Progress in Superconductivity Vol.3 No.2 pp252-256 30 April 2002

Quench Characteristics of YBCO Film for Current Limiting Using Magnetic Field

K.B. Park*, [a], H.S. Choi [b], H.R. Kim [b],O.B. Hyun [b], S.D. Hwang [b], K.W. Ryu[c]
[a] *LG Industrial Systems, Cheong-Ju, Korea*
[b] *Korea Electric Power Research Institute, Dae-Jeon, Korea*
[c] *Chonnam National University, Kwang-Ju, Korea*
Received 20 August 2001

자기장을 이용한 YBCO 박막형 한류기의 퀜치특성

박권배*,a, 최효상b ,김혜림b, 현옥배b, 황시돌b, 류경우c

Abstract

We studied YBCO films for current limiting of the resistive type which utilizes a transition from superconducting to normal state caused by exceeding critical current. 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. A serious problem in using YBCO films for current limiting is inhomogeneities caused by imperfect manufacturing. Therefore simultaneous quench is a difficult problem when elements for current limiting are connected in series. So some researchers have recently proposed using magnetic field and heating for simultaneous quench. We have measured extended electric field-current density(E-J) characteristics for current limiting elements of YBCO films in applied magnetic field of 0 - 130 mT. And we have investigated quench characteristics in current limiting elements and between elements of YBCO films in applied magnetic field. The result of the experiments show that the presence of applied magnetic fields induces uniform quench distribution for the stripes in element at 50 V_{rms}, otherwise non-uniform quenches were observed. And simultaneous quenches between elements were investigated at 150 V_{rms}. We suggest that suppressing the critical current by increased fields due to fault current effectively forced the stripes of higher Jc(0) to quench, resulting in equalizing quench times.

Keywords : Fault current limiter, quench characteristic, magnetic field, YBCO film

I. 서 론

오늘날 전력계통에서 사고전류가 급증하고 있는 실정이며, 그의 대안으로 초전도 전력기기 중 초전도 한류기의 개발을 통하여 사고전류를 일정수준으로 제한함으로써 기존 차단기의 용량 증대에 따른 비용절감에 큰 도움이 된다. 본 연구에서는 저항형 한류기중 배전급에 실용화 될 것으로 고려되는 YBCO 박막형 초전도 한류기의 퀜치특성에 관하여 연구하였다. 실계통에서 저항형 초전도 한류기를 적용하기 위해서는 무엇보다도 단위소자를 직렬 또는 병렬 연결하여 그의 용량을 증대시켜야만이 된다.

*Corresponding author. Fax : +82 43 261 6629
e-mail : kbparkd@lgis.com

그러나, 한류소자의 제조공정상 길이방향으로 재료의 불균일로 인하여 퀜치특성도 불균일 하다. 이러한 문제로 인하여 한류소자를 직렬연결시에 특정소자에 모든 열이 집중되는 문제가 발생된다. 이처럼 저항형 한류기의 동시퀜치문제를 해결하기 위해서 많은 연구가 진행중이며, 그 중에서 Bi-2223 링(ring) 및 봉형(rod)을 이용한 초전도 한류기에 자기장 및 히터를 이용하는 방안이 제안되고 있다[1]-[2].

본 연구에서는 YBCO 박막형 한류소자에 자기장을 인가하여 단일 한류소자내에서의 퀜치 분포와 소자간에 퀜치특성을 조사하였다.

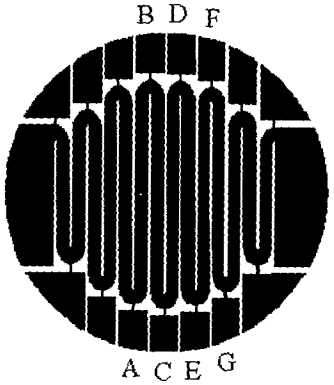
II. 실험샘플 및 실험방법

본 연구에 사용된 한류소자 및 실험회로는 Fig. 1(a) 및 (b)에 각각 나타내었다. Fig. 1(a)와 같이 6개의 stripe 양단전압을 측정하기 위해서 A에서 G까지 7개 전압탭을 부착하였다. YBCO 박막형 한류소자에 자기장인가용으로 높이 104 mm, 내경 70 mm이고 외경이 78 mm인 솔레노이드 코일을 제작하였다. 이 코일의 중심에서의 자석상수(magnetic constant)는 3.6 mT/A로 25 A인 경우는 90 mT정도의 크기를 갖는다.

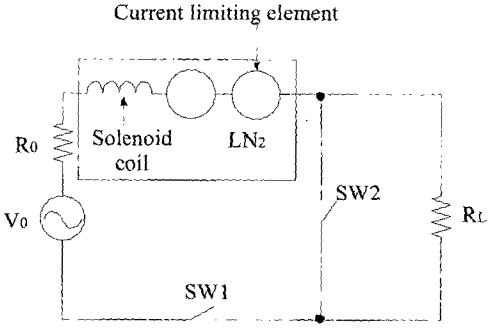
단일 한류소자의 퀜치분포 특성을 조사하기 위하여 솔레노이드 코일의 중심부에 배치하였으며, 두 개의 한류소자가 직렬로 연결된 경우에 퀜치특성을 조사하기 위하여 마찬가지로 중심부에 나란하게 배치하여 동일한 자기장하에 놓이도록 하였다. 또한 한류소자에 통전되는 전류와 코일에 인가되는 전류를 동기화시키기 위하여 Fig. 1(b)와 같이 한류소자와 코일은 회로상 직렬접속하였다.

Fig. 2는 코일에 20 A의 전류가 통전되는 경우 중심부에서 자기장 분포를 해석한 결과로 중심에서 R방향으로 20 mm 영역까지 거의 균일한 자기장이 분포함을 알 수 있다. 그러므로 한류소자에 인가되는 자기장은 전영역에 균일한 영향을 주는 것을 알 수가 있다.

본 연구에서는 YBCO 박막형 단일 한류소자에서 퀜치특성과 두 한류소자가 직렬연결했을 때 자기장을 인가한 경우에 특성과 그렇지 않은 경우의 특성을 비교 조사하였다.



(a)



(b)

Fig. 1. Current limiting element and test circuit.

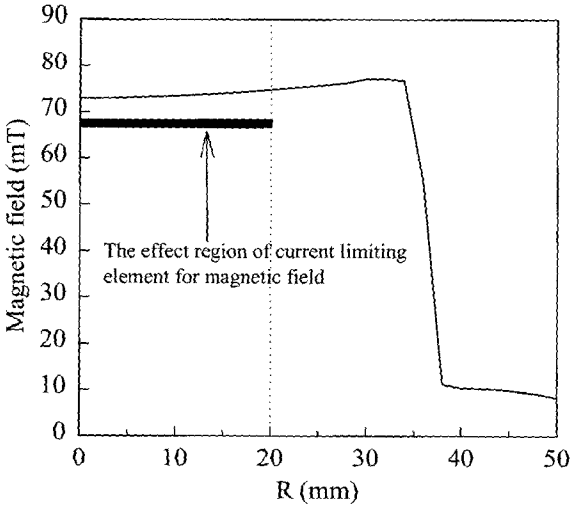


Fig. 2. The field distribution of the solenoid coil at center region (20 A).

III. 실험결과 및 검토

Fig. 3 은 본 연구에 사용된 YBCO 박막형 한류소자에 130 mT 까지의 수직자장을 인가한 경우 임계전류와 n value 를 조사한 결과이다. Fig. 3 의 결과에서 알 수 있듯이 20 mT 이상의 수직한 자기장이 인가될 때 임계전류가 급격하게 감소되어 130 mT 에서는 I_{c0}(B=0)가 70 %정도로 감소한 결과를 보였으며, n value 또한 37 에서 18 로 대단히 큰 감소를 보이고 있다.

Fig. 4는 YBCO 박막형 한류소자에 자기장이 인가되지 않는 경우로, 50 V_{rms}를 인가했을 때 Fig. 1(a)의 6개 stripe에서 퀜치분포를 조사한

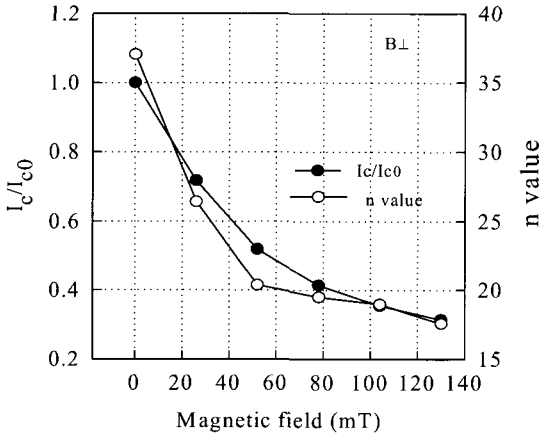


Fig. 3. Normalized critical current and n value vs. magnetic field.

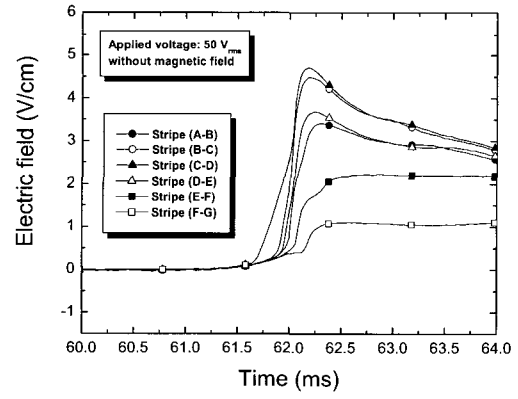


Fig. 4. Electric field in each stripe vs. time.(without magnetic field, at 50 V_{rms})

결과이다. Fig. 4의 결과에서 알 수 있듯이 C-D stripe에서 가장 먼저 퀜치가 일어났으며, 그 다음으로 가장 인접한 stripe순으로 퀜치가 진행됨을 알 수가 있다.

이는 한류소자의 길이방향으로 재료의 불균일함이 기인한 것으로, 가장 열악한 stripe 에서 먼저 퀜치가 되면서 hot spot 을 형성하였으며, 오직 열전달에 의존하여 인접 stripe 으로 퀜치가 전파됨을 알 수 있다.

Fig. 5 는 YBCO 박막에 자기장이 인가되는 경우로, 동일한 조건에서 6 개 stripe 에서의 퀜치분포를 조사한 결과이다. 이때 한류소자에 인가된 최대 자기장은 90 mT 정도이다. Fig. 5 의 결과에서 알 수 있듯이 자기장이 인가되지 않은 경우와는 달리 모든 stripe 에서 균일한 퀜치분포를 갖는 것을 알 수 있었다. 이것은 특성이 가장 나쁜 stripe 에서 퀜치가 먼저 발생되더라도 동시에 자기장이 인가되어 열전달에 의한 퀜치속도를 급격하게 증가시킴으로써 한류소자의 길이 방향으로 퀜치 시간차를 급격히 줄이므로서 균일한 분포를 갖는 것으로 사료된다.

Fig. 6 은 자기장이 인가된 경우와 그렇지 않는 경우에 대해서 퀜치이후의 저항성장을 비교한 결과이다. Fig. 6 의 결과에서 알 수 있듯이 한류소자에 자장이 인가된 경우는 저항상승률(dR/dt)이 12.2 로 자장이 인가되지 않은 경우의 최대 8.7 에 비해 보다 빠른 저항성장을 보인다. 이 결과로부터 한류소자의 퀜치시에 자기장이 인가되어 길이방향으로 퀜치속도를 향상시킨 결과로 생각되다. 여기서, 자장이 인가된 경우 quench 시점이 늦어진 것은 코일의 인덕턴스에 의해 전류의 상승이 약간 지연되기 때문에 약 0.5ms 후에 quench 가 되었다.

Fig. 7 은 두 개의 한류소자를 직렬연결한 경우, 자기장이 인가되지 않았을 때 퀜치특성을 나타내었다. Fig. 7 의 결과로부터 150 V_{rms} 를 인가한 경우에 직렬연결된 한류소자의 퀜치는 소자 1 에서만이 퀜치가 될 뿐 소자 2 는 전혀 퀜치가 되지 않는 결과를 보인다. 이와 같이 전압 등급을 올리기 위해서 한류소자 직렬연결은 불가피하지만 특성이 나쁜 소자에서 먼저 퀜치가 되는 현상은 소자내의 퀜치분포 불균일보다 더 큰 문제로 여겨진다.

Fig. 8은 두 개의 한류소자를 직렬연결한 경

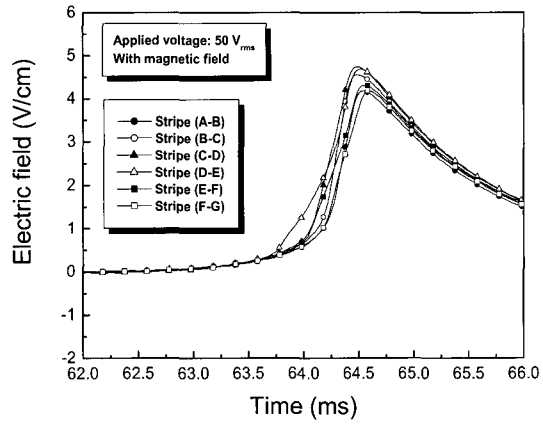


Fig. 5. Electric field in each stripe vs. time. (with magnetic field, at 50 V_{rms})

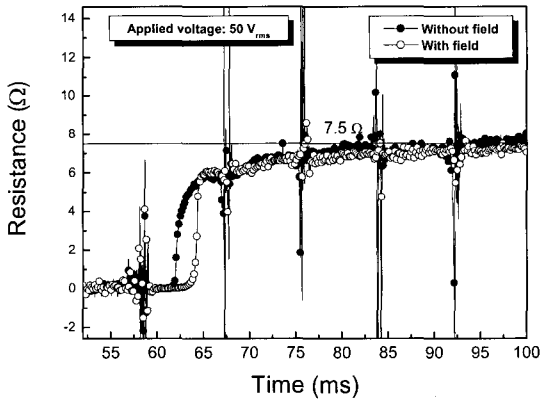


Fig. 6. Resistance vs. time.(at 50 V_{rms})

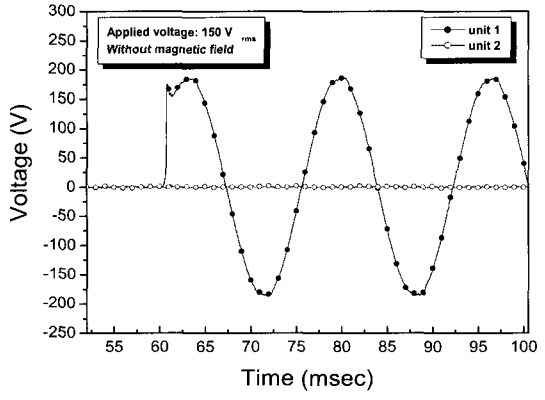


Fig. 7. Voltage of each unit vs. time. (without magnetic field, at 150V_{rms})

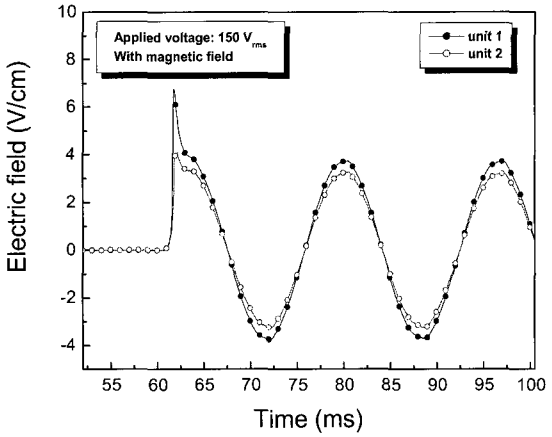


Fig. 8. Electric field of each unit vs. time. (with magnetic field, at 150 V_{rms})

우, 자기장을 인가한 경우의 결과를 나타내었다. Fig. 8의 결과에서 알 수 있듯이 Fig. 7의 경우와는 달리 150 V_{rms}를 인가했을 때 두 한류소자 모두 퀜치가 됨을 알 수가 있다. 그리고 150 V_{rms} 보다 더 높은 전압이 인가된 경우라면 두 한류소자의 퀜치특성은 더욱더 일치된 결과를 보일것이며, 이보다 낮은 전압이 인가된 경우라면 좀더 퀜치특성이 다소간 차이를 보였다.

IV. 결 론

YBCO 박막형 한류소자에 솔레노이드 코일을 직렬삽입하여 자기장이 인가된 경우에 퀜치 특성을 요약하면 다음과 같다.

1. YBCO 박막형 단일 한류소자에 자기장이 인가된 경우(50 V_{rms}) 전 영역에서 균일한 퀜치분포를 갖는다는 것을 알 수 있었다.
2. YBCO 박막형 단일 한류소자에 자기장이 인가된 경우(50 V_{rms}) 퀜치이후 저항상승률이 증가하였다.
3. YBCO 박막형 한류소자 두 개를 직렬연결한 경우, 자기장이 인가되는 경우(150 V_{rms})에 두 소자가 동일하게 퀜치가 됨을 알 수 있었다.

References

[1] Onishi T, Sasaki K and Akimoto R, "A proposal of fast self-acting and recovering magnetic shield type analyses of their characteristics," Presented at Korea-Japan Joint Workshop on Superconductivity and Cryogenics(in Korea), 2000.

[2] K Tekletsdik, MP Saravolac and A Rowley, " Development of a 7.5 MVA Superconducting Fault Current Limiter," IEEE Trans. On Applied Superconductivity, Vol. 9, No. 2, 672-675(1999).