

자기장이 인가된 YBCO 박막형 한류기의 켄치 특성

박권배, 이방욱, 강종성, 오일성, 최효상*, 현옥배*
LG산전 전력연구소, 한전 전력연구원

Quench Behaviors of Superconducting YBCO Films for Fault Current Limiter Using Magnetic Fields

K. B. Park, B. W. Lee, J. S. Kang, I. S. Oh, H. S. Choi, O. B. Hyun
R&D Research Center LG Industrial Systems, KEPRI

kbparkd@lgis.com

Abstract - A serious problem in using YBCO films for fault current limiter is inhomogeneities caused by imperfect manufacturing. So simultaneous quenches are a difficult problem which elements for current limiting are connected in series for increasing voltage ratings. We investigated extended electric field - current characteristics for current limiting element of YBCO film when 0-130mT magnetic field is applied. And quench characteristics were investigated in over all element and between elements of YBCO films. From the experiments, it was shown that applied magnetic fields using solenoid coil induced uniform quench distribution for over all stripes and simultaneous quench in all elements for current limiting of YBCO film was realized.

1. 서 론

초전도 한류기에는 한류방식에 따라 크게 저항형과 유도형으로 나뉜다. 이 중에서 저항형 한류기는 유도형 한류기에 비해서 갖는 장점으로 소형경량화가 가능한 반면에 켄치발생시에 한류소자에 과도한 열발생에 따른 열분산을 해줘야한다는 문제점을 가진다. 또한 전압등급 향상을 위해 반드시 직렬 연결하여 제작해야 되므로 한류소자간 동시 켄치문제는 대단히 중요한 문제로 대두된다. 이와 같이 전압등급 향상을 위하여 병렬저항을 삽입하는 방법, 적절한 직·병렬조합에 의한 동시켄치 등의 연구를 통하여 이를 극복하고자 많은 연구가 진행되고 있다[1]. 또한 Bi-2223 링(ring) 및 봉(rod)형을 이용한 초전도 한류기에 자기장 및 히터를 이용한 방법을 통하여 소자내에서 균일한 켄치를 유도하는 방안도 제안되고 있다[2,3].

본 연구에서 YBCO 박막형 한류기의 전압등급 향상을 위해 직렬연결하는 경우에 발생하는 문제인, 특정 한류소자에 열이 집중으로 인한 소

손되는 것을 해결하기 위한 연구이다. 이와 같이 전압등급 향상을 위한, 동시켄치 방안으로 박막에 수직방향의 솔레노이드 자기장을 이용하여 한류소자의 켄치특성을 실험적으로 조사하였다.

2. 샘플 및 실험방법

본 연구에 사용된 한류소자 및 시험회로는 문헌 [4]의 Fig.1 (a) 및 (b)에 각각 나타내었다. 실험에 사용된 YBCO 박막형 한류소자는 직경은 2 인치인 사파이어 기판위에 300 nm 두께의 YBCO가 성장되어있고, 폭은 2 mm이고 길이는 420 mm이며, 금 박막의 두께는 200 nm인 meander 패턴의 한류소자를 사용하였다. 문헌 [4]의 Fig.1 (b)에서 알 수 있듯이 한류소자에 인가되는 자기장과 한류소자에 흐르 전류를 동기화 시키기 위해 솔레노이드 코일과 직렬 접속하였다. 이는 한류소자가 갖는 재료적 불균일이 기인하는 켄치의 불일치를 극복하기 위한 방안이다. 여기서, 자기장 인가용 솔레노이드 코일의 자속밀도는 20 A에서 대략 80 mT의 값을 갖는다.

본 연구에서 수행된 시험은 한류소자에 수직인 자기장이 인가된 경우 전계-전류 특성을 조사하였고, 단위 한류소자 내에서의 켄치분포[4] 및 한류소자간 켄치특성을 조사하였다. 여기서, 한류소자 2개 직렬연결 및 3개 직렬연결시의 소자간 켄치특성을 조사하였다.

3. 실험결과 및 검토

그림 1은 본 실험에 사용된 YBCO 박막에 수직인 자기장을 130 mT까지 가변하며 임계전류를 조사한 결과이다. 그림 1의 결과에서 알 수 있듯이 본 실험에 사용된 YBCO 박막형 한류소자는 수직인 자기장이 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. 이는 한류소자에 직렬로 삽입된 코일에 의해 인

가되는 80 mT의 자기장의 크기는 상당한 효과를 보일 수 있음을 알 수 있다.

단위 한류소자내에서 자기장이 인가되지 않은 경우와 자기장이 인가된 경우에 퀸치분포는 문헌 [4]에 상세하게 나타내었으며, 그의 결과로 알 수 있듯이 자기장이 인가된 경우에 대해서 한류소자내 전영역에서 균일한 퀸치분포를 갖게 됨을 알 수 있었다.

그림 2는 두 개의 한류소자를 직렬연결한 경우, 자기장이 인가되지 않았을 때 한류소자간 퀸치특성을 조사한 결과이다. 그림 2의 결과에서 알 수 있듯이 150 V_{rms}를 인가된 경우에 직렬연결된 한류소자의 퀸치는 소자 1에서만 퀸치가 되었을 뿐, 소자 2는 전혀 퀸치가 되지 않았다. 이와같이 한류기의 전압등급을 증대시키기 위해서 직렬연결이 불가피하지만, 미세한 소자간 개별적인 특성의 차에 의해서 동시에 퀸치되지 않는 결과를 보인다. 본 실험에 사용된 2인치 박막의 단위소자당 정격전압은 대략 220 V_{rms}이다.

그림 3은 두 개의 한류소자를 직렬연결한 경우, 자기장이 인가된 경우의 결과를 나타낸 것이다. 그림 3의 결과에서 알 수 있듯이 그림 2의 결과와는 달리 150 V_{rms}가 인가되었을 때 2개의 한류소자 모두 퀸치가 됨을 알 수 있다.

그림 4 및 그림 5는 세 개의 한류소자를 직렬연결한 경우, 자기장이 인가되지 않은 경우와 자기장이 인가된 경우에 소자간 퀸치특성을 조사한 결과이다. 여기서, 인가전압은 250 V_{rms}이다. 이는 그림 2 및 3의 결과와 마찬가지로, 자기장이 인가되지 않은 경우 즉, 코일이 직렬로 삽입되지 않은 경우로 한류소자 3만이 퀸치가 되었을 뿐 나머지 소자들은 전혀 반응하지 않았다. 반면에 자기장이 인가된 경우, 즉 코일이 직렬로 삽입된 경우는 3개의 한류소자 모두가 퀸치가 됨을 알 수 있었으며, 인가 전압이 보다 증가함에 따라서 퀸치 정도도 보다 균일함을 보인다.

그림 6은 그림 5의 결과에서 저항 성장을 나타낸 것으로 3개의 한류소자는 거의 동일한 저항성장 특성을 보이며, 5주기 후에 대략 17 Ω의 저항값을 갖는다. 이 저항값에 상응하는 온도는 대략 142 K 정도이므로, 한류소자의 한계 온도로 판단되는 200 K에 비해서 훨씬 낮은 값을 갖는 것을 알 수 있다.

그림 7은 자기장이 인가된 경우와 그렇지 않은 경우에 대해서 퀸치이후에 저항성장을 비교한 결과이다. 그림 7의 결과에서 알 수 있듯이 한류소자에 자기장이 인가된 경우가 그렇지 않은 경우에 비해서 저항 성장속도가 크게 증가하였으며, 빠른 시간 내에 포화됨을 알 수 있다. 이와같이 임계전류 특성이 나쁜 한류소자에서 먼저 퀸치가 진행됨과 동시에 자기장의 인가는 재빨리 다른 한류소자 마저도 퀸치되게 하므로써 더욱 향상된 저항상승을 가져오고, 이는 동시퀸치에 기인하는 것으로 판단된다.

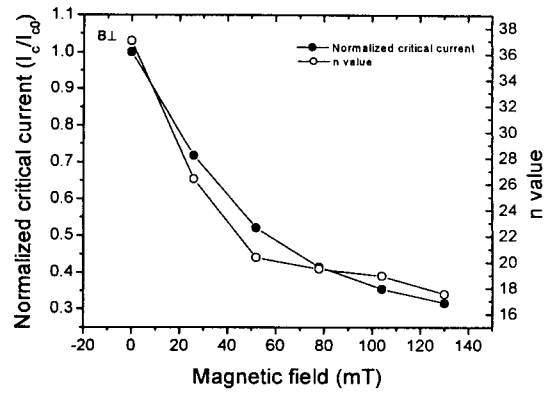


Fig.1. Normalized critical current · n value vs. Magnetic field

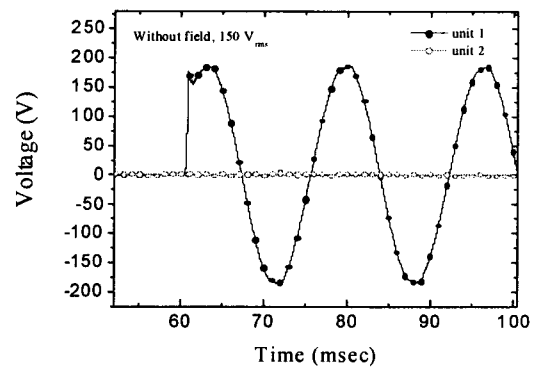


Fig.2. Voltage of each unit vs. time

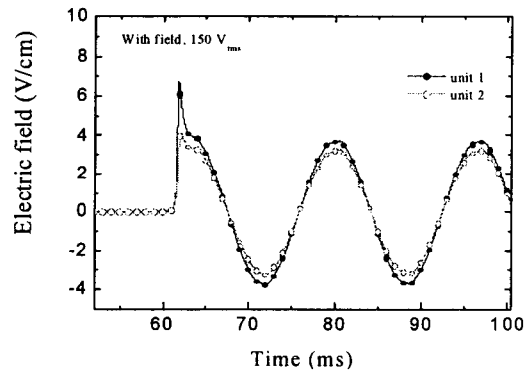


Fig. 3. Electric field of each unit vs. time

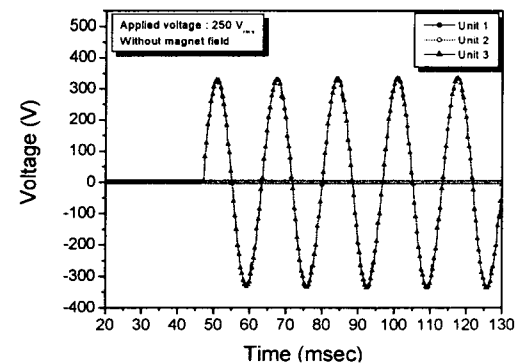


Fig. 4. Voltage of each unit vs. time

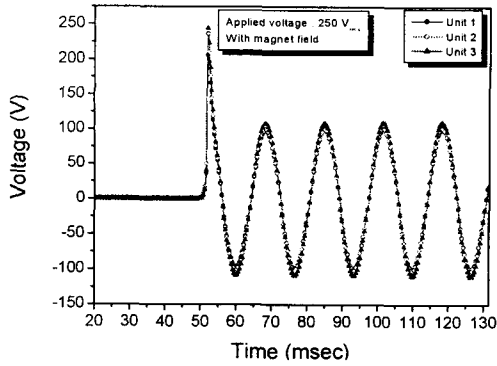


Fig. 5. Voltage of each unit vs. time

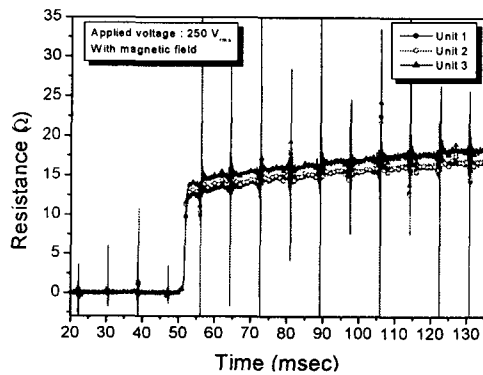


Fig. 6. Resistance of each unit vs. time

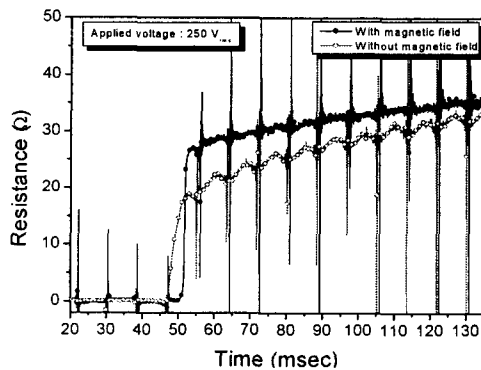


Fig. 7. Resistance of each unit vs. time (at 250 V_{rms})

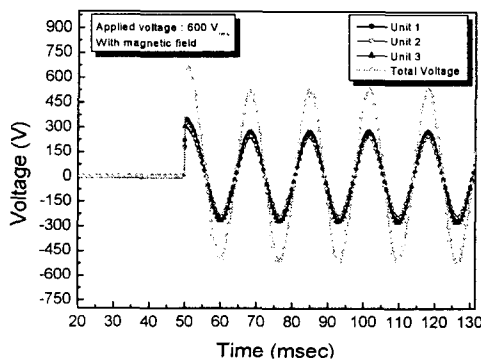


Fig. 8. Voltage vs. time (with magnetic field, at 600 V_{rms})

그림 8은 자기장이 인가된 경우, 3장의 한류 소자가 감당할 수 있는 최대 전압인 600 V_{rms}를 인가했을 때 켈치특성을 나타낸 것이다. 이와 같이 소자를 직렬접속하고 사고를 동시에 감지하여 YBCO 박막에 수직한 자기장이 인가할 수 있다면, YBCO 박막형 초전도 한류기의 전압용량 증대 문제가 해결될 수 있는 한가지의 방안이 될 것으로 사료된다.

3. 결 론

YBCO 박막형 한류소자에 솔레노이드 코일을 직렬삽입되어 자기장의 인가가 한류소자의 켈치 특성에 미치는 영향을 요약하면 다음과 같다.

1. YBCO 박막형 단일 한류소자 내에서 자기장이 인가된 경우, 전 영역에서 균일한 켈치특성을 보였다[4].
2. YBCO 박막형 한류소자를 2개 직렬연결 및 3장을 직렬연결시 자기장이 인가된 경우, 모든 한류소자에서 켈치되는 결과를 보였다.
3. YBCO 박막형 한류소자에 자기장이 인가된 경우, 켈치이후 저항상승 속도가 급격히 증가하였다.
4. YBCO 박막형 한류소자 3개 직렬연결시, 자기장 인가방식에 의해서 최대전압인 600 V_{rms}까지 잘 감당함을 알 수 있었다.

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 차세대초전도응용기술개발 사업단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

[참 고 문 헌]

- [1] 최효상, 김혜림 외 “선트저항을 통한 박막형 초전도 한류기의 전압등급 증대”, 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 2001.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 박권배, 최효상 외 “YBCO 박막형 한류소자의 외부자기장에 대한 켈치 의존성”, 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 2001.