

## 저항형 초전도 한류기의 개발

### Development of a resistive superconducting fault current limiter

최효상\*, 김혜림\*, 현옥배\*, 황중선\*\*, 정동철\*\*\*  
(Hyo-Sang Choi\*, Hye-Rim Kim\*, Ok-Bae Hyun\*, Jong -Sun Hwang\*\*)

#### Abstract

We present current limiting properties of 1.2kV/70A superconducting fault current limiter based on YBCO thin films. This is consisted of 6 wafers (3 parallel × 2 serial connection) with 4 inch-diameter YBCO thin film. The quench current  $I_q$  of the switching elements vary between 33.9 and 35.6 A. Within the difference of 0.5 A in the sum of quench current  $I_q$  in two stacks, the serial connection of the stacks showed the simultaneous quench behavior in applied power of 1.2 kV/70 A.

**Key Words** : superconducting fault current limiter, YBCO film, simultaneous quench, switching element

#### 1. 서 론<sup>1)</sup>

전력계통에서 초전도 한류기의 임무는 계통 고장 동안에 선로에 연결되어 있는 각종 기기 및 busbar 그리고 그러한 기기의 절연능력에 대하여 기계적, 열적 부담을 경감하고 고장전류를 신속하게 줄여 주는데 그 목적이 있다. 현재 고장전류를 저감하기 위하여 현실적으로 고려되고 있는 방법은 모선분리 및 한류 리액터의 채용 등이 있으나 계통의 안정도 저하 및 상시 손실의 발생과 같은 문제점을 안고 있는 실정이다. 초전도 한류기는 이러한 문제점을 대부분 해결할 뿐만 아니라 구조가 간단하고 환경 친화적이며 수명이 반영구적인 장점을 갖고 있어 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 논문에서는 YBCO 박막을 이용한 저항형 초전도 한류기를 제작하고 실계통 적용을 위해 필수적으로 요구되는 용량증대를 위하여 한류소자간 직·병렬 조합을 통한 1.2kV /70A급 초전도 한류기에 대한 전류제한 특성을 살펴보고자 한다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 시편제작 및 시험회로 구성

실험에 사용된 한류소자의 패턴모양은 그림 1과 같이 4 inch YBCO 박막을 meander 형태로 식각하여 직·병렬로 조합하였다. 측정회로도도 그림 2와 같이 구성하였으며 측정방법은 참고문헌에 나타내었다.[1]

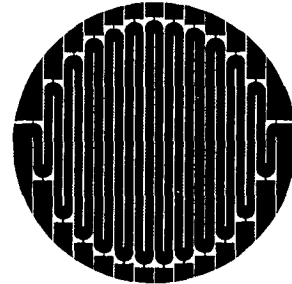


그림 1. 한류소자의 패턴 모양도

Fig. 1. A current limiting element patterned in the meander line

##### 2.2 실험 결과

기 발표한 논문의 결과에서처럼 통전전류를 높이기 위한 한류소자간 병렬연결은 전류재분배 현상에 의하여 큰 문제가 없으나 운전전압을 높이기 위한 직렬연결은  $I_q$ 의 작은 차이에도 불구하고 심한 파워

\* : 한국전력공사 전력연구원  
(대전시 유성구 문지동 103-16,  
Fax: 042-865-5804  
E-mail : hschoi@kepri.re.kr)  
\*\* : 전남도립담양대학  
\*\*\* : 우석대학교

불균형에 의한 켄치시점의 상이를 가져온다.[2] 따라서 6개의 한류소자를 그림 2와 같이 직·병렬로 연결하기 이전에 개별소자의 Iq값을 그림 3과 같이 측정하였다. 그림에서 보는 바와 같이 각 한류소자의 Iq값은 표 1과 같이 분포하였다.

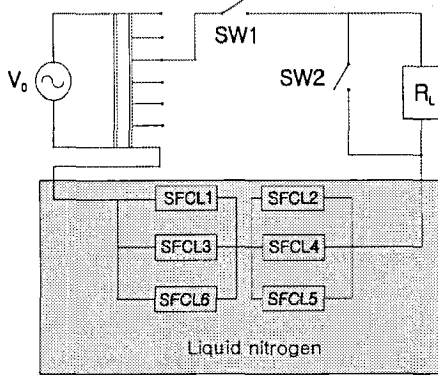


그림 2. 시험회로의 개략도  
Fig. 2. Schematic setup of the test circuit

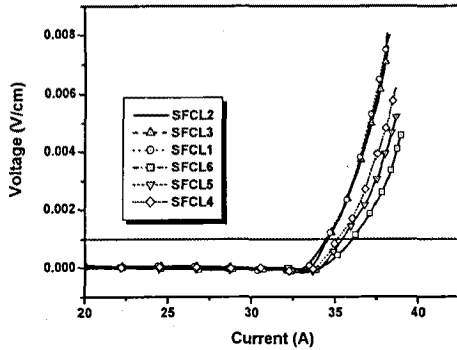


그림 3. 초전도 한류소자의 I-V 곡선  
Fig. 3. I-V Curves of each SFCL elements

표 1. 초전도 한류소자의 Iq값  
Table 1. Iq values of each SFCL elements

순번	Iq값(A)
SFCL1	33.9
SFCL2	34
SFCL3	34.2
SFCL4	34.8
SFCL5	35
SFCL6	35.6

Iq값의 차이에 따른 과워불균형을 최소화 하고자 그림 4와 같은 조합을 구성하였다. 이때 전압 V1을 형성하는 stack1과 V2를 형성하는 stack2 사이의  $\sum i_q$ 의 편차는 0.1 A이었다.

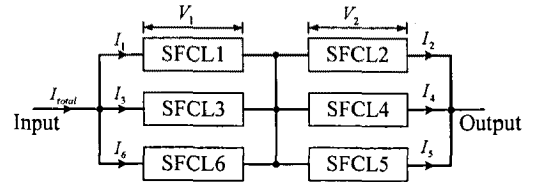


그림 4. 전력등급을 높이기 위한 회로도  
Fig. 4. Circuit diagram for increase of power ratings

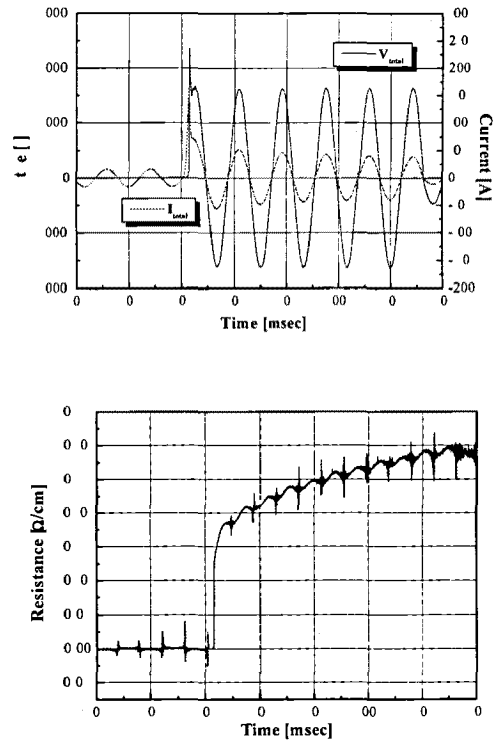


그림 5. 전체적인 초전도 한류기의 전기적특성  
Fig. 5. Electrical properties of overall SFCL units

그림 5는 그림 4의 조합으로 실험한 1.2kV /70A 급 초전도 한류기의 전체적인 전기적 특성을 보여 준다. 사고직후 초전도 한류소자의 사고전류가 약 180 A<sub>peak</sub>까지 상승하였다가 0.2 msec 이내에 70 A<sub>peak</sub> 이하로 급격히 제한되어, 이후 안정한 특성을 보여주었다. 켄치이후 한류소자에 대한 dV/dt의 급

격한 상승에 의하여 수직상승한 저항값도 그 이후에 한류소자에서 발생하는 열에 의하여 완만한 상승을 보여주었다. 사고직후 4주기후의 단위길이당 저항값은 약  $0.3 \Omega/cm$ 를 나타내었으며, 온도로 환산하면 200 K에 해당되어 안전함을 알 수 있다. 한류소자에 발생하는 열은 일반적으로 250 K이하에서 안전한 것으로 알려져 있다.

그림 6은 그림 4의 조합에서 직렬연결된 한류소자들의 켄치후의 전압인  $V_1$ 과  $V_2$ 의 동시켄치여부를 보여주는 파형이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 사고직후 약간의 편차가 있을 뿐 전체적으로 동시 켄치가 발생되었음을 확인할 수 있다. 이는  $\sum i_0$ 의 편차가 0.1 A 로써 매우 적었기 때문이며 실험에 의하면 이 편차가 0.5 A까지는 동일한 특성을 보여주었다. 한편, 동시켄치는 인가전압이 높을수록 더욱 양호한 특성을 보여주었는데  $di/dt$ 가 점점 상승하기 때문으로 해석된다.

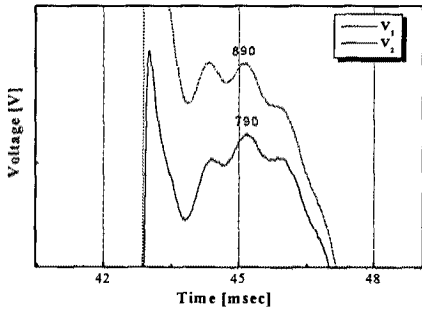


그림 6. 직렬연결된 초전도 한류기의 동시켄치특성  
Fig. 6. Simultaneous quench properties of serially connected SFCL units

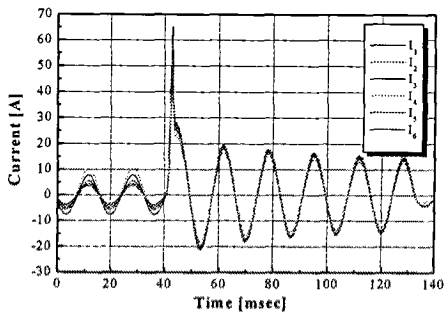


그림 7. 각 한류소자의 전류재분배 거동  
Fig. 7. Current distribution of each SFCL units

다음으로, 그림 4의 각 한류소자에 흐르는 전류를 그림 7에 보여준다. 사고직후 한류소자간에 흐르는 전류가 약간의 편차를 보였으나 그림 6의 결과와 같이 충분히 동시켄치가 구현됨으로써 균일한 전류 분포를 보여주었다.

이번에는 지금까지 사용한 한류소자 6개를 그림 8과 같이 병렬연결하여 600V/140A급 통전특성을 실험하였다.

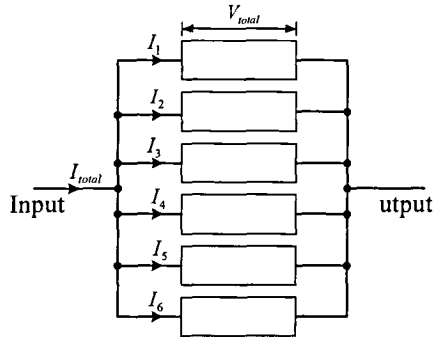
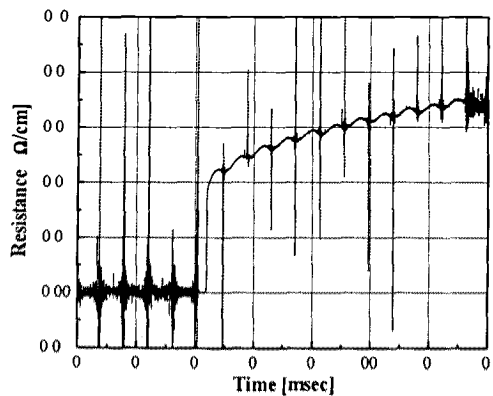
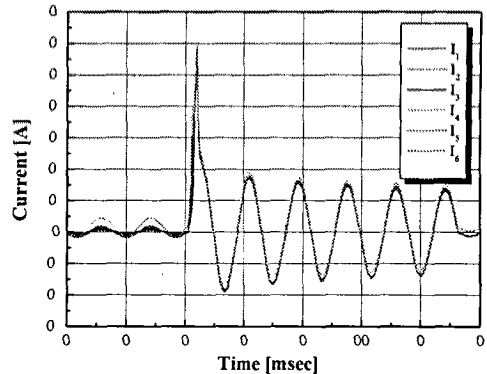


그림 8. 전류등급을 높이기 위한 회로도  
Fig. 8. Circuit diagram for increase of current ratings



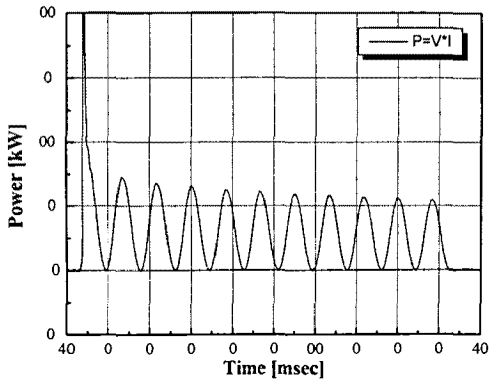


Fig. 9. Electrical properties in the parallel connection of SFCL units

그림 9의 전류곡선에서 알 수 있는 바와 같이, 병렬연결의 특성상 사고직후 한류소자간 전류재분배가 신속하게 발생하기 때문에 균일한 전류분포를 이루고 있으며 저항발생 추이 및 소비전력의 패턴도 안정적인 모습을 보여주고 있음을 확인할 수 있다.

### 3. 결 론

4 inch YBCO 박막 6장을 사용하여 1.2kV/70A 급 초전도 한류기를 설계한 후 직·병렬 실험을

수행하였다. 6개의 한류소자 모두를 병렬연결한 통전실험은 예상한대로 전류재분배에 의한 균일한 전류의 흐름으로 인해 600V/140A급 한류기로써 양호한 전류제한특성을 보여주었다. 한편, 각 한류소자의  $I_q$ 의 차이때문에 파워불균형이 종종 발생하는 직렬연결에 의한 과전실험에서는  $\sum i_q$ 의 편차를 0.5A 이내로 줄임으로써 1.2kV/70A에서 동시퀀치를 구현하였다. 앞으로 전체적인 power ratings를 더욱 높이기 위해서는 퀀치이후 발생하는 저항상승속도를 둔화시킬 필요가 있는데 이를 위하여 외부에서 선타저항을 삽입하는 방법을 고려중에 있다.

본 연구는 21세기프론티어 연구개발사업인 차세대초전도 응용기술개발 사업단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 최효상의, "YBCO 박막을 이용한 초전도 한류기의 안정적인 동작조건", 전기학회논문지, 49B권 9호, pp.584-590, 2000.
- [2] 현옥배외, "직렬연결된 초전도 한류기의 분로저항에 의한 동작특성", 전기학회논문지, 49B권 11호, pp.737-742, 2000.