

초전도 한류기 회복특성에 따른 재폐로 차단기 동작 연구

이상봉*, 김철환*, 김규호**, 김재철***, 현옥배****
 성균관대학교*, 안산공과대학**, 송실대학교***, 한전전력연구원****

A Study on Recloser Operation According to Recovery Characteristics of Superconducting Fault Current Limiter

Sang-Bong Rhee*, Chul-Hwan Kim*, Kyu-Ho Kim**, Jae-Chul Kim***, Ok-Bae Hyun****
 Sungkyunkwan University*, Ansan College of Technology**, Soong-Sil University***, KEPRI****

Abstract - For proper application and operation of a SFCL(Superconducting Fault Current Limiter), the prior investigation of fundamental characteristics and its effects to the distribution systems are needed. In this paper, the resistive type SFCL and recloser were developed by using EMTP/ATPDraw and MODELS language. To analyze the effect of recovery characteristics of SFCL according to recloser operation in distribution systems, case studies have been simulated and investigated.

1. 서 론

초전도 한류기의 고장전류 제한 동작은 한류기에 사용된 초전도체의 초전도 상태에서 상전도체 전이시 나타나는 퀘칭(quenching) 특성, 상전도 상태에서 초전도 상태로의 복귀시 회복(recovery) 특성에 의해 결정된다. 이러한 특성의 변화에 따라 고장시 계통의 제한전류 특성 또한 변하며 초전도 한류기가 적용된 계통에서의 영향도 다르게 나타나게 된다 [1]. 초전도 한류기의 퀘칭, 회복에 따른 기존의 연구는 미흡한 상태이며 주로 초전도 한류기의 모델링 및 동작특성에 관한 것이 주로 연구되어져 왔다. 특히, 회복특성에 따른 계통내 타 보호기기의 영향에 관한 연구 역시 미흡한 상태이다. 따라서, 배전계통에 초전도 한류기를 적용하기 위한 선행연구로 초전도 한류기의 회복에 따른 계통영향 분석이 필요하다.

재폐로 차단기는 배전계통에서의 가장 중요한 보호기기이며 특히, 계통의 사고가 거의 대부분 일시사고인 점을 고려하면 가장 효과적인 보호기기이다. 따라서, 초전도 한류기의 계통 적용시 계통의 보호협조를 위해서는 우선적으로 재폐로 차단기와의 보호협조 분석이 우선시 되고 있으며 그리고 두 기기 간의 정확한 동작 분석과 다양한 계통 연구가 필요한 실정이다[2,3].

본 논문에서는 향후 배전계통에서의 초전도 한류기 적용 시 발생할 수 있는 문제점을 확인하고자 배전계통에서의 중요 보호기기인 재폐로 차단기와의 상호 영향을 초전도 한류기의 회복특성을 중심으로 분석하고 모의시험 하였다.

신뢰성 있는 정확한 계통 영향 분석을 위해 과도해석 프로그램인 Electro-Magnetic Transients Program(EMTP)을 사용하였으며 초전도 한류기 그리고 재폐로 차단기의 동작특성을 구현하기 위하여 EMTP내의 프로그래밍 언어인 MODELS를 이용 하였다.

2. 초전도 한류기 동작 특성

2.1 초전도 한류기

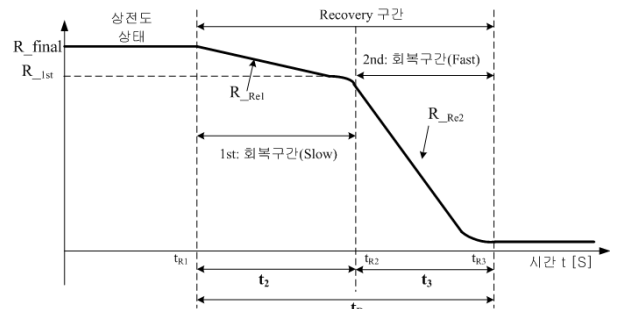
본 연구에서는 초전도 한류기중 저항형을 고려하였다. 저항형 초전도 한류기는 계통의 사고 발생시 사고전류의 증가로 인한 초전도체의 온도 상승으로 저항값을 갖게 되어 상전도체로의 전이를 시작한다. 초전도체가 상전도체화 되는 특성을 퀘칭(quenching) 특성이라 반대의 경우를 회복(recovery) 특성이라 한다. 일반적으로 초전도 한류기는 퀘칭 완료 시간이 회복 완료시간 보다 상당히 짧은 특성을 갖는다. 따라서 본 연구에서는 회복특성과 재폐로 차단기의 재폐로 시간과의 영향을 분석하였다.

2.2 초전도 한류기의 회복특성

초전도 한류기의 회복 특성을 결정하는 중요 요소는 상도체화 되어 있는 도체를 다시 초전도체로 변화시키기 위한 냉각 특성이며 일반적으로 퀘칭시간 보다 상당히 길다고 알려져 있다. 초전도 한류기의 배전 계통 적용에 있어서 회복 특성의 영향 분석이 중요하며 이는 기존 보호기기인 재폐로 차단기등의 재폐로시간과 같은 동작특성까지 고려해야 하기 때문이다. 즉, 회복시간이 재폐로시간 보다 늦어질 경우 초전도체로

완전히 전이하지 못해 초전도 한류기가 임피던스를 갖고 있는 경우 정상 전류까지 제한하게 된다.

본 논문에서의 초전도 한류기 회복 특성은 그림 1과 같이 단계별 회복 특성을 갖도록 모델링 하였다.



<그림 1> A Recovery Characteristic of SFCL

따라서, 초전도 한류기의 전체 회복특성 저항식 $R(t)$ 는 퀘칭 특성에서의 수식화와 같이 식 (1)로 표현할 수 있다[4].

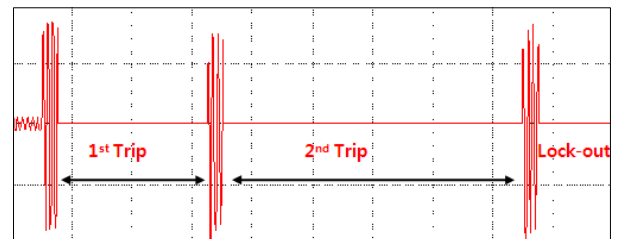
$$R(t) : \begin{cases} R_{final} & : t < t_{R1} \\ R_{Re1} = R_{final} e^{-Bt} & : t_{R1} \leq t \leq t_{R2} \\ R_{Re2} = R_{1st} e^{-Ct} & : t_{R2} \leq t \leq t_{R3} \end{cases} \quad (1)$$

여기서, B, C, R_{Re1} , 그리고 R_{Re2} 는 회복구간 중 각각 1st, 2nd 구간의 시간을 결정하는 상수, 그리고 초전도체의 저항이다. 초전도체의 전체 회복 시간은 $t_R(t_2 + t_3)$ 이다.

3. 초전도 한류기 및 재폐로 차단기 동작 특성

재폐로 차단기는 계통의 일시 고장을 제거하고자 하는 목적으로 사용되며 이를 위해 일정 시퀀스 동작에 따른 재폐로 시간을 갖는다. 이때, 재폐로 시간은 계통의 상황과 조건에 의해 결정되는데 한국전력공사의 배전운영 규칙에 의하면 1차 재폐로 시간은 0.5초, 2차는 15초로 되어 있다. 따라서 계통의 고장시 차단기는 트립되고 0.5초 지연 후 자동 투입하고 고장의 여부를 판단하여 2차 트립을 결정한다. 재폐로 횟수는 지중선로 여부에 따라 결정되며 배전의 경우 2회 재폐로를 시행한다[5].

초전도 한류기와의 보호협조에서 문제시 되는 것은 1차 재폐로 시간인 0.5초이며 그림 2에서와 같이 이 시간보다 초전도 한류기의 회복시간이 길게 되는 경우 계통에 문제점을 야기하게 된다.



<그림 2> A Recloser Operation

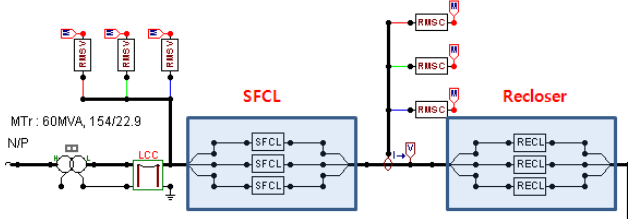
즉, 1차 재폐로 후 계통의 고장이 제거 된 경우 정상전류가 흐르는 상태

에서 초전도 한류기가 임피던스를 갖고 있는 경우 계통의 정상 전류도 제한하게 됨을 예상 할 수 있다.

4. 사례 연구

4.1 초전도 한류기 및 재폐로 차단기 모델링

사례연구를 위해 그림 3에서와 같이 초전도 한류기 및 재폐로 차단기를 EMTP/ ATPDraw와 MODELS를 이용하여 sub network로 구현하였다.



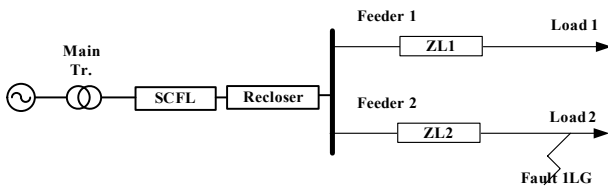
〈그림 3〉 Modeling of SFCL and Recloser

4.2 모의 계통

초전도 한류기를 적용하기 위한 배전계통은 그림 4와 같은 데이터는 다음과 같다.

- 주변압기 : 154/22.9[kV-Y], 40/60[MVA], %Z=20, Delta-Wye
- 선로 (Z_{L1}) : 4[km], $Z_{L1} = 0.217 + j0.447[\Omega/km]$
- 선로 (Z_{L2}) : 4[km], $Z_{L2} = 0.294 + j0.513[\Omega/km]$
- 부하 : Load 1 (18 + j8.9[MVA])
Load 2 (9 + j4.7[MVA])

초전도 한류기는 주변압기 2차측에 설치하여 사고 발생시 고장 전류를 제한하도록 하였으며 저항형으로 모델링하였고 재폐로 차단기는 초전도 한류기 다음에 설치하였다. 계통사고는 feeder 2 부하측에서 1선지락의 일시고장을 모의하였고 재폐로 차단기의 1차 트립시간 중에 고장을 제거하였다. 고장저항은 $0[\Omega]$ 으로 가정하였다.

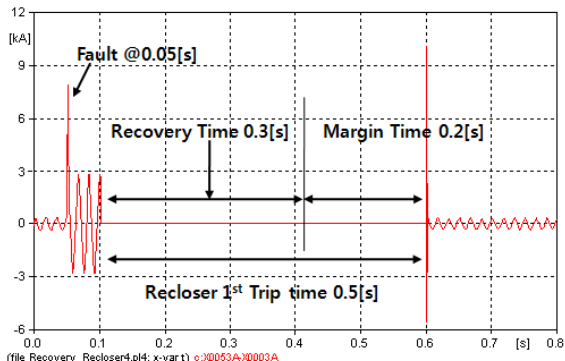


〈그림 4〉 Test Distribution System

4.3 Case Study

초전도 한류기 및 재폐로 차단기의 상호 동작을 확인 하고자 다음과 같은 경우에 대하여 모의 하였다.

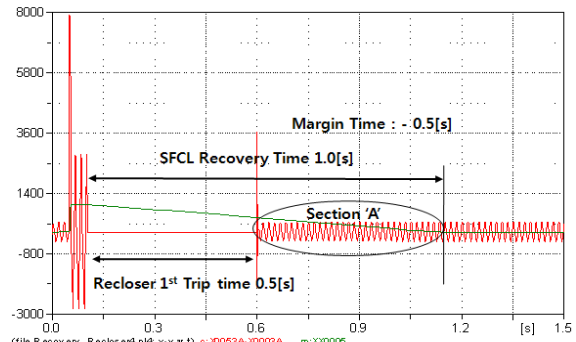
- Case A : 1차 재폐로시간(0.5초)이 초전도 한류기의 회복시간(0.3초)보다 긴 경우 (일시고장 : 1차재폐로시간 내 고장제거)
- Case B : 1차 재폐로시간(0.5초)이 초전도 한류기의 회복시간(0.7초)보다 짧은 경우 (일시고장 : 1차재폐로시간 내 고장제거)



〈그림 5〉 Result of Case A

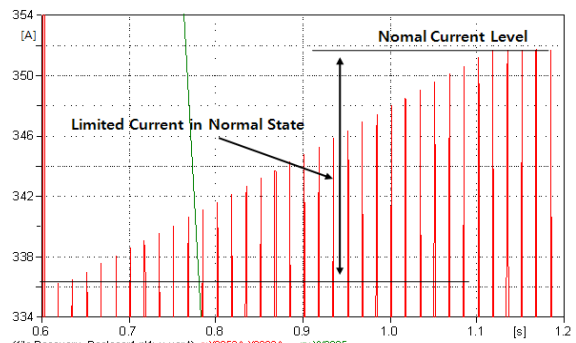
그림 5는 case A의 사례연구 결과이며 경우이며 초전도 한류기의 회복 완료후 재폐로 차단기가 동작하므로 (margin time : 0.2[s]) 재폐로 차단기의 재투입 후 정상 전류의 영향을 없게 된다. 그러나 그림 6에서와 같이 case B의 경우에 있어서는 초전도 한류기가 회복되기 이전에 재폐로 차단기가 동작하므로 고장이 제거되어 정상운전 상태임에도 초

전도 한류기의 저항값이 계통에 투입되는 결과를 확인할 수 있었고 이로 인해 정상전류의 크기에도 영향을 미치게 된다.



〈그림 6〉 Result of Case B

그림 7은 그림 6의 section A부분을 확대하였는데 초전도 한류기의 회복이 늦음으로 인해 정상전류의 제한이 발생함을 알 수 있다. 제한되는 전류의 값은 정상전류 대비 약 5% 미만이지만 초전도 한류기의 상전도시 최종 저항값이 커지면 제한값도 증가하게 됨을 예상 할 수 있다. 또한, 초전도 한류기의 동작에 있어서 회복과정 중에는 다시 켜짐모드로 진입이 어려운 경우 초전도 한류기의 오동작을 야기하게 된다.



〈그림 7〉 Magnification of Section 'A' in Fig. 6

5. 결 론

본 연구에서는 초전도 한류기와 재폐로 차단기의 상호 동작 영향을 확인 하였다. 사례연구 결과, 초전도 한류기의 회복시간은 재폐로 차단기의 폐로시간보다 짧아야 정상적인 초전도 한류기의 동작이 가능함을 확인할 수 있었다. 또한, 초전도 한류기의 물리적 특성으로 회복과정중에 다시 켜짐이 불가능할 경우에는 초전도 한류기 및 재폐로 차단기의 오동작이 가능함을 확인 할 수 있었다.

향후연구로는 과전류 차단기등 배전계통의 기타 보호기기와의 자세한 보호 협조 연구가 필요할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 21세기프론티어 연구개발사업인 차세대 초전도응용기술 개발 사업단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

[참 고 문 헌]

- [1] Lj. Kojovic, S. Hassler, "Application of Current Limiting Fuses in Distribution Systems for Improved Power Quality and Protection", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 12, No. 2, April 1997.
- [2] Alex Y. Wh, Yuexin Yin, "Fault-Current Limiter Applications in Medium- and High-Voltage Power Distribution Systems", IEEE Trans. on Industry Application, Vol. 34, No. 1, Jan./Feb.,1998.
- [3] Michael Steurer, Klaus Frohlich, "CURRENT LIMITERS - STATE OF THE ART", Fourth Workshop & Conference on EHV Technology, July 1998.
- [4] H.-R. Kim, S.-W. Yim, S.-Y. Oh, O.-B. Hyun, "Analysis on recovery inAu/YBCO thin film meander lines", Progress in Superconductivity, Vol. 9, No.1, pp.119-125, 2007.
- [5] 한국전력공사, "변전설비 현장 가이드북", 2000