

배전 시스템에서의 저항형 초전도 한류기 파라미터 산정 방법

허태전*, 배형택**, 박민원***, 유인근*
 *창원대학교, **한국전력공사, ***차세대초전도응용기술개발사업단

Assessment of Parameters for the Resistive type Superconducting Fault Current Limiter in Distribution System

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

Abstract - Since the discovery of the high-temperature superconductors, many researches have been performed for the practical applications of superconductivity technologies in various fields. As results, significant progress has been achieved. Especially, Superconducting Fault Current Limiter (SFCL) offers an attractive means to limit fault current in power systems. In order to verify the effectiveness of the SFCL, in this paper, the analysis of fault current and voltage stability assessment in a distribution system are studied using the EMTDC based simulation method in which a novel component for a resistive type of SFCL is presented. Through the simulation, the most suitable SFCL's application point is selected and the assessment method for the parameters of the SFCL is also recommended.

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

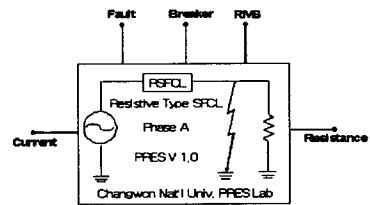


그림 1. 한류기 컴포넌트

그림 2의 (a)는 저항형 초전도 한류기의 특성곡선을 나타내고, 그림 2의 (b)는 한류기의 임피던스 성분에서 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.

1. 서 론

전력계통에서 전력수요가 증가하게 되면 이에 대응하여 전원 및 설비의 증설이 이루어지고, 계통의 등가 임피던스가 점점 작아져서 고장전류가 증가하게 된다. 고장전류에 대한 대처방안으로 현재에는 주로 대용량의 차단기로서의 교체와 모션분리 등이 행해지고 있으나 앞으로는 최근의 고온 초전도 기술발전에 따라 개발이 활발히 진행되고 있는 고온초전도 한류기가 증가하는 고장전류에 대처할 유력한 전력기기로 부각되고 있다[1].

초전도 한류기는 계통에서 부가적인 임피던스 없이 작동이 가능하고, 계통을 감시하는 시스템이나 별도의 측정기기 없이 고장전류 검출이 가능하며, 보호시스템의 한계를 넘어서 고장전류가 발생하는 계통에 대해서도 사용이 가능하다[2].

본 논문에서는 부하에 설치된 한류기의 적정 임피던스 값 산정을 위하여 22.9kV 배전계통에서 부하의 1선 지락 사고 시 부하측에 설치된 저항형 고온초전도 한류기의 임피던스 값에 따른 고장전류 제한효과와 이에 따라 동일 변압기를 사용하는 타 부하의 전압강하 영향을 분석하였다.

2. 저항형 초전도 한류기 컴포넌트

PSCAD/EMTDC를 이용하여 개발된 저항형 초전도 한류기 컴포넌트는 사고 시 고온 초전도체의 쿼치 특성과 고장의 제거로 계통의 전류가 임계전류 이하가 되면 초전도 상태로 복귀하게 되는 회복특성을 반영하여 모델링 되었다. 그림 1은 모델링 된 저항형 초전도 한류기 컴포넌트를 나타내고, 초전도체의 저항은 식 (1)과 같이 나타낸다.

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

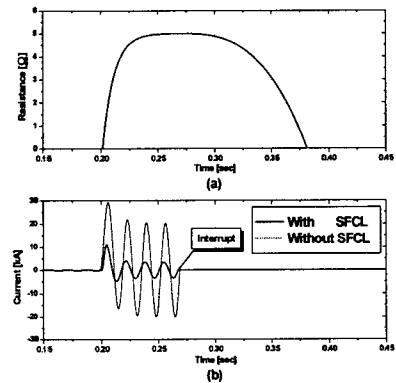


그림 2. 저항형 초전도 한류기의 특성곡선과 한류효과

3. 시뮬레이션

본 연구에서는 저항형 초전도 한류기 컴포넌트를 22.9 [kV] 배전계통에 적용하여 시뮬레이션을 수행하였다.

그림 3은 한류기를 적용한 배전계통의 개념도를 나타낸 것이다. 전원에 154/22.9 [kV], 60 [MVA]급의 용량을 가진 변압기 3기와 각각의 변압기에 2~4개씩 총 10개의 부하가 연결되어 있는 형태로 구성되어 있고, (가) D/L과 (나) D/L의 소비전력은 각각 3500[kW], 7300[kW]이다. 부하의 1선 지락사고에 대하여 한류기의 적용 위치에 따라 CASE 1(전원측), CASE 2(변압기의 2차측), CASE

3(부하측)로 나누어 시뮬레이션을 수행한 결과 CASE 3 지점에 직접 한류기를 적용하는 것이 고장전류의 제한과 타 부하의 전압안정도 측면에서 가장 우수한 것으로 나타났다. 따라서 본 논문에서는 CASE 3지점을 대상으로 저항형 초전도 한류기의 상전도 저항 값에 따라 (가) D/L과 (나) D/L에 같은 방법으로 시뮬레이션을 수행하여 고장전류와 사고가 발생하지 않은 타 부하의 전압강하 영향을 분석하고, 저항형 초전도 한류기의 적정 저항 값 산정 방법을 제시하고자 한다.

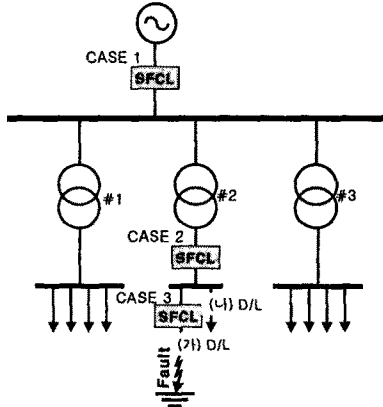


그림 3. 시뮬레이션 개념도

계통의 사고발생 시간은 시뮬레이션 시작 후 0.2 [sec], 사고지속 시간은 0.3 [sec]으로 설정하였고, 저항형 한류기의 상전도 저항 값은 0~10 [Ω]까지 0.5 [Ω] 단위로 변화시켜가며 시뮬레이션을 수행하였다.

4. 시뮬레이션 결과

4.1. (가) D/L의 1선 지락사고

그림 4는 한류기가 적용되지 않은 경우의 (가) D/L의 고장전류와 (나) D/L의 전압 파형을 나타낸다. 고장전류의 최대치는 29.22 [kA], (나) D/L의 전압은 2.76[kV]로 정상상태에 비하여 약 87 [%]의 전압강하가 발생하였다.

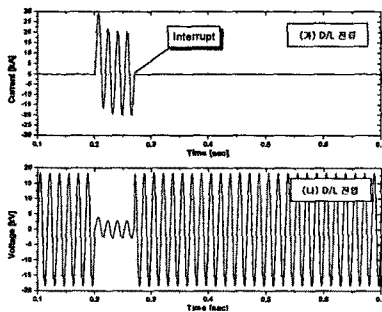


그림 4. (가) D/L 전류, (나) D/L 전압 파형

그림 5는 상전도 상태 한류기의 저항이 1[Ω]인 경우의 저항곡선과 (가) D/L의 고장전류, (나) D/L의 전압 파형을 나타내고 있다. 고장전류의 최대치가 21 [kA], (나) D/L의 전압강하 비는 49 [%] 정도로 나타났다.

그림 6은 상전도 상태 한류기의 저항이 5[Ω]인 경우의 결과 그래프이다. 고장전류의 최대치가 11 [kA]로 나타나 한류기가 없는 경우 고장전류보다 60 [%] 이상 감소하였고, (나) D/L의 전압강하 비는 87 [%]에서 4[%]로 감소하였다.

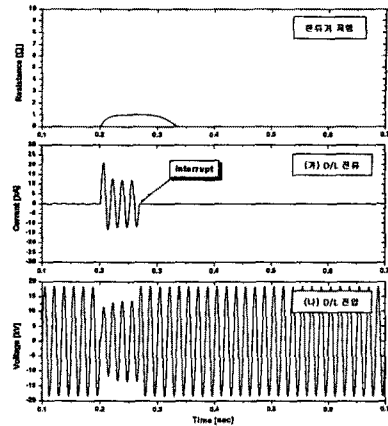


그림 5. 한류기의 저항이 1[Ω]인 경우의 전류, 전압 파형

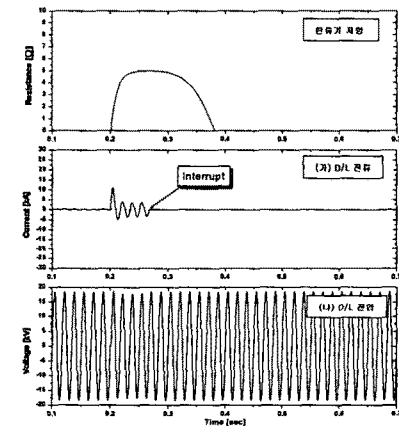


그림 6. 한류기의 저항이 5[Ω]인 경우의 전류, 전압 파형

4.2. (나) D/L의 1선 지락사고

(가) D/L의 1선 지락사고와 마찬가지로 (나) D/L에 관하여서도 같은 방법으로 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 7은 한류기가 적용되지 않은 경우의 (나) D/L의 고장전류와 (가) D/L의 전압 파형을 나타낸다. 고장전류의 최대치는 23.95 [kA], (나) D/L의 전압은 4.49 [kV]로 정상상태에 비하여 약 76 [%]의 전압강하가 발생하였다.

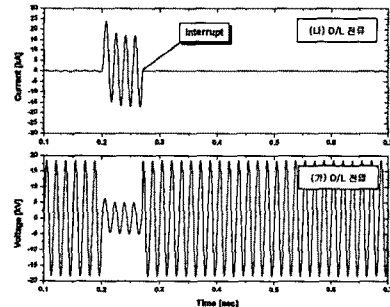


그림 7. (나) D/L 전류, (가) D/L 전압 파형

그림 8은 상전도 상태 한류기의 저항이 1[Ω] 인 경우의 저항곡선과 (나) D/L의 고장전류, (가) D/L의 전압파형을 나타내고 있다. 고장전류의 최대치가 18.2 [kA], (가) D/L의 전압강하 비는 약 41 [%]로 나타났다.

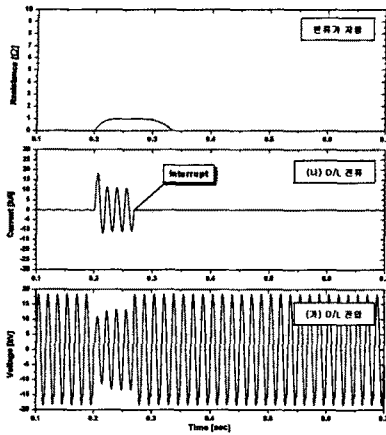


그림 8. 한류기의 저항이 1[Ω] 인 경우

그림 9는 상전도 상태 한류기의 저항이 5[Ω] 인 경우의 저항곡선과 (나) D/L의 고장전류, (가) D/L의 전압파형을 나타내고 있다. 고장전류의 최대치가 10.24 [kA]로 나타나 한류기가 없는 경우 고장전류보다 57 [%] 이상 감소하였고, (나) D/L의 전압강하 비는 76 [%]에서 5[%]로 감소하였다.

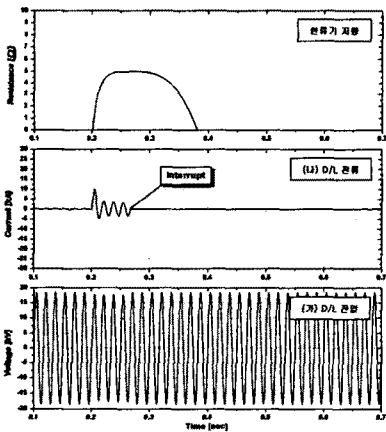


그림 9. 한류기의 저항이 5[Ω] 인 경우

그림 10은 (가) D/L 1선 지락사고 시 초전도 한류기의 저항 값에 따른 고장전류와 (나) D/L의 전압을 나타낸 것이고, 그림 11은 (나) D/L 1선 지락사고의 경우를 나타낸다. 두 그래프 모두 저항형 초전도 한류기의 저항이 증가함에 따라 고장전류 제한 효과는 커지지만 저항의 증가 분에 비하여 얻을 수 있는 효과는 점차 줄어들게 되고, 이에 비례하여 타 부하의 전압회복 수치 역시 저항의 증가 분에 비하여 얻을 수 있는 효과가 점차 감소하는 것으로 나타났다. 또한, 초전도체의 저항성분이 매우 크게 되면 상전도 상태에서 다시 초전도 상태로 회복하게 되는 시간이 길어져 차단기의 재폐로 시간을 초과하게 되므로 사고가 제거되고 차단기가 재폐로 된 이후에도 저항형 초전도 한류기의 저항성분으로 인해 시스템의 전압강하를 초래하게 된다.

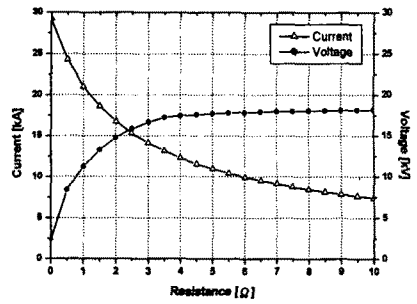


그림 10. (가) D/L 1선 지락사고

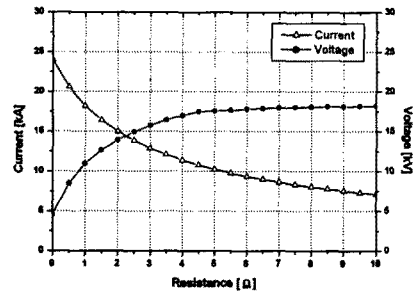


그림 11. (나) D/L 1선 지락사고

5. 결 론

본 논문에서는 고장전류 저감과 고장전류에 따른 계통의 전압강하를 최소화 할 수 있는 저항형 초전도 한류기의 적정 임피던스 값의 산정을 위해 저항 값을 가변하며 시뮬레이션을 수행하였다.

시뮬레이션 결과 저항형 초전도 한류기의 배전계통 적용 시 한류기의 상전도 저항이 클수록 고장전류의 제한과 타 부하의 전압안정도 확보에 효과적이었으나, 저항의 증가 분에 비하여 얻을 수 있는 효과는 점차 줄어들게 되는 것으로 나타났다. 그리고 저항 값이 필요이상으로 커지면 그에 따른 한류기의 회복시간이 길어져 계통에 악영향을 미치는 것으로 나타났다.

따라서, 저항형 초전도 한류기의 적절한 파라미터 산정을 위해서는 차단기의 용량과 적정 계통에 따른 전압 유지기준 뿐만 아니라 초전도체의 종류별 특성에 따른 회복시간까지 고려해야 함을 알 수 있었다.

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발 사업인 차세대 초전도 응용기술 개발 사업단의 연구비 지원과, 과학기술부·한국과학재단 지정 창원대학교 공작기계 기술연구센터의 일부지원에 의해 수행되었음.

(참 고 문 헌)

- [1] 김용학, 윤용범, 최효상, 현옥배, "전력계통에서의 초전도 한류기 설치를 위한 기초적 연구", 한국 초전도·저온공학회는 문지, 4권, 2호, pp.38-40, 2002
- [2] J.D.Lee, M.Park and I.K.Yu, "Formula based modeling of resistive type superconducting fault current limiter using PSCAD/EMTDC", ICEE 2002, 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