

초전도 한류기 투입 위치에 따른 TRV 영향 분석

방승현*, 이상봉*, 김철환*, 김재철**, 현옥배***
 성균관대학교*, 송실대학교**, 한전전력연구원***

Analysis of a TRV influence according to application position of a SFCL

Seung-Hyun Bang*, Sang-Bong Rhee*, Chul-Hwan Kim*, Jae-Chul Kim**, Ok-Bae Hyun***
 Sungkyunkwan University*, Soongsil University**, KEPRI***

Abstract - The rating of a circuit breaker depends not only on the interrupting current but also on a transient recovery voltage (TRV). To achieve a successful interruption, the circuit breaker must withstand the TRV. A superconducting fault current limiter (SFCL) is a device that limits the fault current fast and effectively without having high impedance during normal operation of the power system. Therefore, we studied the influence of the TRV according to the application of a resistive type SFCL in distribution system. This paper analyses the influence of the TRV for various application position of the resistive SFCL. The distribution system and the resistive SFCL were modeled by using EMTP-RV (Electromagnetic Transient Program - Restructured Version)

1. 서 론

전력계통이 크게 증가하고 복잡해짐에 따라 전력계통의 고장시 발생하는 고장전류 또한 크게 증가하여 때때로 차단기는 큰 고장 전류를 견디지 못하고 차단에 실패하는 경우도 발생하게 된다. 따라서 차단기 및 계통의 모든 전력 기기들은 이러한 큰 고장 수준에도 견딜 수 있게 설계되어야 한다[1]. 이를 위한 대책으로 최근 초전도 한류기(SFCL : Superconducting Fault Current Limiter)의 적용에 대한 연구가 많이 진행되고 있다.

초전도 한류기는 정상상태인 경우에는 임피던스를 갖고 있지 않기에 때문에 어떠한 에너지 손실이나 전압강하를 발생시키지 않지만 고장이 발생하였을 경우에는 초전도 성질의 상실로 인해 특정한 임피던스 값이 발생하게 된다. 그 결과 큰 고장전류는 일정수준 이하로 줄어들게 되고 큰 고장전류가 차단기에 가하는 충격 또한 완화시키게 된다. 차단기의 차단 능력은 차단되는 고장전류의 크기뿐만 아니라 고장전류 차단시 차단기 양단에 나타나는 과도회복전압(TRV : Transient Recovery Voltage)에도 크게 의존하며, 이러한 과도회복전압은 TRV의 과고치와 상승률(RRRV : Rate of Rise of Recovery Voltage)의 두 가지 파라미터 값으로 정의된다[2]. 따라서 계통의 안정적인 효율적인 운영을 위해 고장발생에 의한 차단기의 트립시 나타나는 TRV에 대한 효과적인 저감 및 다양한 분석이 요구되어진다.

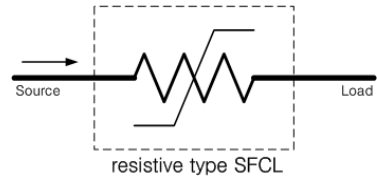
본 논문에서는 배전계통에서 발생하는 TRV에 대하여 저항형 초전도 한류기를 적용하였을 때 나타나는 영향을 모의하고 분석하였다. 영향 분석을 위해 과도현상 해석 프로그램인 EMTP-RV(Electro Magnetic Transients Program - Restructured Version)를 이용하여 저항형 초전도 한류기 및 일반적인 22.9[kV]급 배전계통을 모델링 하였다. 또한 배전계통에서 저항형 초전도 한류기의 투입 위치에 따라 TRV 영향을 모의하였으며 그 결과 값을 비교, 분석하였다.

2. 저항형 초전도 한류기

2.1 저항형 초전도 한류기

초전도 한류기는 계통의 정상운전 상태에서는 거의 0에 가까운 임피던스를 가지지만, 고장이 발생하여 초전도체의 고유 임계전류 이상의 고장전류가 흐르면 특정한 임피던스를 가짐으로써 고장전류를 일정수준 이하로 감소시키는 특성을 가진다. 초전도 한류기는 초전도 성질이 상실되면서 발생하는 임피던스의 종류에 따라 저항형과 유도형으로 분류할 수 있다[3]. 본 논문에서는 저항성분을 가지는 저항형 초전도 한류기를 모의하고 분석하였다.

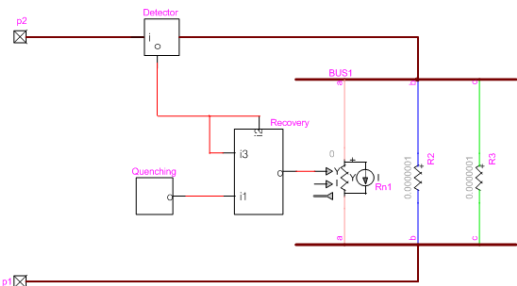
그림 1은 저항형 초전도 한류기의 간단한 회로 모델을 나타낸 것으로, 계통에 직렬로 직접 연결되며 초전도 소자는 가변 비선형 저항기로 나타낼 수 있다[4].



<그림 1> 저항형 초전도 한류기의 간단한 회로 모델

2.2 저항형 초전도 한류기 모델링

초전도 한류기의 특성을 EMTP-RV로 모델링하기 위하여 필요한 파라미터는 초전도 한류기의 켄칭 개시전류, 켄칭 시간, 최종 저항값 그리고 회복 시간이다. 그림 2는 각각의 파라미터를 이용하여 EMTP-RV로 구현한 저항형 초전도 한류기 모델이다.



<그림 2> EMTP-RV로 구현한 저항형 초전도 한류기

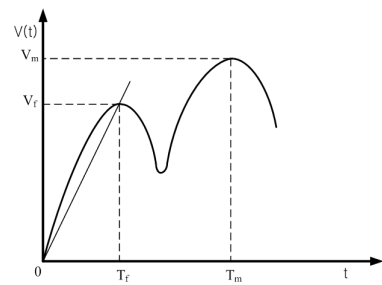
3. 과도회복전압 (TRV)

3.1 과도회복전압

전력계통에서 고장이 발생하였을 경우 계전기로부터 트립신호를 받은 차단기는 고장 제거를 위해 신속하게 트립을 하게 되는데 이때 차단기 트립에 의해 차단기 양단에 나타나는 초기 과도특성의 회복 전압을 과도회복전압(TRV)이라고 정의한다.

3.2 과도회복전압 상승률 (RRRV)

TRV의 파형 분석 시 고려되어야 할 중요한 파라미터는 크게 초기 부분의 과도회복전압 상승률과 과고 부분의 과고치로 구분된다. 다음 그림 3은 일반적인 TRV 파형 분석을 위한 파라미터를 그림으로 나타낸 것이다[5]. 여기서 V_f 는 최초 TRV 피크(first TRV peak) 값, V_m 은 최대 TRV 피크(maximum TRV peak) 값을 나타낸다.



<그림 3> TRV 파형 분석을 위한 파라미터

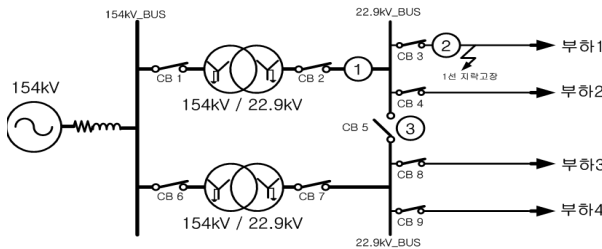
또한, RRRV는 0에서 최초 TRV 피크(V_f)값까지 연결한 선분의 기울기 값으로 microsecond 당 TRV 상승 값을 나타내며 식 (1)과 같다[6].

$$RRRV = \frac{\text{first TRV peak}}{\text{time} - t_o - \text{first TRV peak}} = \frac{V_f}{T_f} \text{ [kV}/\mu\text{s}] \quad (1)$$

4. 모의 및 결과 검토

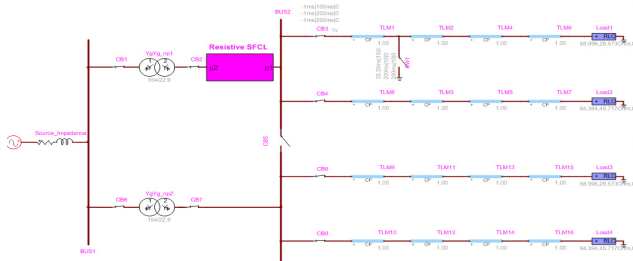
4.1 모의 계통

배전계통에서 저항형 초전도 한류기의 투입 위치에 따른 TRV 영향을 모의하기 위한 모의 계통은 다음 그림 4와 같다. 모의계통은 일반적인 한전 배전계통을 토대로, 154[kV] 등가전원 모선에 154/22.9[kV], 60[MVA]급의 용량을 가지는 변압기 2대가 병렬운전하고 있으며, 22.9[kV] 모선 각각에는 부하가 연결된 상·하단의 2개 피더(feeder)가 구성되어 있다. 또한 저항형 초전도 한류기를 ①, ②, ③ 위치에 각각 투입하는 것으로 구성 하였다.



〈그림 4〉 모의 계통

그림4의 모의 계통을 EMT-P-RV로 모델링 하면 다음 그림 5와 같다.

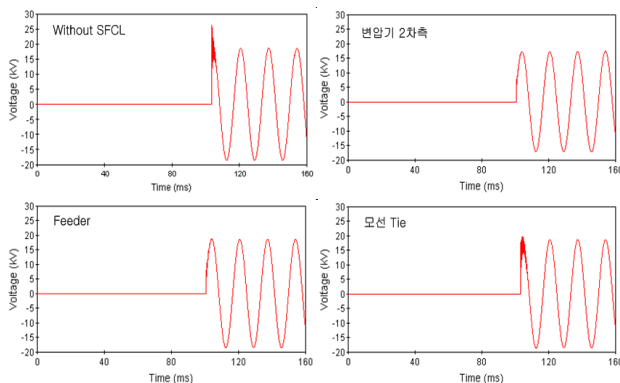


〈그림 5〉 EMT-P-RV로 구현한 모의 계통

4.2 모의 조건

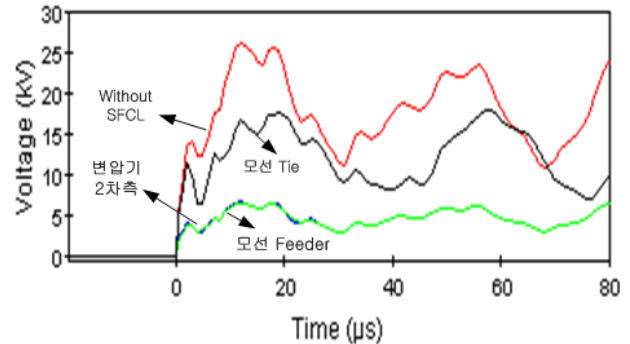
TRV 영향 분석을 위해 고장은 배전계통에서 가장 빈번하게 발생하는 1선 지락고장(A상 기준)을 부하 1번 feeder의 1[km] 지점에서 발생시켰으며 그에 따른 CB 3에서의 TRV 파형을 보았다. 최초 $t=0$ [s]에서 모의를 시작하여 2cycles 이후에 고장을 발생 시켰으며 차단기 동작은 고장 시점으로부터 4cycles 이후에 트립을 시켰다. 또한, 저항형 초전도 한류기의 투입위치를 변압기 2차측, 부하 1번 feeder의 차단기 후단 그리고 22.9[kV] 모선 Tie 부분에 투입하여 그에 따른 TRV 영향을 모의하였다.

4.3 저항형 초전도 한류기의 투입 위치에 따른 TRV 파형



〈그림 6〉 EMT-P-RV로 구현한 모의 계통

그림 6은 저항형 초전도 한류기의 투입 위치에 따른 각각의 차단기 TRV 파형을 보여준다. 저항형 초전도 한류기를 투입하기 전에는 TRV 최고치가 26[kV]까지 상승하였으나 투입 이후에는 거의 모든 위치에서 TRV가 현저하게 감소한 것을 확인할 수 있다.



〈그림 7〉 차단기 트립이후 초기 TRV 파형

그림 7은 투입 위치에 따른 각각의 TRV 파형에서 최초 TRV 피크 (first TRV peak) 값을 보기 위해 차단기 트립 이후 0~80[us] 동안의 초기 파형을 확대하여 하나의 그래프로 나타낸 것이다. 각각의 TRV 파형에 대한 상승률을 보면 저항형 초전도 한류기 투입전에는 4.7[kV/us]로 가장 큰 RRRV값을 나타내었으며 다음으로 3.7[kV/us]의 모선 Tie, 2.0[kV/us]의 변압기 2차측 그리고 1.9[kV/us]의 22.9[kV] 모선 feeder 순으로 큰 값을 나타내었다. 이것은 feeder에서 고장이 발생하였을 경우 해당 feeder에 직접 초전도 한류기가 투입된 경우 가장 효과적인 TRV 저감 효과가 있는 것으로 판단할 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 22.9[kV]급 배전계통에서 가장 빈번하게 발생하는 1선 지락고장 발생시 차단기의 트립으로 발생하는 TRV에 대해서 저항형 초전도 한류기의 투입 위치에 따른 영향을 모의하고 그 결과값을 분석하였다. 부하 1번 feeder에서 고장 발생시 저항형 초전도 한류기의 거의 모든 투입 위치에서 TRV가 감소하였으며 투입 위치가 부하 1번 feeder 일 경우 가장 효과적으로 TRV가 저감하는 것을 확인 하였다.

이상과 같이 배전계통에서 저항형 초전도 한류기 투입 위치에 따른 TRV 영향 및 효과를 알아보았다. 향후 다양한 고장에 따른 계통 영향을 모의하고 분석하는 연구가 수행되어야 할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 21세기프론티어 연구개발사업인 차세대초전도응용기술개발사업단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] Fault Current Limiters-Basic Concept and Associated Technologies, EPRI EL-6275, 1989.
- [2] E. Calixte, Y. Yokomizu, H. Shimizu, T. Matsumura, H. Fujita, "Reduction of rating required for circuit breakers by employing series-connected fault current limiters", IEE Proc.-Gener. Trans. & Distrib., Vol. 151, No. 1, pp. 36-42, January, 2004.
- [3] W. Paul, M. Chen, M. Lakner, J. Rhyner, D. Braun, W. Lanz, "Fault current limiter based on high voltage superconductors - different concepts, test results, simulations, applications", Physica C 354, pp. 27-33, 2001.
- [4] Lin Ye, A.M. Campbell, "Case study of HTS resistive superconducting fault current limiter in electrical distribution systems", Electric Power Systems Research 77, pp. 534 - 539, 2007.
- [5] D.G. Pimenta, J. Amon Filho, "Configuration of Subroutine MODELS of ATPDraw in Transient Recovery Voltage (TRV) Studies for Circuit Breakers", International Conference on Power Systems Transients (IPST'05) in Montreal, Canada, IPST05-205-20d, June, 2005.
- [6] IEEE Std C37.41-2000, "IEEE Standard Design Tests for High-Voltage Fuses, Distribution Enclosed Single-Pole Air Switches, Fuse Disconnecting Switches, and Accessories", January, 2000.