

시뮬레이션을 이용한 하이브리드 초전도 전류제한기의 반주기 후 한류 방식 분석

안재민\*, 김진석\*, 문종필\*, 임성훈\*, 김재철\*, 현옥배\*\*, 설규환\*\*\*  
 송실대학교\*, 전력연구원\*\*, 한국전력공사\*\*\*

Analysis on the Limiting Method after Half Cycle of Hybrid Superconducting Fault Current Limiter using Simulation

Jae-Min Ahn\*, Jin-Seok Kim\*, Jong-Fil Moon\*, Sung-Hun Lim\*, Jae-Chul Kim\*, Ok-Bae Hyun\*\*, Kyu-Hwan Seo\*\*\*  
 Soongsil University\*, KEPRI\*\*, KEPCO\*\*\*

Abstract - The increase of fault current due to large demand has caused the capacity of power machines in power grid to increase. To protect the power system effectively from the large fault current, several superconducting fault current limiters have been proposed. however, in order to apply superconducting fault current limiters into power system, there are many problems such as cost, recovery, AC loss, and cryogenic. In order to solve these problems, hybrid superconducting fault current limiter(HSFCL) was proposed. However, HSFCL also has a problem that is protective coordination in distribution system with HFSC. In this paper, HSFCL limiting after half cycle modeled and analyzed about protective coordination.

1. 서 론

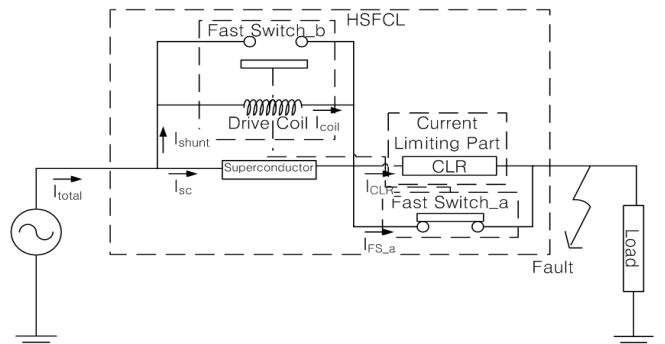
지속적인 전력수요의 증가와 대단위 발전설비가 증가됨에 따라 전력 전송 용량의 증가는 단락고장으로 인한 고장전류증가를 야기시켰다. 또한, 계통연계 및 변전소의 용량 증대는 고장전류 증가를 가속화하고 있다. 고장전류의 증가는 전력계통과 장비들의 안정도 문제에 심각한 영향을 주며 전력설비(차단기, 단로기, 변성기, 선로 등)의 단락용량 증대로 인한 교체를 불가피하게 하고 이는 많은 비용을 초래한다[1]. 이러한 이유로 고장전류를 제한하기 위해 많은 연구가 지속되고 있고 초전도 소자를 이용한 여러 종류의 초전도 전류제한기가 제안되고 있다 [2-4]. 하지만 초전도 전류제한기를 전력계통에 적용하기 위해서는 경제성, 회복 특성, 교류손실 및 냉각 등 많은 문제를 해결해야 한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 하이브리드 초전도 전류제한기가 제안되었다. 하이브리드 초전도 전류제한기는 초전도 소자가 고장전류를 감지하는 역할만 담당하여 초전도 소자의 사용량이 기존 초전도 전류제한기에 비해 상대적으로 적어 경제성, 회복특성, 교류손실 및 냉각 등에 대하여 많은 장점을 가지고 있고 실용화를 위해 실증시험 단계에 와있다. 그러나 이러한 장점을 가진 하이브리드 초전도 전류제한기도 전력기기의 하나로 전력계통 적용시 기존 보호기기의 보호협조 및 계통에 어떠한 영향을 미치는지 연구가 필요하다. 기존 연구를 통하여 초전도 전류제한기 적용시 나타나는 문제점을 제시하였고[5] 순시 사고에 대한 대책으로 반주기 한류방식이 제안되었다. 본 논문에서는 하이브리드 초전도 전류제한기의 반주기 후 한류방식에 대하여 모델링하고 순시고장에 대한 보호협조를 분석하였다.

2. 본 론

2.1 하이브리드 초전도 전류제한기의 반주기 후 한류방식 동작 특성

하이브리드 초전도 전류제한기는 기존 초전도 전류제한기와 다르게 초전도 소자가 고장전류를 감지하는 역할만 하고 전류제한저항(Current Limiter Resistor)이 고장전류를 제한한다. 하이브리드 초전도 전류제한기 구성은 그림 1과 같다. 동작원리는 평상시 초전도 소자를 통해 전류가 도통된다. 이때 초전도 소자에 도통되는 전류가 임계전류 이하이기 때문에 전력 손실없이 부하에 전력을 공급한다. 고장 발생시 초전도 소자에 임계전류 이상의 전류가 도통되면 초전도 소자는 켜치되어 저항이 발생하고 고장전류는 구동 코일(Drive Coil)에 흐르게 된다. 상대적으로 초전도 소자의 저항 보다 작은 임피던스를 가진 구동코일에 더 많은 전류가 흘러 반발력이 발생되고 이 반발력은 고속스위치를 동작시킨다. 고속스위치의 b접점은 a접

점으로 되고 고장전류는 고속스위치의 b접점을 통해 흐르게 된다. 또한 고속스위치의 a접점은 전류가 영이 되는 순간 개방되어 고장전류는 전류제한저항에 의해 제한된다. 이러한 동작을 통해 하이브리드 전류제한기는 반주기 후 한류방식으로 전류를 제한하게 된다.



<그림 1> 하이브리드 초전도 전류제한기의 반주기 후 한류방식의 회로

2.2.하이브리드 초전도 전류제한기의 반주기 후 한류방식 모델링

하이브리드 초전도 전류제한기는 크게 초전도 소자, 고속스위치 그리고 전류제한부분으로 나눌 수 있다. 초전도 소자는 수학적 분석을 통해 모델링 하였다[6]. <식 1>은 초전도 소자의 특성을 나타낸다.

$$R_{sc}(t, I_{fault}) = \begin{cases} 0 & (t_{fault} < t) \\ R_{sc}(I_{fault}) \left[ 1 - \exp\left(-\frac{t-t_{fault}}{T_F(I_{fault})}\right) \right]^{\frac{1}{2}} & (t_{fault} \leq t < t_{clear}) \\ a_1(t-t_{clear}) + b_1 & (t_{clear} \leq t \leq t_{2ndrecovery}) \\ a_2(t-t_{2ndrecovery}) + b_2 & (t_{2ndrecovery} \leq t) \end{cases}$$

(식 1)

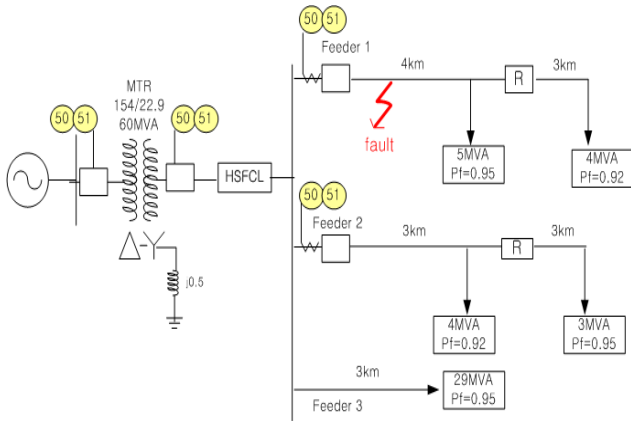
초전도 소자는 고장이 발생하여 고장전류가 임계전류를 초과하면 저항이 지수형태로 발생하고 고장이 제거되면 1차회복을  $a_1$ 의 기울기로 회복한다. 2차 회복은 2차 회복저항( $b_2$ ) 이하가 되면  $a_2$ 의 기울기로 회복한다. 하이브리드 초전도 전류제한기의 반주기 후 한류방식은 고속 스위치 b접점은 구동코일에 흐르는 전류가 기준치 이상 흐르면 반발력에 의해 동작하도록 모델링하였고 고속스위치의 a접점은 전류가 0이 되는 순간 개방되도록 모델링 하였다.

3. 사례연구

3.1 배전계통 모델링

그림 2는 초전도 전류제한기와 보호계전기 테스트를 위한 샘플 배전계통을 나타낸다. 초전도 전류 제한기는 변압기 2차측, 연계선로, 피더보호용 등에 적용할 수 있으며 적용되는 위치에 따라 효과가 다르게 된다

[7]. 본 논문에서는 초전도 전류 제한기를 변압기 2차측에 적용하였다. 전체 부하용량은 45 [MVA]로 설정하였고 피더 1에 9 [MVA], 피더 2에 7 [MVA], 피더 3에는 나머지 피더의 부하들을 집중하여 29 [MVA]를 적용하였다. 피더보호용으로 과전류 계전기를 모델링하여[5] 적용하였고 순시요소의 정정치를 정하기 위해 부하측에 전위 보호기기인 리클로저를 적용하였다. 고장 위치는 피더 1에서 모의하여 하이브리드 초전도 전류제한기의 반주기 후 한류방식에 대하여 분석하였다.



〈그림 2〉 배전계통 구성도

### 3.2 정정지침

본 논문에서는 반주기 후 한류방식을 갖는 하이브리드 초전도 전류 제한기를 변압기 2차측 적용시 피더 보호용 과전류 계전기의 동작특성에 대하여 분석하였다. 시뮬레이션 정정은 정정지침에 따라 정정하였고 표 1은 현재 한국전력공사에서 적용하고 있는 피더보호용 보호기기의 정정지침을 보여준다[8]. 또한 정정지침에 따른 정정치는 표 2에 나타내었다.

〈표 1〉 피더보호용 과전류 계전기 정정 지침

구분	정정지침
순시 탭	전위보호기기 설치점의 3상단락전류 $\times 1.5$ 이상
한시 탭	최대부하전류 $\times 1.5$ 이상
한시레버	변전소 인출점 3상 단락전류에서 0.5초 (30cyc)이하로 동작 (단, 협조가 어려울 경우 0.6초 이하)

〈표 2〉 보호기기 정정치

구분	피더보호용 과전류 계전기
순시 탭	65A(600/5)
한시 탭	4.5A(600/5)
한시레버	4

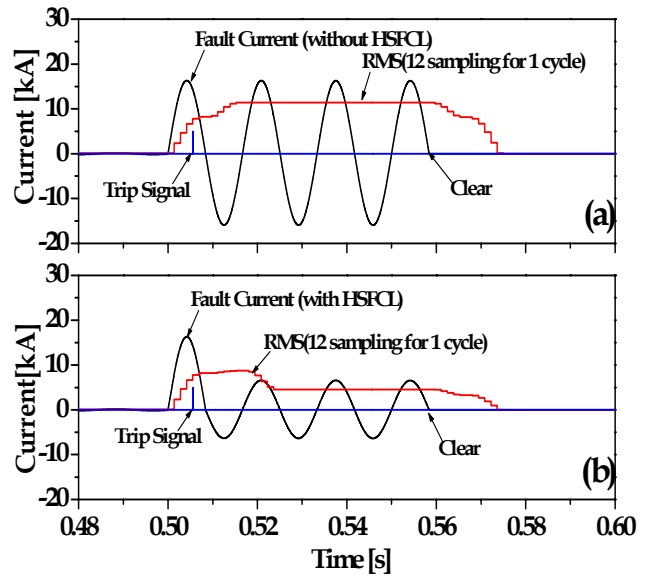
### 3.3 시뮬레이션

본 논문에서는 반주기 후 한류방식을 갖는 하이브리드 초전도 전류 제한기를 주변압기 2차측에 적용하여 3상 단락고장을 모의하였다. 결과는 그림 3과 같다. 결과 파형(a)는 하이브리드 초전도 전류제한기를 적용하기 전으로서 3상단락 고장시 순시정정치를 초과하여 순시 계전기(50)가 트립신호를 보내 3 주기 후 차단기가 개방되어 고장전류를 차단하는 결과를 보여준다. 결과 파형(b)는 반주기 후 한류방식인 하이브리드 초전도 전류제한기를 주변압기 2차측에 적용한 경우로 반주기 후 고장전류를 제안하나 반주기 동안 실효치 전류가 순시정정치를 초과하여 트립되는 것을 확인 하였다. 이는 반주기 후 한류를 함으로써 자기 영역 고장을 감지하여 정동작하는 것으로 고장전류를 제한함과 동시에 순시보호협조가 이루어 지는 것을 의미한다.

## 4. 결 론

본 논문에서는 반주기 후 한류방식을 갖는 하이브리드 초전도 전류 제한기를 배전계통에 적용시 보호협조에 어떠한 영향을 미치는지 분석하였다. 분석결과는 고장전류를 제한함과 동시에 순시요소 보호협조는 정

상적으로 이루어지는 것을 확인하였다. 본 논문에서는 분석을 위하여 반주기 후 한류방식의 하이브리드 초전도 전류제한기를 모델링하였고 보호기기 및 배전계통을 모델링 하였다. 또한 본 논문은 배전계통에 하이브리드 초전도 전류제한기 적용시 보호협조에 대한 기초 자료로 사용될 것으로 사료된다.



〈그림 3〉 반주기 후 한류방식의 HSFCL 적용시 결과파형

### 감사의 글

본 연구는 21세기프론티어 연구개발사업인 차세대초전도 응용 기술개발 사업단의 연구비지원에 의해 수행되었습니다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 김준환, 이강완, "전력계통 고장전류 증대와 대응방안", 전기저널, pp.19-31, April 1998
- [2] T. Hara, T. Okuma, T. Yamamoto, D. Ito K. Tasaki, and K. Tsurunaga, "Development of a new 6.6kV/1500A class superconducting fault current limiter for electric power system," IEEE Trans. Power Delivery, vol. 8, no. 1, pp. 182-192, Jan. 1993.
- [3] B. Gromoll, G. Ries, W. Schmidt, H.-P. Krämer, P. kummeth, and H.-W. Neumüller, "Resistive current limiters with YBCO films," IEEE Trans. Appl. Superconduct., vol. 7, no. 2, pp. 828-831, Jun. 1997.
- [4] W. Paul, Th. Baumann, J. Rhyner, and F. Platter, "Test of 100 kW high-Tc superconducting fault current limiter," IEEE Trans. Appl. Superconduct., vol. 5, no. 1, pp. 1059-1062, June 1995.
- [5] 안재민, 김진석, 문종필, 임성훈, 김재철, 김철환, 현옥배, "배전계통에 초전도 전류 제한기 적용시 보호협조 분석", 제 57권 제 5호, pp.755-760,2008
- [6] H.-R. Kim, S.-W. Yim, O.-B. Hyun, J. Sim, and S.-Y. Oh, "Analysis on recovery characteristics of superconducting fault current limiters," MT-20 Conference on Magnet Technology
- [7] H. Kameda, and H. Taniguchi, "Setting Method of Specific Parameter of a Superconducting Fault Current Limiter Considering the Operation of Power System Protection," IEEE Tran. Appl. Superconduct., vol. 9, no. 2, June 1999.
- [8] 한국전력공사 배전처, "배전보호기술서," 1995.