

EMTCD를 이용한 154kV 송전계통에서의 초전도 한류기 적용 해석

허태전\*, 배형택\*\*, 박민원\*\*\*, 유인근\*

\*창원대학교, \*\*한국전력공사, \*\*\*차세대초전도응용기술개발사업단

Application Analysis of a Resistive type SFCL for Transmission Systems

Tae-Jeon Heo\*, Hyeong-Thaek Bae\*\*, Min-Won Park\*\*\*, In-Keun Yu\*  
 \*Changwon National University, \*\*KEPCO, \*\*\*CAST

**Abstract** - The need for Fault Current Limiters (FCL) is associated with the continuous growth and interconnection of modern power systems and increase in dispersed generation facilities, which result in progressive increase in the short circuit capacity far beyond their original design capacity. Fault Current Limiters (FCL) clips the fault currents and reduces the electromechanical stresses on the network and the need to handle excessive fault currents. In addition, the reduction of the fault duration provided by the limiter should increase the power transmission capability and improve the dynamic stability. This paper proposes the model of resistive type superconducting fault current limiter using EMTDC(Electromagnetic transients for DC analysis program). In order to verify the effectiveness of the SFCL, in this paper, the analysis of fault current in a transmission system through the EMTDC based simulation by using the modeled component of a resistive type SFCL is performed and the detailed results are given.

2. 저항형 초전도 한류기 컴포넌트

PSCAD/EMTDC를 이용하여 개발된 저항형 초전도 한류기 컴포넌트는 사고시 고온 초전도체의 퀠치 특성과 고장의 제거로 계통의 전류가 임계전류 이하가 되면 초전도 상태로 복귀하게 되는 회복특성까지 반영하여 모델링 되었다. 그림 1은 모델링 된 저항형 초전도 한류기 컴포넌트를 나타내고, 초전도체의 저항은 식 (1)과 같이 나타난다[3].

$$R(t) = R_{sc} \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{t-t_0}{\tau}\right) \right\} \quad (1)$$

여기서,  $R_{sc}$ 는 초전도체의 저항 값이고,  $\tau$  는 초전도 소자의 저항발생 시정수 값이다[3].

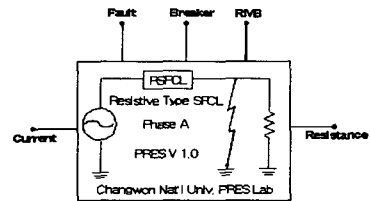


그림 1. 한류기 컴포넌트

1. 서 론

전력계통의 꾸준한 증가로 인해 단락용량이 증가하면 사고시 계통의 안정성을 떨어뜨려 심각한 전압강하를 발생하게 된다. 계통에서 고장으로 인한 사고 파급영향을 미연에 방지하고 안정적인 계통운영을 도모하기 위해서는 고장전류의 억제가 무엇보다 중요하다.

이를 위해 대용량 차단기의 추가 설치가 필요하지만 이러한 차단기의 개발, 설치에 막대한 비용이 필요하게 되고 절연유 또는 절연가스의 사용으로 환경오염을 시키며, 차단기의 입지 또한 문제가 된다. 이러한 단점을 보완하고 안정적인 전력 계통의 용량증가를 위해 최근 각광받고 있는 소자로 고온 초전도 한류기가 있다. 기본적으로 초전도 한류기는 저항형, 유도형, 하이브리드형의 세 가지가 있다. 그중 가장 발달한 초전도 한류기의 형태는 저항형이다. 임계전류를 초과함으로써 발생하는 퀠치 현상을 기초로 한 초전도 한류기는 계통에 적용시 부가적인 임피던스 없이 작동이 가능하고 별도의 측정기기 없이 고장전류 검출이 가능하며 보호시스템의 한계를 넘어선 고장전류가 발생하는 계통에 대해서도 사용이 가능하여 계통의 전력전송 능력을 증가시키고 동적 안정성을 향상시킬 수 있다[1,2].

본 논문에서는 초전도 한류기의 본격적인 계통 적용에 앞서 임계전류를 초과함으로써 나타나는 퀠치 현상에 기초한 저항형 초전도 한류기의 EMTDC 컴포넌트를 154[kV]급 등가 송전계통에 적용하였고, 사고시 한류기의 최종 저항값에 따른 고장전류 제한 효과를 검토하여 저항형 초전도 한류기 도입의 효용성을 입증하고자 한다.

그림 2의 (a)는 저항형 초전도 한류기의 특성곡선을 나타내고, 그림 2의 (b)는 한류기의 임피던스 성분에 의해 제한되는 고장전류를 나타낸다. 계통에 임계전류 이상의 고장전류가 발생하면 수 ms 이내에 초전도체의 특성에 따라 초전도 한류기에 고 임피던스가 발생하여 고장전류를 제한하게 되고, 차단기의 개방으로 고장전류가 제거되면 초전도 한류기는 신속하게 초전도 상태로 회복하게 된다.

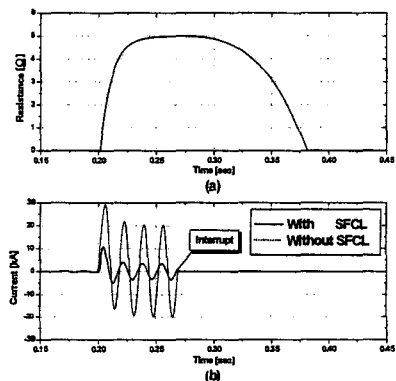


그림 2. 저항형 초전도 한류기의 특성곡선과 한류효과

### 3. 시뮬레이션

본 논문에서는 저항형 초전도 한류기 컴포넌트를 PSCAD/EMTDC를 이용하여 모델링 된 154[kV] 배전계통에 적용하여 시뮬레이션을 수행하였다.

그림 3은 모델링 된 송전계통의 단선도를 나타낸 것이다. 345[kV] 등가 전원에 345/154[kV], 500[MVA]급의 용량을 가진 변압기 뱅크가 있고 345[kV]에서 154[kV]로 강압되어 1회선 또는 2회선으로 구성된 송전선로를 통해 각각의 변전소로 전력이 전송된다.

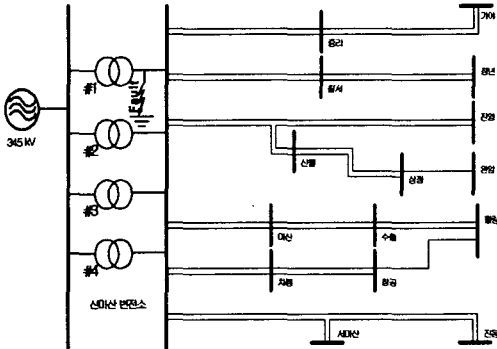


그림 3. 모델링 된 송전계통의 단선도

표 1은 본 연구의 기본적인 시뮬레이션 조건을 나타낸다. 계통의 사고발생 시간은 시뮬레이션 시작 후 0.2[sec], 사고지속 시간은 0.3[sec]으로 설정하였고, 실험상 한류기의 임계전류는 5[kA]로 모든 경우에서 동일하며 저항형 한류기의 상전도 저항 값을 0~100[Ω]까지 변화시켜가며 시뮬레이션을 수행하였다.

표 1. Simulation Conditions

Duration of Simulation	1.0 [sec]
Source Voltage	345 [kV]
Time of Start Fault Operation	0.2 [sec]
Duration of Fault	0.3 [sec]
Time of First Breaker Operation	0.267 [sec]
Time of Second Breaker Operation	0.667 [sec]
Critical Current	5 [kA]

본 논문에서는 뱅크내의 변압기 2차 측에서 1선 지락 사고 및 3상 단락사고가 발생하였을 때 한류기 적용에 따른 효율성을 확인하고 한류기의 최종 저항 값 변동에 따른 고장전류 저감효과를 확인하고자 한다.

### 4. 시뮬레이션 결과

#### 4.1. 한류기를 적용하지 않은 경우

그림 4는 한류기가 적용되지 않은 경우의 1선 지락, 3상 단락 전류파형을 나타낸다. 1선 지락의 경우 순간 최대 51[kA] 평균 29[kA], 3상 단락의 경우도 3상에 순간 최대 50[kA] 평균 28[kA] 정도의 고장전류가 발생하였다.

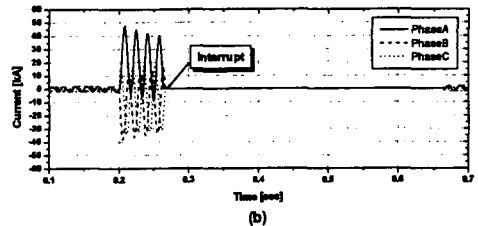
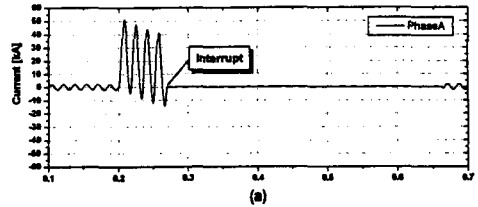


그림 4. 1선 지락, 3상 단락사고 전류파형(한류기 無)

#### 4.2. 한류기를 적용한 경우

변압기의 2차 측에 한류기를 적용한 경우 한류기의 최종 저항 값을 0~100[Ω]까지 변화시켜가며 결과를 해석하였으나 본 논문에서는 대표적인 5[Ω], 10[Ω], 50 [Ω]인 경우만 그래프로 나타내었다. 그림 5는 한류기의 최종 저항 값이 5[Ω]인 경우로 1선 지락의 경우 순간 최대 38.16[kA], 평균 18.5[kA], 3상 단락의 경우 순간 최대 37[kA], 평균 18[kA]로 한류기를 적용하지 않은 경우에 비하여 45[%]의 고장전류 저감 효과가 발생하였다.

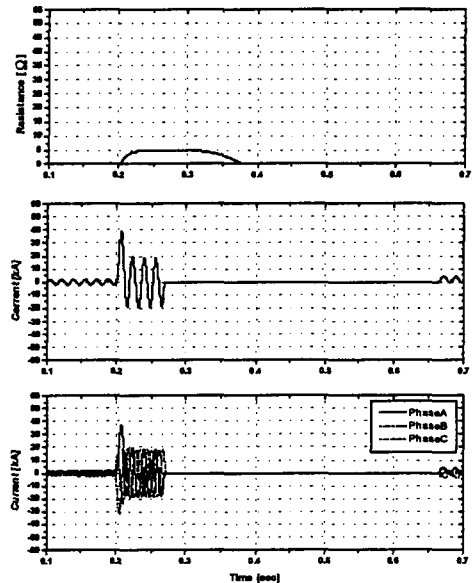


그림 5. 1선 지락, 3상 단락사고 한류기의 저항곡선과 전류파형 (5[Ω])

그림 6은 한류기의 최종 저항 값이 10[Ω]인 경우로 1선 지락의 경우 순간 최대 32.33[kA], 평균 11.6[kA], 3상 단락의 경우 순간 최대 31.5[kA], 평균 11.7[kA]로 한류기를 적용하지 않은 경우에 비하여 58[%]의 고장전류 저감 효과가 발생하였다.

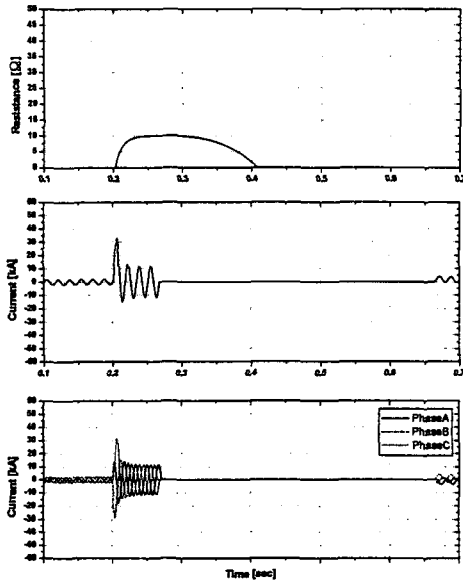


그림 6. 1선 지락, 3상 단락사고 한류기의 저항곡선과 전류파형 (10[Ω])

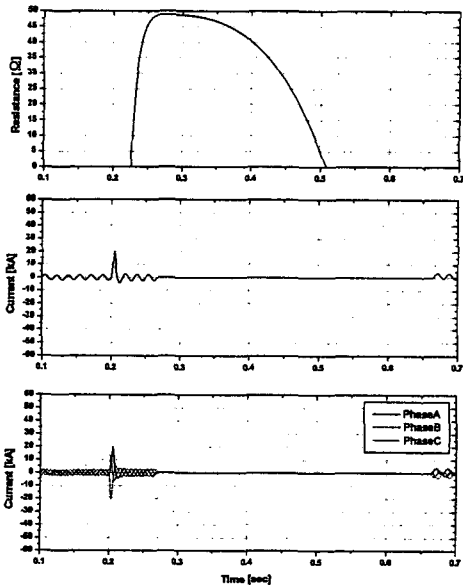


그림 7. 1선 지락, 3상 단락사고 한류기의 저항곡선과 전류파형 (50[Ω])

그림 7은 한류기의 최종 저항 값이 50[Ω]인 경우로 1선 지락의 경우 순간 최대 20[kA], 평균 2.6[kA], 3상 단

락의 경우 순간 최대 20.3[kA], 평균 2.66[kA]로 사고가 발생하지 않은 정상상태의 전류 값까지 고장전류가 제한되었다. 제한되는 고장전류의 값은 한류기의 저항값에 비례하여 줄어들게 된다.

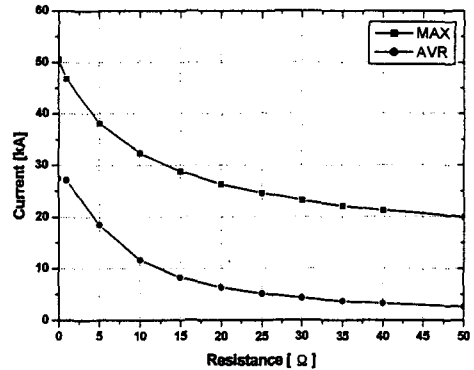


그림 8. 한류기의 최종저항 값에 따른 고장전류 값

## 5. 결 론

본 논문에서는 켄치 현상에 기초한 저항형 초전도 한류기의 EMTDC 컴포넌트를 154[kV]급 등가 송전계통에 적용하여 한류기의 최종 저항 값에 따른 고장전류 제한 효과를 검토하였다.

그림 8에서 알 수 있듯이 시뮬레이션 결과 고장전류의 최대값과 평균값 모두 한류기의 저항값에 따라 지수함수적으로 감소한다. 그리고 초전도체의 특성상 최종 저항 값이 필요이상으로 커지면 한류기의 회복시간이 차단기의 재폐로 시간을 초과하게 되므로 사고가 제거되고 차단기가 재폐로 된 이후에도 한류기의 저항성분으로 인해 지속적으로 계통의 전압강하를 초래하게 된다. 따라서 한류기에 의하여 제한된 고장전류가 정상상태 이하이고 회복시간이 긴 50[Ω] 이상의 경우는 그래프에서 제외되었다.

따라서, 저항형 초전도 한류기를 계통에 적용할 때는 저항값에 따른 고장전류 제한효과 뿐만 아니라 회복시간까지 고려하여야 함을 알 수 있었다. 향후 본 연구에서 사용된 EMTDC 모델을 이용하여 더욱 다각적인 계통도입효과에 대한 분석을 수행할 계획이다.

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발 사업인 차세대 초전도 응용기술 개발 사업단의 연구비 지원에 의해 수행되었음.

## [참 고 문 헌]

- [1] P.Tixador, "Superconducting Current Limiters Some Comparisons and Influential Parameters" IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Vol.4, No.4, pp.190-198, December 1994
- [2] J.D.Lee, M.Park and I.K.Yu, "Formula based modeling of resistive type superconducting fault current limiter using PSCAD/EMTDC", ICEE2002, Cheju, Korea, 2002
- [3] N.Hyakawa, H.Kagawa, H.Okubo, "A System Study on Superconducting Fault Current Limiting Transformer (SFCLT) with the Functions of Fault Current Suppression and System Stability Improvement", IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Vol.11, No.1, pp.1936-1939, March 2001