

## 단순화된 자기차폐형 고온초전도한류기 단락 특성 해석

이찬주, 이승제, 장미혜, 현옥배\*, 최효상\*, 고태국  
 연세대학교 전기공학과, \*한국전력연구원

### The Short Circuit Analysis of a Simplified Magnetic Shielding Type High-Tc Superconducting Fault Current Limiter

Lee Chan Joo, Lee Seung Je, Jang Me Hae, Hyun Ok Bae\*, Choi Hyo Sang\*, Tae Kuk Ko  
 Dept of Electrical Engineering, Yonsei University, \*KEPRI

superlab@bubble.yonsei.ac.kr

**Abstract** - Nowadays the High-Tc Superconducting Fault Current Limiter (SFCL) is one of the superconducting devices which are very closed to commercialization. The most popular model of High-Tc SFCL is a magnetic shielding type. A superconductor of magnetic shielding type SFCL can be stable in the superconducting state, because there is no contact between the superconductor and the normal conductor. But this model needs large place to set up and in a fault condition, mechanical vibrations may happen to damage the superconductor or total device. In this paper, to solve these problems, the simplified model of magnetic shielding type SFCL was introduced.

#### 1. 서론

스위스에서 이미 약 10.5kV급의 자기차폐형 고온초전도한류기를 제작하여 실제 계통에 투입하여 실험하고 있는 중이다. 자기차폐형 고온초전도한류기는 초전도체의 자기 차폐 효과를 이용하여 정상상태에서는 철심에 자장 발생을 억제하다가 사고가 발생하면 초전도체가 상전도로 상전이 하면서 철심에 자장이 나타나게 되어 임피던스가 발생하는 동작원리를 갖는다. 현재까지 국내에서 연구되어온 자기차폐형 고온초전도한류기는 일반적인 변압기 형태인 네모난 철심을 이용한 구조 또는, 자기차폐형의 가장 큰 단점인 철심의 포화를 막기 위해 변압기 형태의 철심을 개조한 공극이 도입된 구조[1]를 갖는다. 하지만, 이러한 모델들은 철심의 구조상 큰 공간을 차지할 수 밖에 없고, 폐회로 구조를 갖는 특성상 사고시 발생하는 자장에 의해 상당한 진동이 예상된

다. 이러한 문제점을 해결하고자 폐회로 구조를 갖는 철심이 아닌 봉 형태의 철심을 이용하여 고온초전도한류기를 제작하여 실험하였다.

#### 2. 동작원리 및 구조

동작원리는 일반적인 자기차폐형 고온초전도한류기와 거의 같다. 즉, 정상상태일 때 고온초전도한류기에서는 고온초전도체의 자장차폐효과로 인해 철심 부분에서의 자속이 발생되지 않아 일차측 권선에서의 임피던스는 거의 0에 가깝게 되어 고온초전도한류기가 없는 일반 회로와 거의 같은 동작을 하게 된다. 사고가 발생하면 급격한 증가율로 사고전류가 발생하게 되는데 이 사고전류에 의해 초전도체에 유기되는 전류가 임계전류를 넘어서게 되면 고온초전도체가 켄치되면서 철심에서의 자장을 더 이상 상쇄시키지 못하게 된다. 이 순간부터 고온초전도한류기에서 임피던스가 발생하면서 이 임피던스에 의해 사고전류는 크게 제한된다.

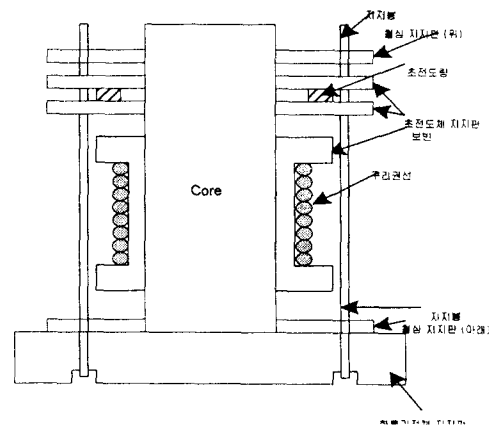


Fig 1. Simplified Superconducting Fault Current Limiter

일반적인 자장 차폐형 고온초전도한류기는 변압기 구조의 철심을 이용한다. 이는 사고가 발생하면 진동이 크고 구조상 크기가 커진다는 단점이 있다. 이를 보완하기 위해 그림 1에서처럼 단순한 봉 형태의 철심을 사용하였다. 철심의 결합부분이 없으므로 진동이 상당히 줄어들며, 부피도 일반적인 변압기용 철심에 비해 매우 작게 된다.

### 3. 고온초전도한류기 동작 특성 실험

Table 1 Basic parameter of iron core and superconducting ring

구분	parameter	값
철심	지름	40 mm
	높이	45 cm, 1 m
	재질	s45c
고온초전도체	재질	YBCO
	내경	50 mm
	외경	65 mm
	높이	5 mm
	임계전류밀도	1700 cm/A <sup>2</sup>
	임계전류	600 A

표 1은 고온초전도한류기 동작특성 실험에 쓰인 각 부분에 관한 재원이다. 고온초전도체는 MPMG 기법으로 제작되었다.[2]

그림 2는 고온초전도한류기 동작특성 실험의 개념도이다. 공급전원에 부하와 고온초전도한류기를 직렬로 연결하고, 공급전원을 동작시킨다. switch를 작동시키면 정상상태에서 사고가 발생하게 되며, 정상상태에서부터 회로 전체에 흐르는 전류, 고온초전도체의 전류, 고온초전도한류기의 일차측 권선에서 나타나는 양단전압을 측정한다.

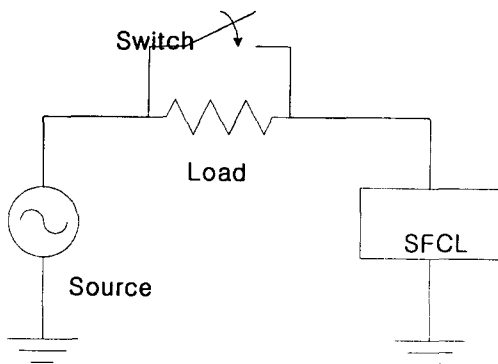
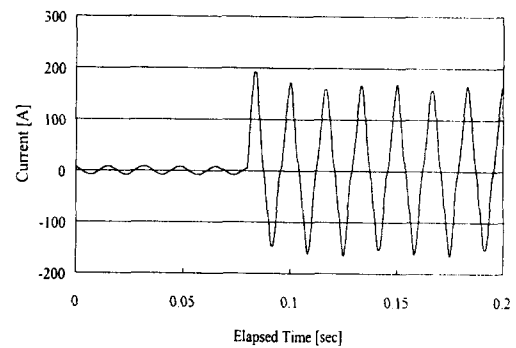


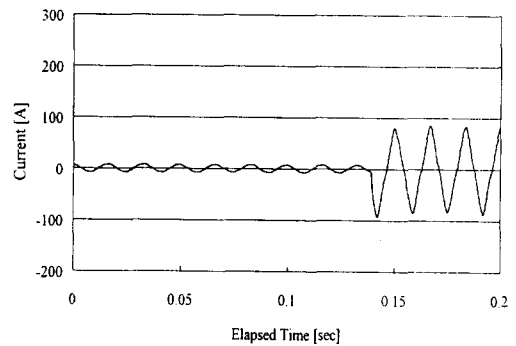
Fig 2. Experimental circuit of an SFCL

### 4. 실험 결과

그림 3과 그림 4는 고온초전도한류기의 사고전류 제한에 관한 실험 결과이다. 각 그림에서 (a)는 45cm의 철심을 사용한 고온초전도한류기 실험 결과이며, (b)는 1m 철심을 사용한 결과이다. (b)의 철심 길이가 약 2배이므로 사고전류도 (a)에 비해 약 1/2배로 줄어드는 것을 알 수 있다. 공급전원이 60V일 때 고온초전도한류기가 없을 경우 약 300A로 예상되는 사고전류는 45cm 철심을 사용한 고온초전도한류기에 의해 사고순간 최대 200A로 제한되며 1m 철심을 사용한 경우 사고순간 95A로 제한되는 것을 알 수 있다.



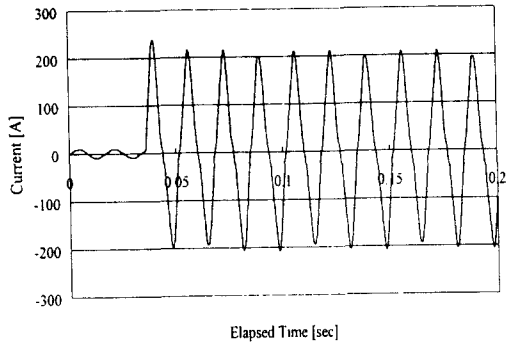
(a)



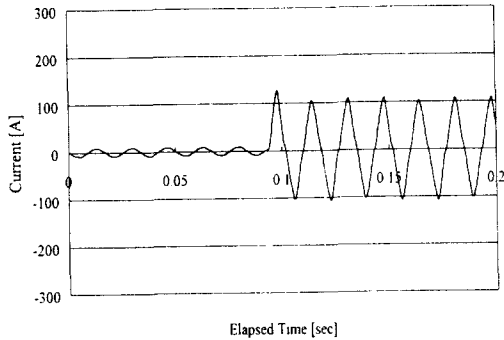
(b)

Fig 3. System current with 60V source (a) SFCL of 45cm long core (b) SFCL of 1m long core

그림 6과 7은 공급전원이 50V이며 부하저항이 10Ω일 경우 각각 고온초전도한류기의 사고 전류제한과 한류기의 양단에 걸쳐 나타나는 전압을 측정한 실험 결과이다. 또한, 각 그림에서 (a)는 1m의 봉 형태의 철심을 사용한 고온초전도한류기 실험 결과이며, (b)는 폐회로의 자속 경로를 갖는 철심의 고온초전도한류기의 실험 결과[3]이다. (b)의 경우 철심의 구조는 전체 높이가 30cm, 전체 너비가 22cm이며, 철심의 단면에서 보면 가로가 3.5cm, 세로가 3.5cm인 정사각형의 단면을 갖는다. 각 실



(a)



(b)

Fig 4. System current with 70V source  
(a) SFCL of 45cm long core (b) SFCL of 1m long core

험에 사용된 고온초전도체는 링의 형태로 거의 같은 임계전류값을 갖는 YBCO 링이다. 그림 5는 폐회로의 자속 경로를 갖는 초전도한류기의 개략적인 모습이다.

그림 6에서는 (a)의 경우 약 63A에서, (b)의 경우 약 60A에서 사고전류가 제한되는 것을 알 수 있다. 그리고, 그림 7에서는 (a)의 경우 정상상태에서는 공급전원의 약 15%가 고온초전도한류기 양단에 발생하며, (b)의 경우 약 11%정도가 발생하는 것을 볼 수 있다.

공급전원이 50V일 때를 기준으로 생각하면 사고 후의 전류와 양단전압으로 계산해 본 결과 1m의 철심을 사용한 고온초전도한류기의 실험 결과 사고 발생 후에는 약  $1.04 \Omega$ 가 발생하며 이것을 다시 인덕턴스로 환산하면 약 2.75mH가 된다. 또한 자속 경로가 폐회로인 고온초전도한류기의 경우 사고가 발생하면 약  $1.16 \Omega$ 가 발생하며 이것은 3.06mH에 해당하는 임피던스가 된다.

임피던스의 차이가 거의 없는 것은 구조가 큰 자속 경로가 폐회로를 갖는 철심의 고온초전도한류기를 봉 형태 철심을 갖는 고온초전도한류기로 대체할 수 있다는 결론을 얻게 한다. 즉, 좀더 큰 상대투자율을 갖는 철심을 이용하며, 단면이 큰 철심을 사용하

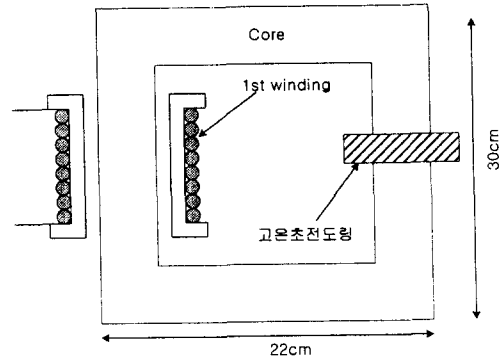
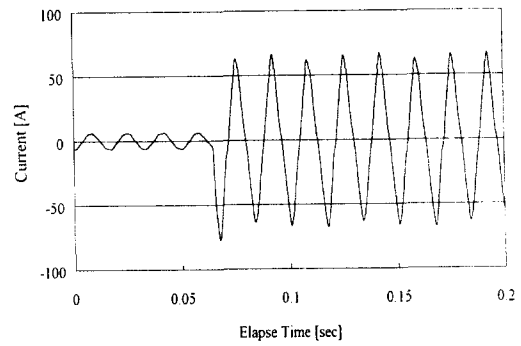
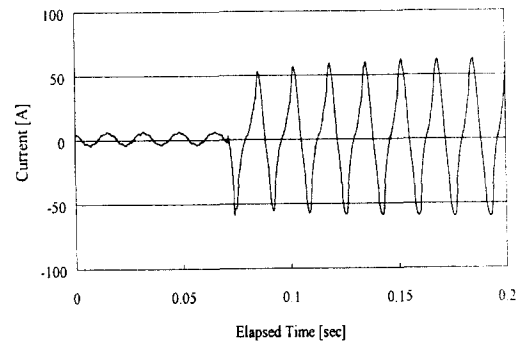


Fig 5. SFCL of Transformer type core

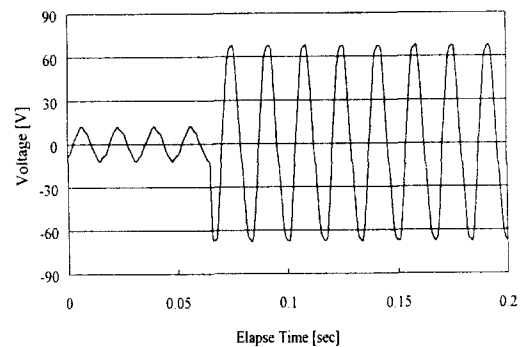


(a)

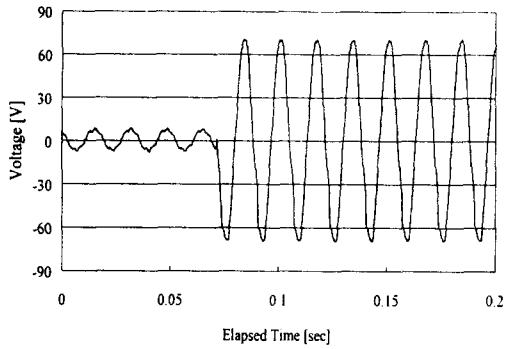


(b)

Fig 6. System current with 50V source  
(a) SFCL of 1m long core (b) SFCL of transformer type core



(a)



(b)

Fig 7. Terminal Voltage of SFCL  
(a) SFCL of 1m long core (b) SFCL of transformer type core

면 적은 공간을 차지하는 고온초전도한류기의 개발에 성공할 것이라는 것을 예측할 수 있다.

## 5. 결 론

고온초전도한류기의 목적 중 계통의 용량 증가시 기존의 차단기를 계속적으로 사용할 수 있도록 하는 것인데[4], 이를 위해서는 사고전류를 계통 용량 증가 전의 수준으로 낮추는 것이 중요하다. 따라서, 사고전류를 최대한으로 낮추는 것이 최적의 고온초전도한류기의 목적이라고 할 수 있다. 실험 결과로 얻은 약  $1\Omega$ 의 임피던스는 아직은 만족할 만한 것이 아니라고 판단되어지며, 임피던스를 증가시키는 연구가 필요할 것이다. 이를 위해서는 철심의 크기 즉, 철심의 단면적과 높이의 최적화를 이루는 것이 급선무이다.

본 연구는 과학기술부에서 시행한 고온초전도기술개발 사업에 의하여 지원되었으며, 이에 감사 드립니다.

## [참 고 문 헌]

- [1] Min Seok Joo, Tae Kuk Ko, "Novel Design and Operational Characteristics of an Inductive High-Tc Superconducting Fault Current Limiter with the Air-Gap Core", ASC, Pittsberg, 1996
- [2] M. Murakami, "Processing of bulk YBaCuO", Super-cond. Sci. Technol., pp.411~429, 1992
- [3] 주민석, 이찬주, 추 용, 고태국, "공극형 고온초전도한류기의 특성 실험", 대한전기학회 하계

학술대회 논문집, vol.A, pp. 181~183, 1996

- [4] 주민석, 이찬주, 추 용, 고태국, "공극형 고온초전도한류기의 특성 실험", 대한전기학회 하계 학술대회 논문집, vol.A, pp. 181~183, 1996