

배전계통에 초전도 한류기 적용시 전류제한특성

김진석*, 임성훈*, 안재민*, 문종필*, 김재철*, 김철환**, 현옥배***
 송실대*, 성균관대**, 한국전력연구원***

Limiting Current Characteristics using Superconducting Fault Current Limiter in Power System

Jin-Seok Kim*, Sung-Hun Lim*, Jae-Min Ahn*, Jong-Fil Moon*, Jae-Chul Kim*, Chul-Hwan Kim**, Ok-Bae Hyun***
 SoongSil University*, SungKyunKwan University**, Kepri***

Abstract - The increase of fault current due to larger power demand has caused the capacity of power machines in grid to increase. To protect the power system effectively from the increased fault current, the superconducting fault current limiter (SFCL) have proposed one of several countermeasures.

Therefore, to introduce SFCL into power distribution system, the position of SFCL in power distribution system is selected among some cases. Each position changes fault current limiting characteristics and SFCL's requirement. In this paper, the characteristics of limiting fault current according to installed SFCL's location in power distribution system.

1. 서 론

전력기기의 종류 및 사용의 확대와 기기용량 증가로 수요가 많아지면서 전력계통의 용량 역시 점차 증가하여 안정적인 계통의 운영 방안으로 계통간의 연계를 통한 방법을 선택하고 있다. 이러한 계통의 운영은 공급측면에 긍정적이지만 고장시 고장전류가 증가하게 된다. 이 고장 전류가 계통에 설치되어있는 전력기기의 용량을 초과하여 계통에 악영향을 미치게 된다. 이러한 계통의 효과적인 운영을 위하여 고장 발생시 고장전류를 감소시키고 연계운영에 변화가 없는 방안으로 초전도한류기에 대한 연구가 진행중이다[1].

초전도 한류기의 특징으로 고장전류를 빠르게 감지하고 제한함으로써 기존에 계통에 설치되어있는 보호기기의 부담을 감소시키며, 계통 연계에 효과적인 운영을 가능하게 한다.

본 논문에서는 배전계통에 초전도한류기를 적용시 설치하는 위치에 따라 고장전류가 제한되는 특징과 초전도한류기의 영향에 대하여 분석하였다.

2. 본 론

2.1 동작원리

고장전류를 제한하기 위한 초전도한류기는 다양한 종류가 있지만, 그 중에 가장 기본적이고 광범위하게 사용되는 저항형 초전도한류기가 있으며, 동작원리는 식 (1)과 같은 수식에 의하여 동작하게 된다.

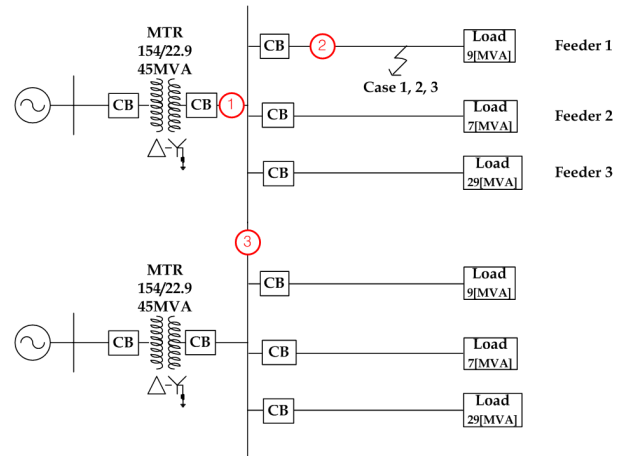
$$R(t) = \begin{cases} 0 & (t < t_0) & (1.1) \\ R_n \left[1 - \exp\left(-\frac{t-t_0}{T_F}\right) \right]^{\frac{1}{2}} & (t_0 \leq t < t_1) & (1.2) \\ a_1(t-t_1) + b_1 & (t_1 \leq t \leq t_2) & (1.3) \\ a_2(t-t_2) + b_2 & (t_2 \leq t) & (1.4) \end{cases}$$

여기서 R_n 은 퀀치발생시 수렴하는 상전도 저항이며, T_F 는 시정수, t_0 , t_1 , t_2 는 각각 퀀치 발생시간, 1차 회복시작 시간, 2차 회복시작 시간을 의미한다. 초전도한류기의 동작은 고장발생 전과 후로 나눌 수 있다. 고장발생 전에는 초전도 상태로 영저항을 유지하지만 고장이 발생하여 고장전류가 초전도 소자의 임계전류를 초과하면 퀀치가 발생하고 식(1.2)에 의하여 초전도 소자는 R_n 에 수렴하는 상전도 저항을 발생하게 되어 초전도한류기는 고장전류를 제한하는 특징을 나타낸다. 반면에 고장이 제거된다면 식(1.3)과 식(1.4)를 따라서 1차 회복을 하다가 일정한 저항값까지 회복을 하면 다른 회복속도로 2차 회복을 하여 초전도 상태로 돌아오는 동작을 하게 된다[2-4]. 본 논문에서 사용된 초전도한류기의 사양은 표1과 같다.

2.2 배전계통의 모델링

본 논문에서 초전도한류기를 적용하기 위한 배전계통을 모델링하였다. 배전계통은 초전도한류기의 적용 위치에 따른 고장전류제한 특성을 알아보기 위하여 변압기, 차단기 및 연계선로를 이용하여 그림 1과 같이 구성하였다[5].

모델링한 배전계통의 전체 부하용량은 45[MVA]이고, 피더 1에 9[MVA], 피더 2에 7[MVA], 피더 3에는 부하를 집중시켜 29[MVA]를 적용하였다. 이 배전계통을 이용하여 초전도한류기를 3가지 경우에 적용하였으며, 적용위치에 따라 단일 배전계통과 연계되는 배전계통으로 나눌 수 있다. 단일 배전계통에서는 변압기 2차측과 피더 1의 차단기 뒤에 설치하는 경우가 있으며, 배전계통이 연계 운영될 때 계통 사이를 연결하는 선로에 설치하는 방법이 있다. 이때 각 설치점에 따라서 고장발생시 초전도한류기에 의한 고장전류제한 특성을 보고자한다.

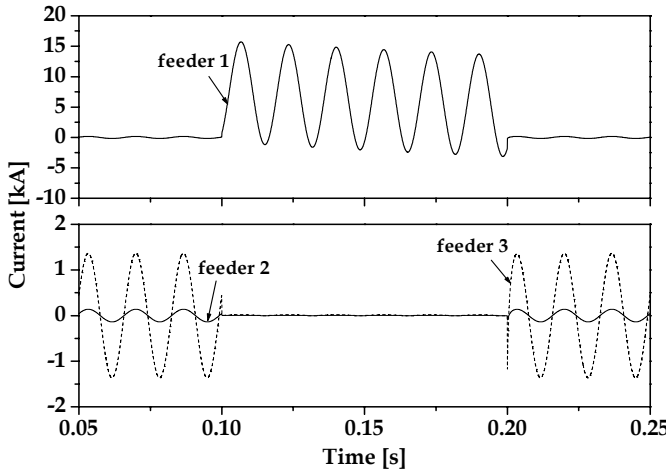


<그림 1> 배전계통 모델링

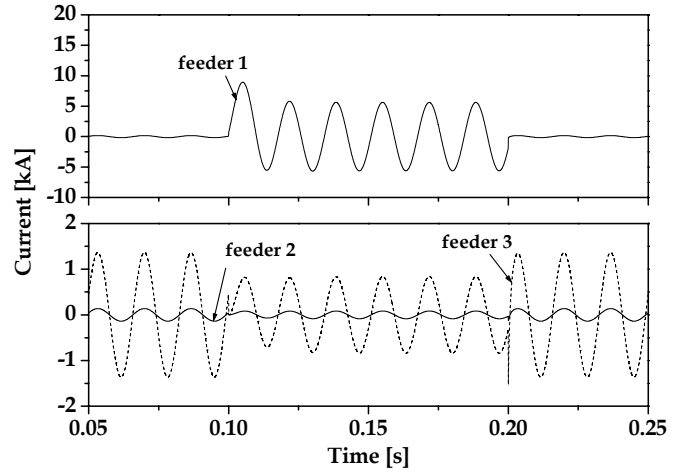
2.3 실험 결과

실험은 초전도한류기를 설치점 1~3의 각각 위치에 설치하였을 때 피더 1에 0.1[sec]의 1선 지락고장을 발생할 경우 고장이 발생한 상에 대해 각 피더에 흐르는 전류의 특징을 알아보았다. 그림 2는 배전계통에 초전도한류기를 설치하지 않았을 경우 피더 1에서 고장이 발생할 때 나타나는 전류파형이다. 이때 고장선로의 고장전류는 최대 15.7[kA]가 발생한다. 반면에 초전도한류기를 변압기 2차측에 설치하였을 때 변압기 2차측 이후에서 고장이 발생한다면 초전도한류기는 동작하여 고장전류를 제한하게 된다. 그림 3은 초전도한류기를 변압기 2차측에 설치하고, 설치점 이후의 피더 1에서 고장이 발생한 경우로 그림 2와 비교하면 초전도한류기에 의하여 고장전류가 제한되는 것을 확인할 수 있다.

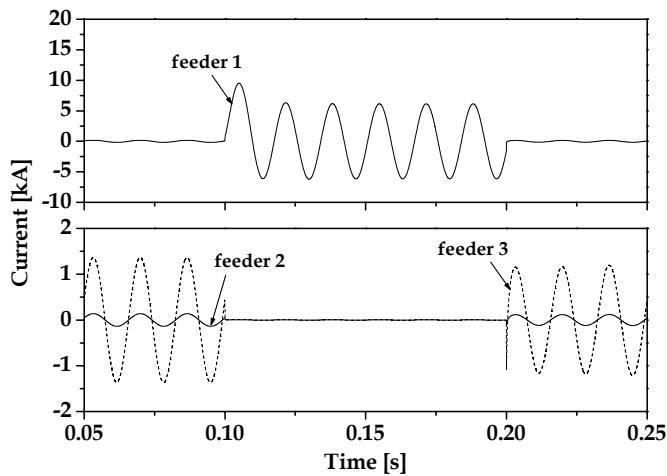
그림 4는 두 번째 경우로 초전도한류기를 고장선로인 피더 1에 설치하였을 경우이다. 고장선로에 설치하여 초전도한류기는 설치선로인 피더 1에 대한 고장에 대해 동작하는 것을 알 수 있다. 고장전류가 제한되는 특징은 변압기 2차측에 설치한 경우와 비슷한 결과를 가지는 것으로 나타난다. 하지만 앞의 두 경우의 결과와 비슷한 결과를 보이지만, 초전도한류기를 변압기 2차측에 설치하는 경우와 피더측에 설치되는 초전도한류기는 고려해야 할 고장범위가 다르다. 변압기 2차측에 설치되는 경우에는 모든 피더의 고장형태에 대한 고장전류에 대해 고려되어야 하지만 피더측에 설치되는 초전도한류기는 피더에 대해서만 설계되는 다른점을 가지게 된다. 또한 변압기 2차측에 설치하는 경우에 고장선로와 인근선로가 제약없이 모선을 공유하기 때문에 고장영향이 인근선로에 그대로 미치게 되지만, 피더측에 설치하는 경우에는 고장선로에서 초전도한류기



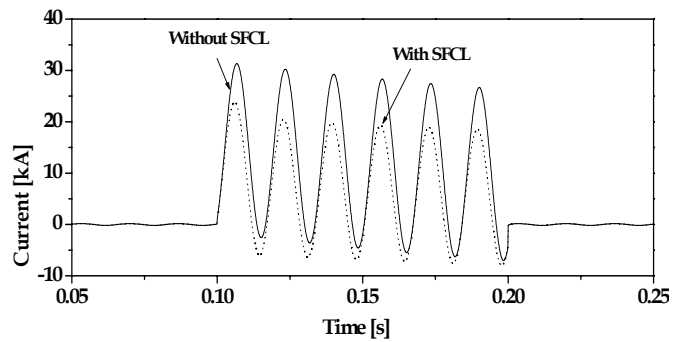
<그림 2> 한류기 미설치시 고장전류



<그림 4> case2로 피더 1에 SFCL을 설치한 경우



<그림 3> case1로 변압기 2차측에 SFCL을 설치한 경우



<그림 5> case3으로 연계선로에 SFCL을 설치한 경우

가 제한을 하므로 인근선로에 미치는 영향을 감소시키는 작용도 한다. 그림 5는 배전계통을 연계하여 운영할 때 두 배전계통을 연결하는 선로에 초전도한류기를 설치하였을 경우의 고장전류 파형이다. 연계운동을 할 때 초전도한류기가 없을 경우 고장이 발생한다면, 연계된 배전계통의 전원에서도 고장점에 영향을 미치므로, 단일 배전계통의 고장전류 ($I_{peak}=15.7[kA]$)보다 연계된 배전계통의 고장전류($31.33[kA]$)가 증가하는 것을 볼 수 있다. 이때 연계계통의 영향을 줄이고자 연계선로에 초전도한류기를 설치할 수 있다. 그러면 고장전류는 $23.83[kA]$ 으로 제한되는 것을 확인할 수 있다. 하지만 이 위치에 초전도한류기가 설치되어도 고장선로에서 보이는 고장전류는 단일 배전계통의 고장전류 보다 증가하므로 초전도한류기에 대한 의미가 사라지게 된다. 따라서 이 위치에서는 고임피던스를 가지는 초전도한류기와 앞의 두 경우의 설치점에 추가적인 초전도한류기의 설치가 필요하게 된다. 앞의 실험결과를 정리하면 표2와 같다.

<표 1> 실험결과

설치위치	고장전류 제한효과	특징
case1	우수함	모선 및 모든 피더 고장 전류제한 인근선로에 직접 영향
case2	우수함	모선 고장전류제한 못 함 인근선로 영향 감소
case3	의미없음 (고장전류증가)	고임피던스 필요 추가 초전도한류기 필요

3. 결 론

본 논문에서는 배전계통에 초전도한류기 적용시 배전계통의 구성에 따라서 초전도한류기의 적용 위치가 달라질 수 있고, 이에 대해 고장전류의 제한특징이 달라지는 것을 확인하였다. 또한, 설치위치에 따라 초전도한류기에 고려해야할 사항도 달라지는 것 확인하였다. 본 논문은 초전도한류기의 설치위치에 따른 고장전류의 제한특징을 알아보았지만 앞으로 설치위치에 따른 고장전류의 제한으로 인한 보호기기와 협조관계를 검토하는 단계를 수행할 예정이다.

[감사의 글]

"본 연구는 21세기프론티어 연구개발사업인 차세대초전도응용 기술개발 사업단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다."

[참고 문헌]

- [1] 김준환, 이강완, "전력계통 고장전류 증대와 대응방안", 전기저널, pp.19-31, 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] 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
- [5] 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.