

배전계통에서의 상전도 및 초전도 한류기 특성에 관한 연구

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

A Study of FCL and SCFCL Characteristics in Distribution System

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

**Abstract** - 현재의 전력계통은 날로 커지고 복잡해지고 있으며 이에 따라 계통의 사고발생 시 고장전류도 크게 증가하고 있다. 따라서 본 논문에서는 사고 시 큰 고장 전류를 신속하게 제거하기 위한 방법으로 한류기를 적용하고 그에 따른 계통에서의 영향을 평가하였다. 또한 계통에서 한류기의 영향을 평가하기 위해서 EMTP-RV (Electro Magnetic Transients Program - Restructured Version)를 이용하여 한류기가 투입된 22.9kV급 배전계통에서 1선 지락고장이 발생하였을 경우, 상전도 및 초전도 한류기의 특성에 따른 배전계통의 영향을 모의시험하였으며 그 결과를 분석하였다.

1. 서 론

최근 전력수요의 급격한 증가에 따라 전력계통의 규모가 더욱더 커지고 복잡해지고 있다. 이에 따라 계통의 사고 발생 시 고장전류가 크게 증가하여 차단기의 차단용량을 초과하거나 심각한 전압 강하를 초래할 수 있다. 따라서 사고의 파급을 줄이고 안정적인 전력계통의 운영을 위해서는 고장전류의 신속한 차단이 무엇보다도 우선시되어야 한다[1]. 이러한 큰 고장전류를 차단하기 위해서 차단기의 차단용량을 증가시키거나 추가로 설치하는 방법이 있으나 최근에는 한류기 도입으로 이를 개선하고자 하는 연구가 많이 진행되고 있다.

한류기는 계통의 정상상태에서 일정하게 흐르던 전류가 고장 시 큰 전류를 발생시킬 때 적절한 임피던스를 투입하여 고장전류를 일정수준 이하로 억제하도록 하는 것이다. 이러한 한류 작용에 의해 차단기로 전달되는 충격 과전압을 줄이고 다른 전력기기들의 손상을 방지함으로써 계통을 보호하고 안정적인 전력공급을 가능하게 한다. 따라서 한류기의 특성 및 계통에서의 영향을 다양하게 모의시험 및 분석 함으로써 한류기의 계통 적용이 나타날 수 있는 문제점을 미연에 방지할 필요성이 요구되어진다.

본 논문에서는 한류기의 동작특성 및 계통에서의 영향을 분석하기 위해 한류기가 적용된 22.9kV급 배전계통에서의 1선 지락고장을 EMTP-RV를 이용하여 모의시험하였다. 또한 계통의 고장 발생 시 상전도 및 초전도 한류기의 동작특성 및 계통의 영향을 비교하고 분석하였다.

2. 한류기

2.1 한류기 효과

일반적으로 한류기는 다음과 같은 효과를 가진다.

- 1) 순간 전압 강하의 감소로 계통의 안정도 향상
- 2) 차단기 및 기타 전력기기들의 내구 설계비용 절감
- 3) 케이블 및 선로의 size 감소
- 4) 단락 에너지에 의해 야기되는 선로의 단선 방지

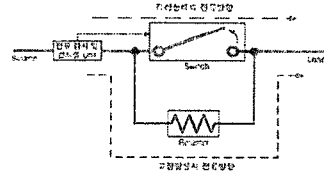
5) 큰 사고전류에 의해 야기되는 기기 파손 방지

2.2 상전도 한류기

상전도 한류기는 계통에 병렬로 연결되어 정상상태에서는 무시할 수 있을 정도의 아주 낮은 임피던스를 가지며 고장이 발생하면 고속 스위칭 동작에 의해 적절한 값의 임피던스를 계통에 투입하게 된다. 이때 투입되는 임피던스 성분에 따라 resistance 성분을 갖는 저항형 한류기와 inductance 성분을 갖는 유도형 한류기로 분류되는데, 본 논문에서는 저항형 한류기에 관한 내용을 분석하였다.

2.2.1 저항형 한류기의 기본구조 및 동작원리

저항형 한류기의 일반적인 구조는 다음 그림 1과 같다.



<그림 1> 저항형 한류기의 기본구조

정상 상태일 때의 전류는 저항과 병렬로 연결된 스위치를 통해서 흐르게 된다. 하지만 고장이 발생하면 전류값이 및 컨트롤 unit에서 고장전류를 감지하고 닫혀있던 스위치는 open시켜 고장전류를 저항 쪽으로 흐르게 함으로써 고장전류를 억제시킨다[2].

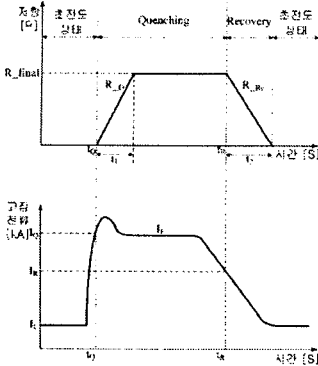
2.3 초전도 한류기

초전도 한류기는 초전도체의 특성을 이용한 것으로 계통에 직렬로 연결되어 정상상태에서는 임피던스가 거의 영(zero)이지만 임계값 이상의 고장전류가 흐르면 초전도 상태가 파괴되고 임피던스가 증가하여 고장전류를 일정수준 이하로 억제하게 된다. 초전도 한류기는 임계값 이상의 전류가 흐를 때 발생하는 임피던스 증가 성분에 따라 저항형 초전도 한류기와 유도형 초전도 한류기로 나눌 수 있는데, 본 논문에서는 저항형 초전도 한류기를 고려하였다.

2.3.1 초전도 한류기 동작특성

초전도 한류기의 동작특성은 다음 그림 2와 같다. 계통의 고장으로 인한 고장전류가 quenching 개시전류(I<sub>Q</sub>)를 넘게 되면 초전도상태가 파괴되어 quenching 상태가 되며, 초전도 한류기의 저항이 R<sub>Q</sub>에 따라서 증가하다가 시정수 t<sub>1</sub>이 지난 후에 최종 임피던스값인 R<sub>final</sub>을 갖게 된다. 또한 계통의 고장이 제거된 후 고장전류가 감소하여 recovery 개시전류(I<sub>R</sub>) 이하가 되면 초전도 한류기는

recovery 상태가 되어 일정 시정수 $t_2$  후에는 다시 초전도 상태로 복귀하게 된다[3].

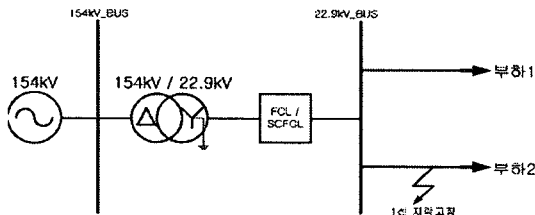


<그림 2> 초전도 한류기 동작특성

### 3. 상전도 및 초전도 한류기 모델링

#### 3.1 사고계통 모델

사고계통 모델은 다음 그림 3과 같이 154kV 등가전원과 154kV/22.9kV 변압기, 그리고 2개의 부하로 구성된 일반적인 배전계통을 모델로 하였다. 또한 시뮬레이션을 위해 한류기를 변압기 2차측에 설치하였으며 부하 2번 선로에서 1선 지락고장이 발생하는 것으로 하였다.



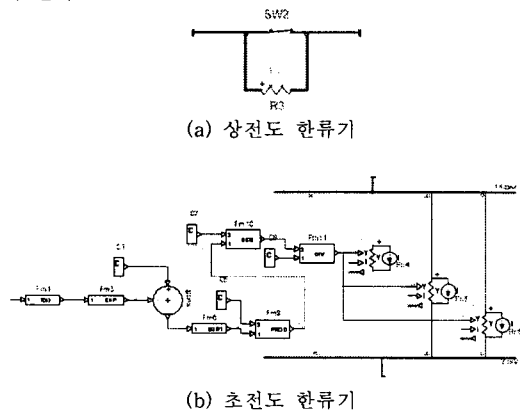
<그림 3> 한류기를 적용한 계통 모델

#### 3.2. EMTP-RV를 이용한 모델링

본 논문에서는 상전도 및 초전도 한류기, 그리고 배전계통을 EMTP-RV를 이용하여 모델링 하였으며 이를 시뮬레이션 하였다[4].

#### 3.2.1 상전도 및 초전도 한류기 모델링

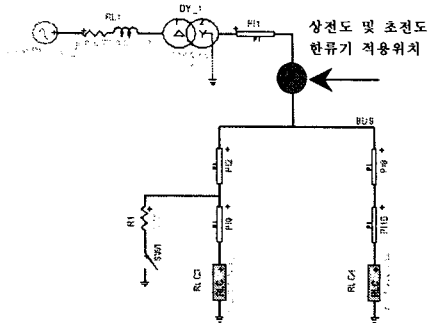
상전도 및 초전도 한류기는 모두 저항형으로 모델링 하였으며 EMTP-RV로 구현하면 다음 그림 4의 (a),(b)와 같다.



<그림 4> 한류기 EMTP-RV 모델링

### 3.2.2 사고계통 모델링

그림 3의 사고계통 모델을 EMTP-RV로 구현하면 다음 그림 5와 같다.



<그림 5> 사고계통 EMTP-RV 모델링

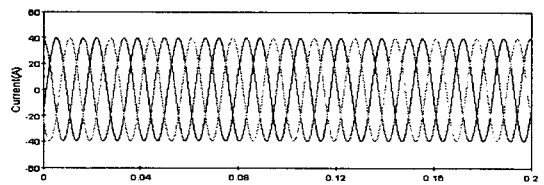
### 3.3 시뮬레이션 조건

본 논문에서는 한류기가 투입된 일반 22.9kV급 배전계통에서 1선 지락고장 발생 시 나타나는 계통영향을 시뮬레이션 하였다. 변압기 2차측에 상전도 및 초전도 한류기를 각각 투입하고 부하 2번 선로에서 A상 1선 지락고장이 발생하는 것으로 가정하였다. 한류기는 상전도 및 초전도 한류기 각각 저항형으로 하였으며, 최종 저항값은 10[Ω]으로 하였다. 고장각은 A상 전압 위상이 90°일 때로 가정 하였으며, 또한 고장각의 변화에 따른 조건으로 상전도 및 초전도 한류기의 계통에서 발생하는 영향을 비교 분석 하였다.

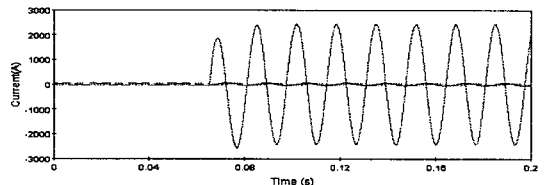
### 4. 시뮬레이션 및 결과 검토

#### 4.1 한류기 비투입시 고장전류

한류기 비투입시 A상 1선 지락고장이 발생한 계통의 고장전류 파형은 다음 그림 6과 같다. 사고가 발생한 A상의 전류파형을 보면 사고발생 후 최고 2.4[kA]의 전류값을 나타내고 있다. 이는 계통의 정상상태 일 때의 전류값인 40[A]에 비해 약 60배까지 전류가 상승한 것을 확인할 수 있다.



(a) 정상상태의 전류파형



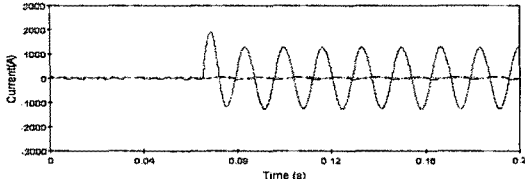
(b) 고장발생 시 전류파형

<그림 6> 한류기 비투입시 고장전류

#### 4.2 상전도 한류기 투입에 따른 고장전류

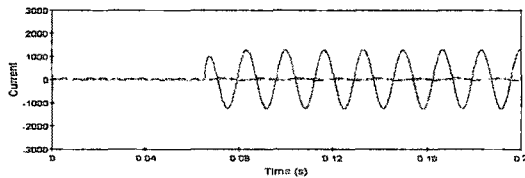
저항형 상전도 한류기의 투입에 따른 고장전류 파형은 다음 그림 7과 같다. 사고가 발생한 A상의 전류파형을

상전도 한류기 비투입시 발생한 고장전류 2.4[kA]와 비교해보면, 고장발생 직후 고장전류가 약 1.9[kA]까지 상승하였으나 약 반주기만에 1.3[kA]까지 감소하여 이후 안정된 한류전류값을 나타내는 것을 확인 할 수 있다.



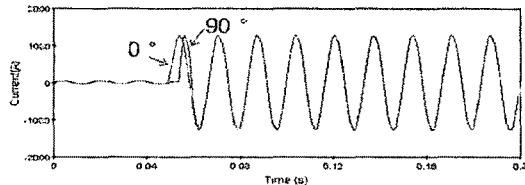
<그림 7> 저항형 상전도 한류기 투입에 따른 고장전류 파형

4.3 초전도 한류기 투입에 따른 고장전류  
 계통의 A상 1선 지락고장 발생 시 저항형 초전도 한류기의 투입에 따른 고장전류 파형은 다음 그림 8과 같다. 사고가 발생한 A상의 전류파형을 저항형 초전도 한류기 비투입시 발생한 고장전류 2.4[kA]와 비교해볼 때, 고장발생 직후 고장전류가 약 0.9[kA]까지 상승하였으나 약 반주기만에 1.3[kA]의 안정된 한류전류값을 나타내는 것을 확인 할 수 있다.

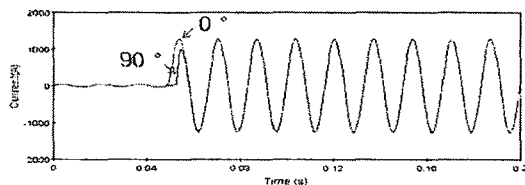


<그림 8> 저항형 초전도 한류기 투입에 따른 고장전류 파형

4.4 고장각의 변화에 따른 고장전류  
 계통에 한류기를 투입한 경우, 고장각을 A상 전압기준 0°, 90°에 대해 고장전류를 모의 하였으며 전류 파형은 다음 그림 9와 같다. 저항형 상전도 한류기를 투입하였을 경우 사고 발생 직후 전류의 최대값은 사고각이 0°, 90°일 때 각각 1.28[kA], 1.27[kA]의 값을 나타내었다. 또한 저항형 초전도 한류기를 투입하였을 경우에는 사고각이 0°, 90°일 때 각각 1.28[kA] 0.98[kA]의 최대 전류값을 나타내어 사고각 0°일 때 고장전류값이 더 크게 나타나는 것을 확인 하였다.



(a) 저항형 상전도 한류기



(b) 저항형 초전도 한류기

<그림 9> 한류기 투입 시 고장각에 따른 고장전류 파형

## 5. 결 론

본 논문에서는 일반적인 22.9kV급 배전계통에 한류기를 투입하여 1선 지락고장을 발생시켰을 경우 상전도 및 초전도 한류기의 투입으로 인한 계통에서 나타나는 영향을 EMTP-RV로 시뮬레이션 하고 그 값을 비교 하였다.

저항형 상전도 및 초전도 한류기를 계통에 투입했을 경우 그렇지 않은 경우에 비해 고장전류값이 약 1/2정도 감소한 것을 확인 할 수 있다. 이는 계통의 사고 발생 시 한류기의 투입을 통해 큰 고장전류를 일정수준 이하로 억제하는 효과가 충분히 있는 것으로 판단할 수 있다. 또한 사고각이 90°일 때 보다 0°일 때 사고 발생 직후 고장전류 값이 더 크게 나타난 것을 확인할 수 있었다.

향후 본 논문에서 활용된 EMTP-RV 시뮬레이션 tool 및 한류기의 모델링을 이용하여 한류기의 투입 시 요구되는 고려 사항들의 다양한 시뮬레이션과 분석을 통한 보다 전문적인 연구가 진행되어야 하겠다.

### 감사의 글

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

### [참 고 문 헌]

- [1] 허태전, 배형택, 박민원, 유인근, "EMTCD를 이용한 154kV 송전계통에서의 초전도 한류기 적용 해석", 2004년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp409 - 411, 14-16 Jul. 2004.
- [2] H. Uezono, Y. Takemoto, M. Yuya, H. Kado, "Development of a fault current limiter for 22 kV distribution system", Transmission and Distribution Construction, Operation and Live-Line Maintenance Proceedings. 2000 IEEE ESMO - 2000 IEEE 9th International Conference on, pp 239 - 244, 8-12 Oct. 2000.
- [3] 한국전기연구원, "초전도 기기 모델링 및 초전도 기기 보호 기술 개발 보고서", page.61, 2004.
- [4] DCG-EMTP(Development coordination group of EMTP) Version EMTP-RV, Electromagnetic Transients Program. [Online]. Available : <http://www.emtp.com>