 코일의 인덕턴스가 한류소자의 저항과 비교하여 큰 값을 가지게 되지만, 퀀치가 진행되면서 저항이 우세하게 됨으로써 전류와 전압은 동상이 됨을 알 수 있다. 또한 퀀치가 되는 순간에 최대 25 A가 코일에 흘러서 대략 90 mT의 자장이 한류소자에 영향을 준다.

Fig. 7는 솔레노이드 코일을 삽입한 경우와 그렇지 않은 경우에 한류소자가 퀀치시에 발생하는 저항을 비교한 것이다. Fig. 7에서 알 수 있듯이 솔레노이드 코일을 삽입한 경우에 저항상승률이 더 향상되었음을 알 수가 있다. 즉 한류소자의 퀀치시에 자장이 인가되어 퀀치 속도를 향상시켰을 것으로 생각이 되며, 1 주기 이후에 저항은 7.5 Ω으로 동일하였다.

3. 결 론

YBCO 박막형 한류소자에 자장을 인가한 경우에 소자내의 전 영역에서 균일한 퀀치분포를 갖는다는 것을 알 수 있었다. 또한 자장이 인가된 경우에 저항상승률이 증가하였고 이것은 퀀치속도의 향상을 의미하게 된다.

[참 고 문 헌]

- [1] Onishi T, Sasaki K, Akimoto R "A proposal of fast self-acting and recovering magnetic shield type superconducting fault current limiter and the analyses of their characteristics", Presented at Korea-Japan Joint Workshop on Superconductivity and Cryogenics (in Korea), 2000.
- [2] K Tekletsdik, MP Saravolac, A Rowley "Development of a 7.5 MVA Superconducting Fault Current Limiter", IEEE Trans. On Applied Superconductivity, Vol. 9, No. 2, pp. 672-675, 1999.