

배전계통에서의 초전도 한류기 투입 위치에 따른 영향 분석

박세호*, 방승현*, 이상봉*, 김철환*, 현옥배**
 성균관대학교* 한국전력 연구원**

Analysis of Effects According to The Position of Superconducting Current Limiter in Distribution Systems

S. H. Park*, S. H. Bang*, S. B. Rhee*, C. H. Kim*, O. B. Hyun**
 Sungkyunkwan University*, KEPRI**

Abstract - 전력계통의 단락 용량의 증가는 고장 발생 시 계통의 안정성을 저해하고 심각한 전압 강하를 유발시킨다. 계통운영을 안정적으로 도모하기 위해서는 고장 전류의 억제에 무엇보다 중요하며 초전도 한류기의 설치의 필요성에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 초전도 한류기를 계통에 적용하기 위해서는 우선 투입 시 계통에 미치는 영향의 검토가 우선되어야 한다. 본 논문에서는 EMTP-RV를 사용하여 배전 계통 및 초전도 한류기(SCFCL)를 모델링하고, 초전도 한류기 투입 위치에 따라서 계통의 영향을 모의 하고 분석 하였다.

본 논문에서는 저항형 초전도 한류기를 모델링하고 계통에 적용하였다[2].

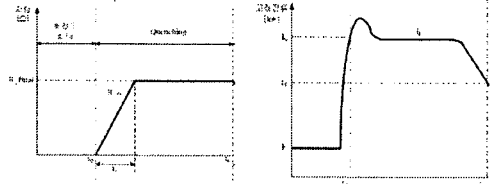
2.2.1 초전도 한류기의 켜칭 특성

초전도 상태에서 상전도 상태로 변하는 특성을 말하며, 일정 임피던스가 비선형 적으로 증가 한다. 그림 1과 2는 초전도 한류기의 일반적인 켜칭 특성 및 켜칭 임피던스의 증가에 따른 고장전류 제한 특성을 나타낸다[3].

1. 서 론

전력계통에서는 많은 단락사고가 발생하고 있으며, 전력계통에서의 단락 사고는 피할 수 없는 문제점이다. 따라서 이러한 단락 사고의 고장 전류를 제한할 수 있는 한류기술의 필요성이 요구된다[1]. 이러한 고장 전류는 송전선로뿐만 아니라 배전선로 에도 영향을 주게 되며, 배전 대응량화 추진과정 측면에서 매우 중요한 사항이다. 따라서 고장전류의 제한방법에서 변압기 임피던스에 의한 전력손실 발생이나 자체한류기 저항에 의한 손실 발생의 단점을 갖고 있던 기존 상전도 한류기의 기술적 한계를 극복한 초전도 한류기를 투입함에 따라 전력 손실 없이 고장전류를 제한할 수 있다.

따라서 본 논문에서는 EMTP-RV를 사용하여 배전 계통 모델링 및 초전도 한류기를 모델링 하여 초전도 한류기 투입 시 배전계통에 어떠한 영향을 미치는지 모의 하고 분석 하였다.



<그림 1> 켜칭특성

<그림 2> 고장전류

2. 초전도 한류기

2.1 초전도 현상

초전도 현상이란 어떤 물질이 적절한 조건하에서 물질의 전기저항이 완전히 사라지는 저항특성과 자기장을 배척하는 완전 반자성 특성을 갖게 되는 현상이다.

초전도 특성을 결정하는 요소는 다음과 같다. 계통에 적용되는 초전도 한류기의 경우에는 전류 특성이 가장 중요하다.

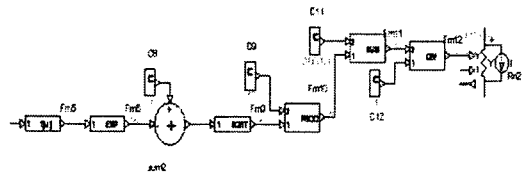
- ①온도 : 별도 냉각 장치 운용으로 제어 가능
- ②자기장 : shield casing 사용으로 영향이 거의 없음
- ③전류 : 초전도 기기의 특성 결정에 가장영향이 큼

2.2 초전도 한류기의 특성

초전도 한류기는 전류의 크기에 따라 임피던스 값이 변하는 초전도체의 특성을 이용한다. 정상 상태에서는 변류임피던스가 0이고, 고장 시 한류임피던스가 비선형적으로 증가 하여 고장전류를 일정 수준이하로 억제하게 한다. 한류 임피던스 특성에 따라 저항형과 유도형으로 구분된다.

2.3 EMTP-RV를 이용한 초전도 한류기 모델링

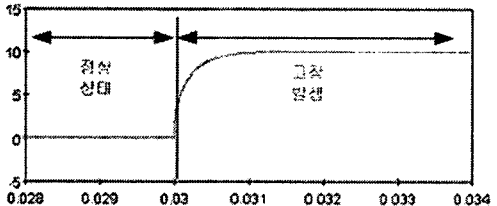
EMTP-RV를 이용한 모델링에서 초전도 한류기 소자는 컨트롤 소자를 사용하여 초전도 특성을 나타낼 수 있다[4]. 그림 3은 EMTP-RV를 이용하여 초전도 한류기를 모델링한 것이다.



<그림 3> 초전도 한류기 모델링

초전도 한류기의 켜칭 특성을 나타내기 위해 비선형 컨트롤 저항 소자를 사용 하였다.

그림 4는 모델링된 초전도 한류기의 켜칭 저항 특성이 다.



<그림 4> 켜칭 저항 특성

모델링된 초전도 한류기의 한류 임피던스 값은 $10[\Omega]$ 이고, $0.1[ms]$ 동안 저항이 비선형적으로 증가하게 모델링 하였다.

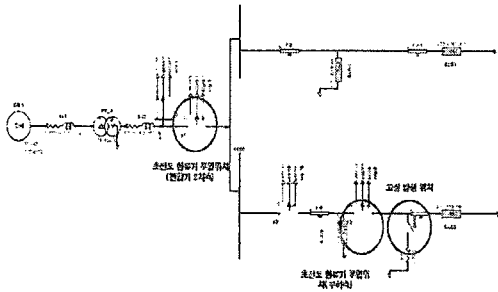
3. 모의 및 결과

3.1 모델 계통

본 논문에서는 초전도 한류기 투입 위치에 따른 계통 영향 분석을 하기 위해 일반적인 배전계통을 모델링 하였다. 대상 계통의 총길이는 상단 하단 각각 $4[Km]$ 이고, 상하단이 2단 장주로 이루어진 배전계통이며, 상단 부하는 $P=3253[kW]$, $Q=1379[kVAR]$ 이고, 하단의 부하는 $P=3403[kW]$, $Q=952[kVAR]$ 이다.

3.2 EMTP-RV 모델링

그림 5는 배전계통을 EMTP-RV를 사용하여 모델링 한 것이다. 모델은 크게 전원부와 부하측 2부분으로 이루어져 있다.



<그림 5> EMTP-RV로 모델링한 배전계통

표 1은 배전계통의 선로 임피던스를 나타낸 것이다. 상단의 선종은 EC 160×3 N 이고 하단은 EW 95×3 으로 구성하였다

<표 1> 모델계통의 선로 임피던스

선종규격	정상, 역상임피던스 [Ω/km]	영상임피던스 [Ω/km]
EC 160×3	$0.1823 + j0.39005$	$0.45533 + j1.19897$
EW 95×3	$0.30225 + j0.41438$	$0.56640 + j1.23999$

3.3 모의 및 결과

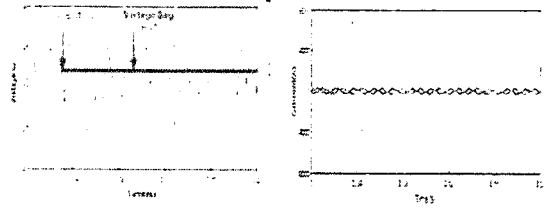
본 논문에서는 초전도 투입위치에 따른 계통영향을 분석하기 위해 다음과 같은 모의 조건을 선정하였다.

<표 2> 모델계통의 모의 조건

CASE 1	변압기 2차측에서 고장 발생과 동시에 SCFCL을 투입 시 고장전류 및 전압추정	부하측에서 고장발생과 동시에 SCFCL을 투입 시 고장전류 및 전압추정
CASE 2	변압기 2차측에서 고장 발생 반주기 후에 SCFCL을 투입 시 고장전류 및 전압추정	부하측에서 고장발생 반주기 후에 SCFCL을 투입 시 고장전류 및 전압추정

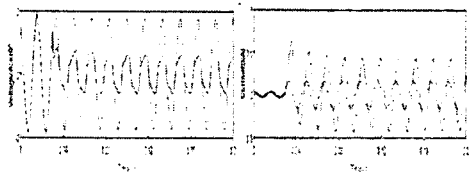
그림 5에서 고장 발생 위치는 하단이고, 변압기 2차측과 하단 부하측에 초전도한류기를 각각 투입하였다 [5][6]. 사고는 A상 1선 지락 사고이고 사고 발생 시간은 $30[ms]$ 이다.

다음 그림 6, 7은 고장전류 및 전압파형이다.

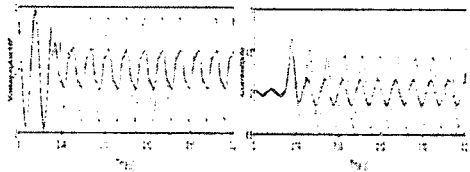


<그림 6> 고장 전압파형 <그림 7> 고장 전류파형

고장전류가 정상전류의 약20배 정도 증가를 하였고, 고장 후 전압 sag 가 발생하여 전압이 $10[kV]$ 감소하였다. 그림 8은 고장 시 변압기 2차측에 초전도 한류기를 투입한 후 전압, 전류파형을 비교한 것이다.



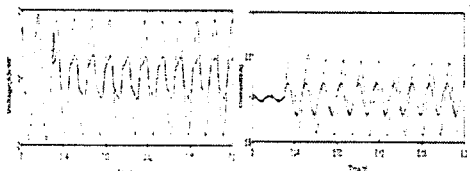
<a> 고장발생과 동시에 SCFCL 투입 시 전압 및 전류파형



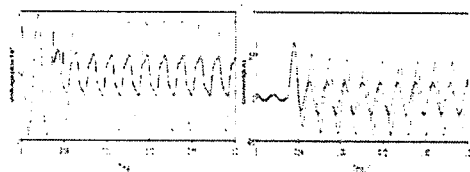
 고장발생 반주기 후 SCFCL 투입 시 전압 및 전류파형

<그림 8> 변압기 2차측에 초전도 한류기 투입 시 전압 및 전류파형

다음 그림 9는 고장 시 부하측에 초전도한류기를 투입 한 후 전압, 전류파형을 비교 한 것이다.



<a> 고장발생과 동시에 SCFCL 투입 시 전압 및 전류파형

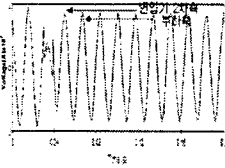
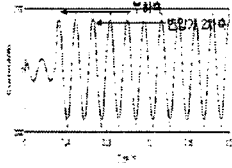


 고장 발생 반주기 후 SCFCL 투입 시 전압 및 전류파형

<그림 9> 부하측에 초전도 한류기 투입 시 전압 및 전류파형

다음 그림 10과 11은 변압기 2차측과 부하측에서 전압 및 고장전류를 비교한 파형이다.

[참 고 문 헌]



<그림 10> 고장전류 비교파형

<그림 11> 고장전압 비교파형

다음 표 3은 고장발생 1[Cycle] 후 최대 고장전류 및 전압을 정리한 것이다.

<표 3>고장 최대전류 와 전압

최대고장전류[pu]	최대고장전압[pu]
17.1	0.33

다음 표 4는 초전도 한류기 투입 위치에 따른 고장전류 및 고장전압값을 정리한 것이다.

<표 4>투입 위치에 따른 고장전류 및 전압

	고장전류[pu]	고장전압[pu]
변압기 2차측(고장 발생과 동시에 SCFCL 투입)	6.772	0.927
변압기 2차측(고장 발생 반주기 후에 SCFCL 투입)	6.724	0.921
부하측(고장 발생과 동시에 SCFCL 투입)	7.712	0.911
부하측(고장 발생 반주기 후에 SCFCL 투입)	7.682	0.907

표 3과 4에서 고장 발생 시 한류기 투입 전후를 비교하면 전압sag가 발생하고 초전도 한류기 투입 시 전압 sag가 약 3배 정도 감소하는 것을 볼 수 있다. 고장 전류의 경우도 약 3배 정도 감소하는 것을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

전력계통에서 고장 발생 시 고장전류는 송전 선로 뿐만 아니라 배전선로에도 영향을 준다. 고장 전류는 배전 계통의 각종 기기의 오동작을 발생하게 하거나 배전 대용량화에 제한을 두게 한다. 따라서 고장 전류를 제한할 수 있는 한류기의 투입이 필요하고, 투입 시 계통의 영향분석은 중요한 검토 대상이다. 본 논문에서는 이러한 영향분석을 위해 EMTP-RV를 사용하여 배전 계통과 초전도 한류기를 모델링 하고 투입 위치에 따른 영향을 분석 하였다. 초전도 한류기 투입 시 투입 위치에 따라 고장 전류의 제한과 전압sag가 감소됨을 확인 하였다. 본 논문에서의 초전도 한류기의 일반 적인 투입 위치에 대한 영향을 분석한 것으로, 다양한 위치에서의 영향 분석이 필요하다.

감사의 글
본 연구는 21세기프론티어 연구개발사업인 차세대초전도응용기술개발 사업단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.