

직렬연결된 저항형 한류기의 동시퀀치 현상

최효상^{*}, 김혜림^{*}, 임해용^{**}, 김인선^{**}, 현옥배^{*}

^{*} 한전 전력연구원 전력계통연구실, ^{**} 한국표준과학연구원

Simultaneous quenching phenomena of resistive superconducting fault current limiter connected in series

Hyo-Sang Choi^{*}, Hye-Rim Kim^{*}, Hae-Ryong Lim^{**}, In-Seon Kim^{**} and Ok-Bae Hyun^{*}

^{*} Power System Laboratory, Korea Electric Power Research Institute

^{**} Korea Research Institute of Standards and Science

hschoi@kepri.re.kr

Abstract - We fabricated resistive super-conducting fault current limiters (SFCL) based on YBCO thin films grown on 2" diameter Al₂O₃ substrates. Two SFCLs with nearly identical properties were connected in series to investigate simultaneous quenching. There was a difference of several half cycles in their quench starting time, although the difference was not more than 0.1 msec when they were operated separately. This imbalance was removed by connecting a shunt resistor to an SFCL in parallel. Increased power input at high voltages also reduced the initial imbalance in power dissipation. Further efforts on the simultaneous quench in SFCLs connected in series are on the way through methods such as the artificial control of quench speed.

1. 서 론

전력계통의 고장전류는 점점 증대하고 있으며 이를 해결하기 위한 다양한 방법이 모색되고 있다. 초전도 한류기는 사고전류를 효과적으로 억제하는 장치중의 하나이며 평상시 저항이 영이고 구조가 간단한 잇점을 지니는 등 장점 때문에 연구가 활발히 진행되고 있다.⁽¹⁻⁴⁾ 고온 초전도 한류기에 대한 연구는 크게 저항형과 유도형으로 나눌 수 있는데, 박막형으로 대표되는 저항형은 배전급의 응용에 쓰여질 전망이고 자기차폐형등의 유도형은 송전급의 실계통에 적용될 것으로 예상되고 있다. 초전도 한류기를 실계통에 응용하기 위해서는 초전도 한류소자의 quench 시작시점은 일정하게 유지하면서 전압계급을 높일 수 있는 기술이 개발되어야 한다. 한류소자를 직렬로 연결함으로써 적용전압을 높일 수 있으나 동시 quench가 어려운 점등의 문제를 내포하고 있다.

본 논문에서는 초전도 한류소자 2개를 직렬로 연결하였을 때 발생하는 전류 및 전압특성을 살펴본 다음, 한류소자간에 약간의 특성차이 때문에 발생하는 동시 quench의 문제를 제기하고 어려움을 극복하는 방법에 대한 실험 data를 제시하였다.

2. 실험 구성

사고전류를 제한하기 위하여 사용된 한류소자는 독일의 THEVA사에서 제공한 직경 2 inch의 박막을 이용하였다. YBCO film은 Al₂O₃ 기판위에 증착되었으며 두께는 300 nm이다. Quench 시 발생하는 hot spot에 대처하기 위하여 200 nm의 금을 in situ로 입혔다. 시편은 직렬연결을 통한 용량증대 및 quench특성을 조사하기 위하여 그림 1과 같이 정확히 두 부분으로 나누어 제작하였으며 각각 독립된 한류소자로 구성하였다. 이때 각 한류소자의 길이는 26 cm, 폭 1 mm이고 그림처럼 meander 형태로 이루어져 있으며 상온에서 저항값은 43 Ω이었다.

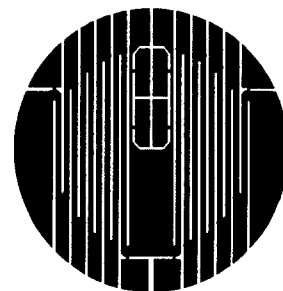


그림 1. 한류소자의 패턴 모양

그림 2는 실험에 사용한 측정회로도를 보여주고 있으며 여기서 V_0 는 전원전압, R_0 는 전체전류 측정을 위한 표준저항, R_F 는 사고전류를 제어하기 위한 조정저항, 그리고 R_L 은 부하저항을 각

각 나타낸다. SFCL1과 SFCL2는 초전도 한류기를 나타내며 상시 액체질소 용기에 담겨진 채로 실험하였다. 회로소자값 산정을 위한 방정식은 아래와 같다.

$$V_0 = (R_0 + R_L) i \quad (1)$$

$$V_0 = (R_0 + R_F + R_{SFCL1} + R_{SFCL2}) i \quad (2)$$

$$V_0 = V_m \sin \omega t \quad (3)$$

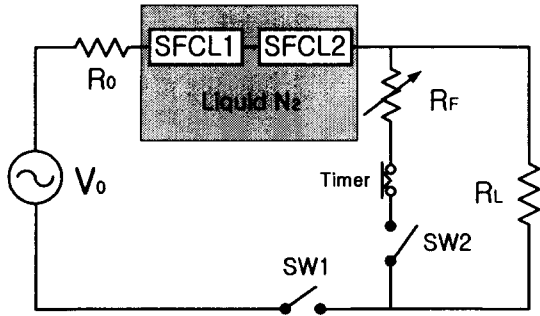


그림 2. 실험을 위한 회로도

3. 결과 및 고찰

용량증대를 위해 초전도 한류소자를 연결하는 방법은 병렬연결과 직렬연결이 있다. 이 중에서 병렬연결은 회로 특성상 전류의 상호 분류가 잘 일어나기 때문에 별 어려움이 없다. 그러나 앞서도 언급한 바와 같이 직렬연결은 한류소자간의 특성이 약간의 차이만 있더라도 quench 시작시 점이 현저하게 차이가 나게된다. 초전도 한류소자의 특성이 정확히 같도록 제작하면 문제는 해결되겠으나 이는 제작공정상 현실적인 어려움이 많으며 대안을 찾아야 한다.

우선 사고가 발생한 경우 인가전압 100 V_{rms} , 부하저항 $R_L=27 \Omega$, 조정저항 $R_F=0 \Omega$ 일 때 한류소자 각각에 대한 개별 전압발생 파형을 그림 3에 보여준다. 그림에서 확인할 수 있는 바와 같이 거의 동일한 특성을 보여주며 그 그래프내의 확대한 그림을 보면 SFCL2가 약 0.1 msec 정도의 시차를 두고 SFCL1을 따라가고 있음을 알 수 있다.

이번에는 한류소자 2개를 직렬연결한 시편에 대하여 사고가 발생한 후 각각의 전압발생 파형을 살펴보았다. 그림 4에서 두 시편간에 존재한 0.1 msec의 시차가 직렬연결의 경우 초기 quench를 주도하고 있음을 확인할 수 있다. 이처럼 직렬연결의 경우 한쪽 한류소자에서 quench가 먼저 발생하면 그 시간동안 인가되는 모든 전력을 한 한류소자가 감당해야 하기 때문에 적용전압을 올릴 수가 없게 된다. 즉 직렬연결에서는 사고직후 한류소자간 동시 quench가 대단히 중요함을 알 수 있다.

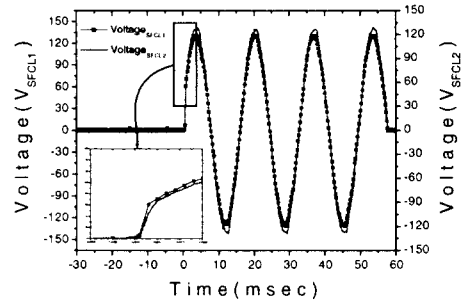


그림 3. 한류소자의 개별 전압특성

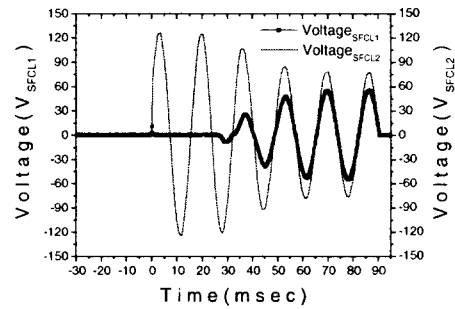


그림 4. 직렬연결시 한류소자의 전압특성

전체적인 전류 및 한류기 양단의 전압발생 파형을 그림 5에 보여준다. 전체전류는 한류소자의 온도상승에 의한 저항발생으로 사고 초기에 14.2 A_{peak} 까지 상승하였으나 점차 감소하는 모습을 볼 수 있다. 즉 발생저항이 완만하게 증가하고 있는데 인가전압을 120 V_{rms} 로 높인 그림 6을 보면 전체적인 추세는 동일하나 SFCL2의 전압이 발생한 후 약 1주기만에 SFCL1의 전압이 발생하여 한류소자간 편차가 상대적으로 줄어들었음을 알 수 있다. 다시 말해 전압계급이 상승할수록 편차는 줄어들고 있으나, 사고발생 초기에 한류소자가 받는 충격이 가장 큰 것을 감안하면 사고발생 초기의 동시 quench 방안을 강구하여야 한다.

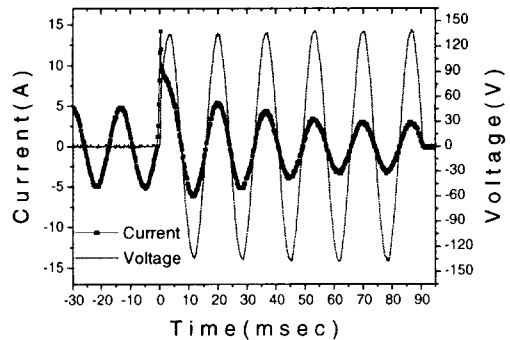


그림 5. 전체적인 전류 및 전압 특성

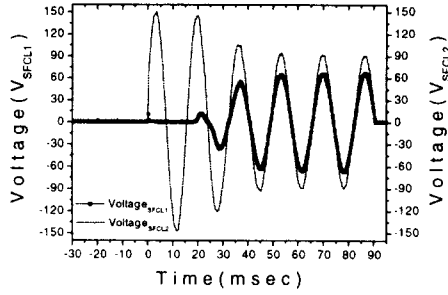


그림 6. 120 V_{rms}의 한류소자의 전압특성

그림 7에서 보는바와 같이 한류소자간의 초기 소비에너지의 불평형을 해소하기 위하여 SFCL2와 병렬로 shunt 저항 Rc를 연결하여 SFCL1과의 소비에너지 균등화를 꾀하였다. shunt 저항을 $R_c = 100 - 40 \Omega$ 까지 단계적으로 감소해 가면서 실험해 본 결과를 그림 7 ~ 11에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 $R_c = 100 - 60 \Omega$ 으로 줄어감에 따라 퀘칭 초기에 발생하는 한류소자의 전압차이는 점차 줄어들었다.

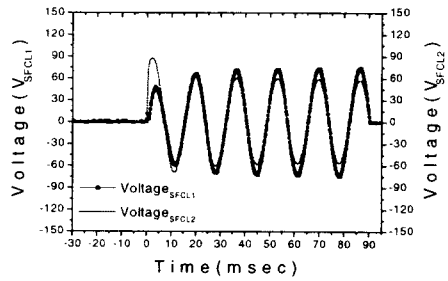


그림 7. 각 한류소자의 전압발생 특성($R_c=100$)

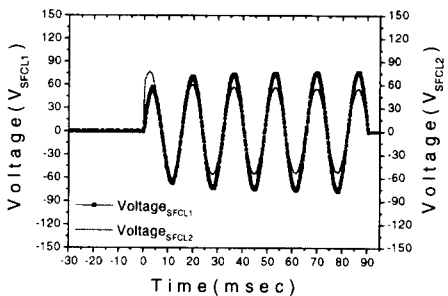


그림 8. 각 한류소자의 전압발생 특성($R_c=80$)

$R=50 \Omega$ 에서 사고 발생 초기에 동시 quench가 발생하였다. 그러나 shunt 저항이 회로에 미치는 영향만큼 1/2 주기 이후의 발생 전압값의 차이가 발생하였다. 목적에 따라 전체적인 소비에너지의 균등화가 더 중요할 수 있기 때문에 초기 동시 quench조건과 상호조화가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

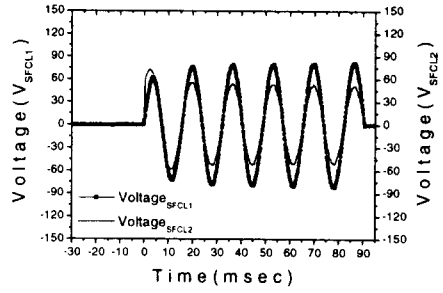


그림 9. 각 한류소자의 전압발생 특성($R_c=60$)

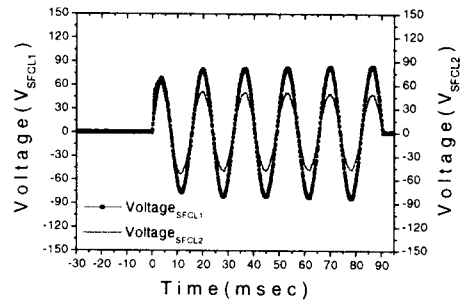


그림 10. 각 한류소자의 전압발생 특성($R_c=50$)

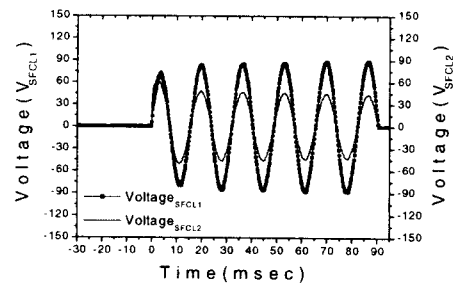


그림 11. 각 한류소자의 전압발생 특성($R_c=40$)

한류소자의 직렬연결에서 심각한 문제로 대두되는 동시 quench의 어려움을 shunt 저항을 삽입함으로써 어느 정도는 해결할 수 있으나, 전체적인 소비에너지의 균등화를 고려한 보다 근본적인 해결책이 있어야 한다. 현재 한류소자 각각에 대한 quench 속도 조절과 같은 방법을 강구 중이다.

3. 결 론

YBCO film을 이용한 초전도 한류소자 2개를 제작하고 용량증대를 위하여 직렬연결한 시편에 대한 전류제한 특성 및 동시 quench 여부를 고찰하였다.

인가전압 100 V_{rms}, 부하저항 $R_L=27 \Omega$,

조정저항 $R_F = 0 \Omega$ 일 때 한류소자 각각에 대한 개별 전압발생 파형은 약 0.1 msec 정도의 시차를 보였을 뿐 거의 동일한 특성을 보여주었다. 그러나 소자간 직렬연결의 경우 이러한 시차가 먼저 quench된 시편의 열발생을 촉진함으로써 power가 모두 걸리는 문제를 야기하였다. 한류소자간의 초기 소비에너지의 불평형을 해소하기 위하여 SFCL2와 병렬로 shunt 저항 R_c 를 연결한 결과 $R_c = 50 \Omega$ 에서 초기 quench 시점의 균등화가 이루어졌다.

shunt저항의 삽입으로 초기 quench 시간의 균등화는 어느정도 해결하였으나 전체적인 소비에너지의 균일화가 이루어져야 할 것으로 보인다. 현재 한류소자에 대한 인위적인 quench 속도 조절과 같은 방법을 강구중에 있다.

본 연구의 일부는 과학기술부 중점연구 개발사업의 지원으로 수행되었음.

[참 고 문 헌]

[1] B. Gromoll, *et al.*, "Resistive Fault Current Limiters with YBCO Films - 100 kVA Functional Model", IEEE Trans. on Appl. Supercon., Vol. 9, No. 2, pp. 656-659, June, 1999.

[2] B. Gromoll, *et al.*, "Resistive current limiters with YBCO films", IEEE Trans. on Appl. Supercon., Vol. 7, No. 2, pp. 828-831, 1997.

[3] 최효상 외, "분로저항이 초전도 한류기의 전류제한 효과에 미치는 영향", 한국초전도·저공학회논문지, 1권, 2호, pp. 49-53, 1999.

[4] 최효상 외, "YBCO 박막의 저항형 초전도한류기에 대한 동작 특성", 전기학회논문지, 48권, 10호, pp. 537-543, 1999.