

EMTP를 이용한 Hybrid Type Superconducting Fault Current Limiter

박세호, 이상봉,
성균관대학교

Hybrid Type Superconducting Fault Current Limiter Modeling using EMTP

Se-Ho Park, Sang-Bong Rhee
Sungkyunkwan University

Abstract - A fault current limitation using fault current limiter(FCL) is very important for power system operation. In recent year, a number of research have been performed and still progressing about the super conducting fault current limiter(SFCL). To protect the power system effectively from the large fault current, several superconducting fault current limiters proposed. However, there are many problem such as cost, recovery and ac loss. To solve these problems, hybrid superconducting fault current limiter(HSFCL) have been proposed. In this paper, HSFCL are modeled using (Electro Magnetic Transient Program - Restructured Version)EMTP-RV.

1. 서 론

최근 전력수요의 급격한 증가에 따라 전력계통의 규모가 더욱더 커지고 복잡해지고 있으며, 분산전원 및 부하의 지속적인 증가로 고장 발생 시 고장전류가 크게 증가하여 차단기의 차단용량을 초과하거나 계통에 심각한 영향을 초래할 수 있다. 따라서 고장의 파급을 줄이고 안정적인 전력계통의 운영을 위해서는 고장전류의 신속한 차단이나 한류기를 이용한 고장전류의 제한이 무엇보다도 우선 시 된다[1-3].

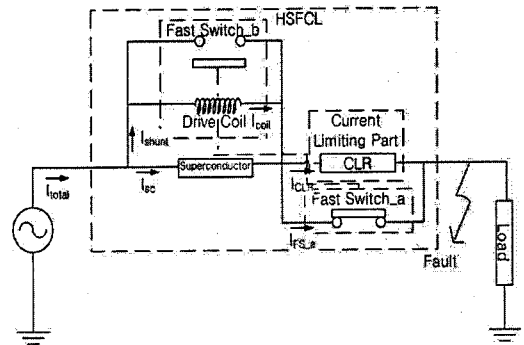
한류기는 계통의 정상상태에서 일정하게 흐르던 전류가 고장 시 큰 전류를 발생시킬 때 적절한 임피던스를 투입하여 고장전류를 일정수준 이하로 억제하도록 하는 것이다. 이러한 한류 작용에 의해 차단기로 전달되는 충격과전압을 줄이고 다른 전력기기들의 손상을 방지함으로써 계통을 보호하고 안정적인 전력공급을 가능하게 한다. 또한 고장전류의 제한방법에서 변압기 임피던스에 의한 전력손실, 자체한류기 저항에 의한 손실 발생의 단점을 갖고 있던 기존 상전도 한류기의 기술적 한계를 극복한 초전도 한류기(Super Conducting Fault Current Limiter : SFCL)를 투입함에 따라 상전도 한류기에서 발생하는 전력 손실 없이 고장전류를 제한할 수 있다.[4] 그러나 SFCL의 계통투입 시 경제성, recovery 특성 및 전력 손실의 문제점들이 발생할 수가 있다. 따라서 본 논문에서는 SFCL의 문제점을 극복하고자 최근에 제안된 하이브리드 타입의 한류기인 EMTP-RV를 사용하여 모델링 하고, SFCL과 비교 분석을 실시하였다.

2. Hybrid Type Superconducting Fault Current Limiter

2.1 HSFCL 동작 특성

HSFCL의 동작특성은 기존 저항형 초전도 한류기와는 상이하며, 초전도 소자는 전류의 pick up에 사용되며 실제 Current Limiter Resistor(CLR)를 사용하여 고장전류

를 제한한다. 그림 1은 HSFCL의 동작 회로이다. 정상상태에서는 초전도 소자에 전류가 흐르므로 전력 손실이 발생하지 않고, 고장발생 시 초전도 소자가 pick up 되면 상전도 저항이 발생하여 고장전류는 구동코일(Drive Coil)쪽으로 흐르게 된다. 이때 구동코일에 더 많은 고장전류가 흐르게 되어 코일에 발생하는 반발력에 의해 고속 스위치(Fast Switch)가 동작하게 된다. 고속 스위치의 b접점은 닫히고, a 접점은 전류가 흐르지 않도록 순간 개방되어 고장전류는 CLR을 통해 제한된다.



<그림 1> HSFCL 동작 회로도

2.2 HSFCL 모델링

HSFCL의 수학적 모델링은 다음과 같다.

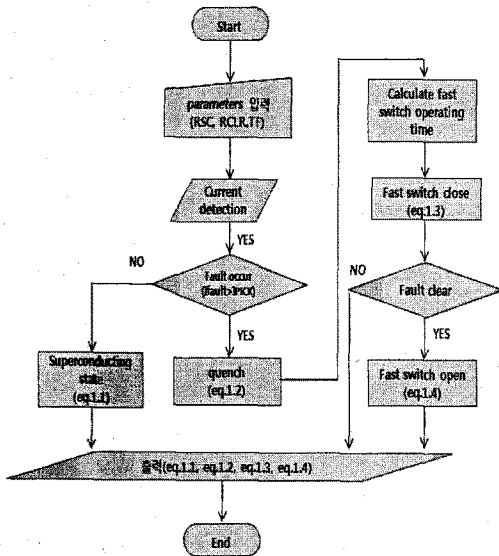
$$R_{HSFCL}(t, I_{fault}, I_{coil}) = \begin{cases} 0 & (t_{fault} > t) & (1.1) \\ R_{SC}(I_{fault}) [1 - \exp(-\frac{t-t_{fault}}{T_R(I_{fault})})]^{1/2} & (t_{fault} \leq t < t_{coil}) & (1.2) \\ R_{CLR}(I_{coil}) (t_{clear} - t_{coil}) & (t_{coil} \leq t < t_{clear}) & (1.3) \\ 0 & (t_{clear} \leq t) & (1.4) \end{cases}$$

정상상태에서는 초전도 소자의 저항은 0이며, 고장 발생 시 초전도 소자의 저항(Rsc)이 지수형태로 발생하여 고장전류는 구동 코일 쪽으로 흐르게 된다. 구동 코일이 동작하게 되면 고장 전류는 CLR(RCLR)에 의해서 제한되며, 고장 제거 후 다시 초전도 소자에 전류가 흐르게 된다. HSFCL에 흐르는 전류가 임계치 이상일 때 0.4[Ω]의 저항이 발생하도록 모델링 하였고, 구동코일에 흐르는 전류가 임계전류 이상일 때 b접점으로 전류가 흐르고, a접점은 전류가 0일 때 개방된다.

그림 2는 모델링한 HSFCL의 동작 흐름도이다. 고장 발생 시 전류를 감지하여 초전도 소자의 임계전류 보다 높을 경우 쉐치가 발생하고 구동코일에 흐르는 전류의 크기에 따라 고속 스위치의 동작 시간이 결정이 된다.

고장 제거 후 고속 스위치의 b접점은 개방되어 고장전류가 초전도 소자로 흐르게 모델링 하였다.

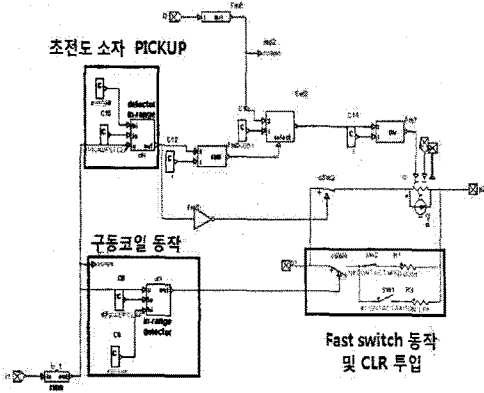
있고, 어떠한 계통에도 적용 가능하도록 모델링하였다



<그림 2> HSFCL 동작 흐름도

2.3 EMTP-RV를 이용한 HSFCL 모델링

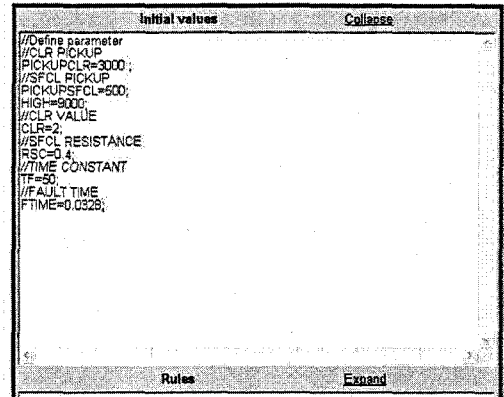
그림 3은 EMTP-RV를 이용한 HSFCL 모델링이다. HSFCL은 초전도 소자, 구동 코일, 고속스위치 및 전류제한 부분으로 구성되어 있고, EMTP-RV의 제어 소자를 이용하여 고장전류에 따른 초전도 소자의 pick up 및 고속스위치 동작을 제어 하게 모델링 하였으며 제어 스위치를 이용하여 고속스위치의 b접점 및 a접점을 구성하였다. 초전도 소자에 흐르는 전류를 감지하여 임계전류보다 높을 경우 초전도 소자의 퀘칭이 발생하는 동시에 구동코일에 고장전류가 흐르게 되어 고속 스위치의 동작을 제어 하게 모델링 하였다. 또한 고속 스위치가 동작하면 고장전류는 전류제한 소자에 흐르게 되어 고장전류가 저감되고, 고장제거 후 자동제어에 의해 고속스위치가 동작하여 고장전류는 다시 초전도 소자로 흐르게 모델링하였다.



<그림 3> EMTP-RV를 이용한 HSFCL

그림 4는 초전도 소자의 임계전류, CLR의 저항값, 퀘칭 특성, 고속스위치를 제어 할 수 있는 입력장이다. 변수 값을 입력함으로써 HSFCL의 동작 특성을 선정할 수

Black box device with scripting



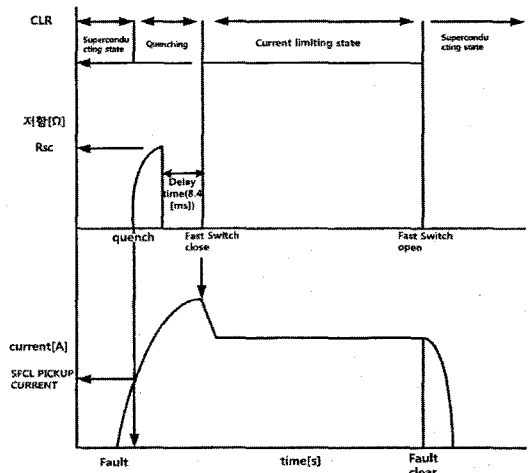
<그림 4> HSFCL 제어 입력창

표 1은 HSFCL의 제어 변수 이다. 표 1의 제어 변수를 이용하여 HSFCL의 동작을 고장전류에 따라 자동제어가 가능하게 모델링 하였다.

<표 1> HSFCL 제어 변수

변수	특성
PICKUPCLR	구동 코일 임계전류
PICKSFCL	초전도 소자 임계전류
HIGH	고장전류 최대값
CLR	전류제한 소자 저항
RSC	상전도 저항
TF	고장에 대한 시정수
FTIME	고장시간

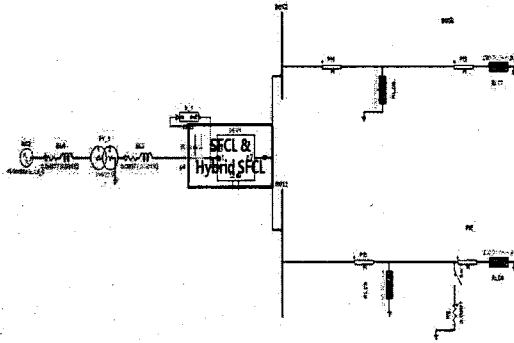
그림 5는 모델링된 HSFCL의 저항 곡선이다. SFCL pick up 후 반주기 후 계통에 CLR이 투입되며, 초전도 소자는 고장 감지만 하게 된다. 따라서 HSFCL의 상태는 초전도 상태에서 고장 발생 후 전류제한 상태로 전이되며, 고장제거 후 다시 초전도 상태로 복귀한다.



<그림 5> HSFCL 저항곡선

2.4 저항형 초전도 한류기와 HSFCL 비교 분석

저항형 초전도 한류기는 경제성, 회복특성, 전력손실 등의 문제가 발생하며 이를 극복하기 위해 최근 HSFCL이 제한되었다. 따라서 이 두종류의 한류기를 계통에 적용하기 위해서 비교 분석이 필요할 것으로 사료되며, 본 논문에서는 SFCL과 HSFCL을 비교 분석 하였다. 그림 5는 비교 분석을 위한 배전계통 모델링이며 대상 계통의 총길이는 상단 하단 각각 4[km] 이고, 상·하단이 2단 장주로 이루어진 배전계통이며, 상단의 부하는 $P=3253[kVA]$, $Q=1379[kVAR]$ 이고, 하단의 부하는 $P=3403[kVA]$, $Q=952[kVAR]$ 이다. SFCL과 HSFCL을 비교 분석하기 위해 변압기 2차측에 SFCL 및 HSFCL을 설치하였다. 하단측 선로의 전원측으로 2[km] 지점에서 1선 지락고장이 발생하는 것으로 모의하고, 변압기 2차측에서 고장전류를 측정하였다.

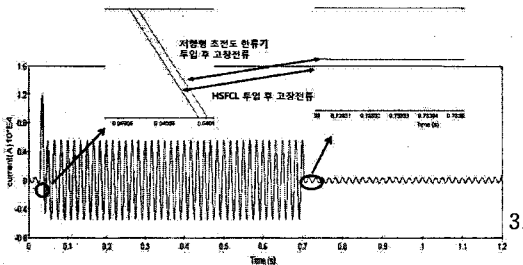


<그림 6> 배전 모델 계통

비교 분석을 위한 모의 조건은 표 2와 같다.

<표 2> 모의조건

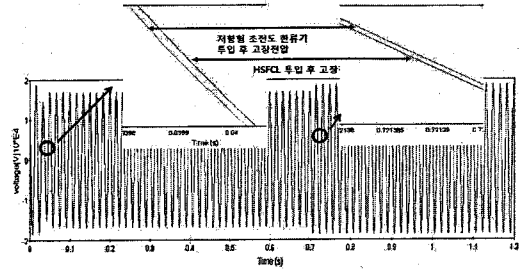
저항형 초전도 한류기	HSFCL
고장발생 시간 : 0.02787 [S]	고장발생 시간 0.02787 [S]
초전도 소자 Pick up 전류 : 500[A]rms	초전도 소자 Pick up 전류 : 500[A]rms
한류저항 : 2[Ω]	CLR : 2[Ω]
한류 방식 : 고장 발생 반주기 후	구동코일 동작 : 고장 발생 반주기 후
철회 시간 : 1[ms]	철회 시간 : 1[ms]
recovery : 300[ms]	RSC : 0.2[Ω]



<그림 6> 고장 전류 비교 파형

그림 6은 고장전류 비교 파형이다 고장전류의 차이는

평균 15[A]peak였으며, 고장 발생 반주기 이후 수렴됨을 볼 수 있다. 또한 고장 제거 후 고장전류의 차이는 평균 15[A]peak였으며, 저항형 초전도 한류기의 회복이 끝난 후 고장전류가 수렴되었다.



<그림 7> 고장 전압 비교 파형

그림 7은 고장 전압 비교 파형이며 고장전압의 차이는 평균 60[V]peak였으며, 고장 발생 반주기 이후 수렴되었고, 고장 제거 후 고장전압의 차이는 평균 10[V]peak였으며, SFCL의 회복이 끝난 후 고장전압이 수렴됨을 볼 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 EMT-P-RV를 이용하여 HSFCL을 모델링 하였다. 변수의 입력 값에 의해 HSFCL의 특성을 선정 할 수 있고, 고장 전류에 따른 자동제어가 가능하게 모델링 하였다. 또한 SFCL과의 비교 분석을 통해 SFCL과 HSFCL의 고장전류 및 고장 전압은 근소한 차이를 보이나 전기적 특성은 거의 차이 나지 않음을 확인 하였다. 향후, HSFCL의 더 정확한 모델링을 위해 고속 스위치 동작 시간계산을 위한 함수추가와 같은 추후 연구가 필요할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 21세기프론티어 연구개발사업인 차세대초전도응용기술개발 사업단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

[참 고 문 헌]

- [1] Das, J.C, "Limitations of fault-current limiters for expansion of electrical distribution systems", IEEE Transactions on Volume 33, Issue 4, July-Aug. 1997
- [2] Kojovic. L Hassler. S, "Application of current limiting fuses in distribution systems for improved power quality and protection", Power Delivery, IEEE Transactions on Volume 12, Issue 2, April 1997
- [3] Yagami. M, Shibata. S, Murata. T, Tamura. J, "Improvement of power system transient stability by superconducting fault current limiter", Transmission and Distribution Conference and Exhibition 2002: Asia Pacific. IEEE/PES Volume 1, 6-10 Oct. 2002
- [4] Goto. Y, Yukita. K, Mizuno. K, Ichianagi. K, Guo, Y.H, Yokomizu. Y, Matsumura. T, "Experimental studies on power system transient stability due to introduction of superconducting fault current limiters", Power Engineering Society Winter Meeting, 2000. IEEE Volume 2, 23-27 Jan. 2000