

배전계통에서 상전도 한류기 투입에 따른 계통영향 평가

오창욱, 방승현, 이상봉, 김철환
성균관대학교

Analysis of system influence according to the insertion of the Fault Current Limiter in distribution system

Chang-Wook Oh, Seung-Hyun Bang, Sang-Bong Rhee, Chul-Hwan Kim
Sungkyunkwan University

Abstract - When electric power systems expand and become more interconnected, the fault current levels increase in the distribution system. Therefore, we studied the influence of the power system according to application of a resistive FCL. In this paper, the distribution system and the resistive FCL were modeled by using EMTP (Electromagnetic Transients Program), which simulates the effect of the resistive FCL for the single line ground fault in distribution system.

1. 서 론

최근 전력수요의 급격한 증가에 따라 전력계통의 규모가 커지고 복잡해지고 있다. 이에 따라 배전계통에서 고장의 가능성이 더욱 더 커진 실정이다. 계통에서 고장 발생시 고장전류는 정격전류보다 훨씬 큰 크기로 발생하여 차단기의 차단용량을 초과하거나 심각한 전압강하를 초래할 수 있을 뿐만 아니라 계통의 절연에도 막대한 영향을 미친다. 따라서 고장의 과급을 줄이고 안정적인 배전계통의 운영을 위해서는 무엇보다도 고장전류의 신속한 차단이 우선시 된다고 할 수 있다[1].

큰 고장전류를 차단하기 위해서는 차단기의 차단용량을 증가시키거나 추가적으로 차단기를 설치하는 방법이 있으나 본 논문에서는 한류기(FCL; Fault Current Limiter)적용을 통한 그 영향 및 효과를 분석하였다. 또한 배전계통에서 발생할 수 있는 고장을 모의하고 고장시 신속히 고장전류를 제거하기 위한 방법으로 한류기를 적용하여 그에 따른 계통에서의 고장전류, 전압강하 그리고 과도회복전압(TRV; Transient Recovery Voltage)영향을 평가 하였다[2]. 한류기의 영향을 평가하기 위하여 EMTP(Electro Magnetic Transients Program)를 이용하여 22.9[kV] 배전계통 및 한류기를 모델링 하였으며 그 영향 및 결과를 분석하였다.

2. 한 류 기

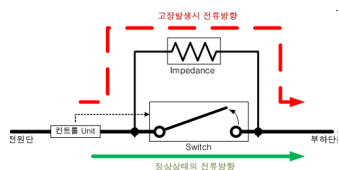
2.1 한류기 특징

일반적으로 한류기는 다음과 같이 크게 다섯 가지의 효과를 갖는다. 순시전압강하의 감소로 계통의 안정성을 향상시키고 차단기 및 기타 전력기기들의 내구 설계비용을 절감시키며, 케이블 및 선로의 직경을 감소시킨다. 또한 단락에너지에 의해 야기되는 선로의 단선을 방지하고 마지막으로 큰 고장전류에 의해 야기되는 기기의 파손을 방지하는 효과를 가지고 있다.

한류기는 계통에 병렬로 연결되어 무시할 수 있을 정도의 낮은 임피던스를 가지다가 고장이 발생하면 고속 스위칭 동작에 의해 적절한 값의 임피던스를 계통에 투입하게 되는데, 이때 투입되는 임피던스 성분에 따라 resistance 성분을 갖는 저항형 한류기와 inductance 성분을 갖는 유도형 한류기로 분류된다. 본 논문에서는 저항형 한류기를 적용하고 그에 따른 영향을 분석하였다.

2.2 저항형 한류기의 기본 구조 및 동작 원리

저항형 한류기는 일반적으로 그림1과 같은 구조를 가지고 있다.



〈그림1〉 저항형 한류기의 기본 구조

정상상태 계통에서 전류는 저항과 병렬로 연결된 스위치를 통해서 흐

르게 된다. 하지만 고장이 발생하면 컨트롤 unit에서 고장 전류를 감지하여 스위치를 open시켜 저항 쪽으로 전류를 흐르게 함으로써 고장 전류를 특정 수준으로 억제 시킨다[3].

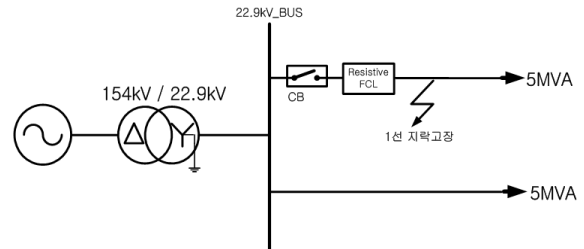
3. 과도회복전압(TRV)

차단기는 전력계통의 고장발생시 계진기로부터 트립신호를 받아 동작하며 고장구간을 건전구간으로부터 신속하게 분리하는 역할을 한다. 하지만 차단기가 동작할 때 아크가 발생하고, 전류 차단 이후에도 잔류하고 있는 도전성 이온으로 인해 양단의 절연회복이 바로 회복되지 않고 시간을 두고 천천히 회복하는 과도적 특성을 가지게 된다. 이때 차단기 트립 시 차단기 양단에 나타나는 전압을 회복전압(Recovery Voltage)이라 하고 초기 과도특성을 나타내는 회복전압을 과도회복전압이라 한다. 일반적으로 TRV 상승률이 높을수록, 과고치가 클수록 차단기로서는 고장전류를 차단하기 어렵게 된다[4].

4. 모의계통 및 한류기 모델링

4.1 모의 배전계통

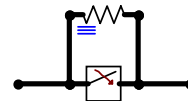
모의계통 모델은 그림2와 같이 154[kV] 등가전원과 154[kV]/22.9[kV] 변압기 그리고 5[MVA]의 부하가 연결된 2개의 피더로 구성된 일반적인 배전계통을 모델로 하였다. 또한 모의시험을 위해 한류기를 차단기 2차 측에 설치하였으며 상단 선로의 1[km] 지점에서 1선 지락고장이 발생하는 것으로 하였다.



〈그림2〉 모의 배전계통

4.2 저항형 한류기의 EMTP 모델링

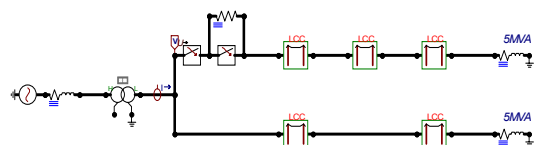
상전도 한류기는 저항형으로 모델링 하였으며 다음 그림3과 같다.



〈그림3〉 EMTP로 구현한 저항형 한류기 모델

4.3 모의 배전계통 모델링

그림2의 모의계통 모델을 EMTP로 구현하면 다음 그림4와 같다.



〈그림4〉 EMTP로 구현한 배전계통 모델

5. 모의 및 결과

5.1 모의 조건

배전계통에서 저항형 한류기의 투입에 따른 영향을 보기위한 각각의 모의 파라미터 값은 다음 표1과 같다.

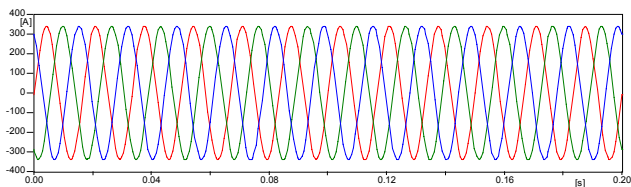
〈표1〉 모의 파라미터

1선(A상) 지락고장 발생 시간	33.33[ms]
한류기 투입 시간	33.33[ms]
한류 임피던스 값	15[Ω]
차단기 동작 시간	83[ms]

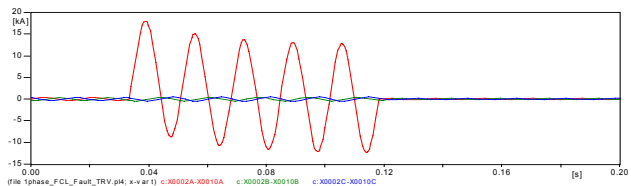
또한 저항형 한류기의 투입에 따라 고장전류 및 전압파형, 그리고 차단기의 트립으로 발생하는 TRV의 영향에 대해서 각각 시뮬레이션을 수행하였다.

5.2 한류기 비 투입시 고장전류

한류기가 투입되지 않았을 때 계통의 전류 파형은 다음 그림5와 같다. 그림 5(b)에서 고장이 발생한 A상의 전류 파형을 보면 고장 발생 후 최고 18[kA]의 전류값을 나타내고 있다. 이는 계통의 정상 상태일 때의 전류값인 338[A]의 약 53배까지의 전류가 상승한 것을 확인할 수 있었다.



(a) 정상상태의 전류파형

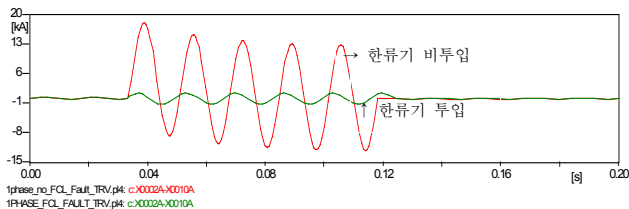


(b) 1선 지락고장시 전류파형

〈그림 5〉 계통의 전류 파형

5.3 한류기 투입에 따른 고장전류 파형

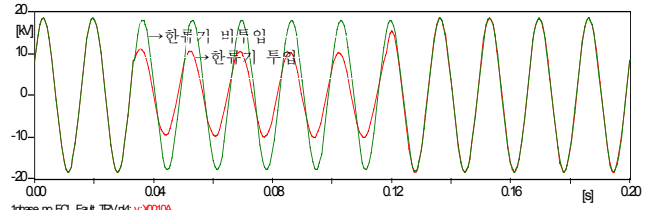
저항형 상전도 한류기의 투입에 따른 전류 파형은 다음 그림6과 같다. 고장이 발생한 A상의 전류파형을 상전도 한류기 비 투입시 발생한 고장전류 18[kA]와 비교해 보면, 고장발생 직후 고장 전류가 한류기 비 투입시 전류의 7.2% 수준인 1.3[kA] 까지 감소하였고 이후 안정된 한류 전류값을 나타내는 것을 확인할 수 있었다.



〈그림6〉 한류기 투입에 따른 전류 파형

5.4 한류기 투입에 따른 전압강하

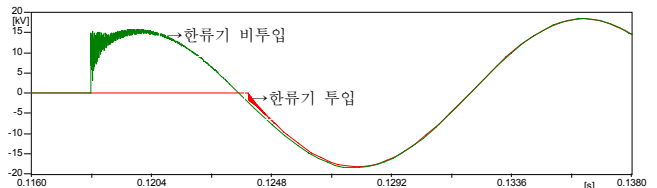
1선 지락 고장 발생시 고장상의 전압은 전류의 급격한 증가로 인하여 그림 7과 같이 큰 전압강하가 발생하였다. 이는 계통의 안정도에 직접적인 영향을 미친다. 한류기 비 투입시 고장시간 동안의 전압은 10.56[kV]로 정상전압 18.37[kV]에 비해 42.5%의 전압강하율을 보였다. 반면에 한류기 투입시 전압은 17.85[kV]로 2.8%의 전압강하율을 나타내었다. 이는 한류기 투입으로 전압강하 대부분이 보상된 것을 확인할 수 있다.



〈그림7〉 한류기 투입에 따른 전압 파형

5.5 한류기 투입에 따른 TRV

그림 8은 고장 발생 후 차단기 트립에 따른 차단기 양단에 나타나는 TRV 파형을 보여준다. 한류기 투입 이후 TRV값이 현저하게 감소한 것을 확인할 수 있다.



〈그림 8〉 한류기 투입 및 비투입시의 차단기 양단의 TRV

〈표 2〉 한류기 투입 전후의 데이터

	전압[kV]	전류[kA]
정상상태	18.3	0.338
고장상태 한류기 비투입	10.57	18.0
	전압강하율 42.5%	정상대비 53배
고장상태 한류기 투입	17.85	1.3
	전압강하율 2.8%	정상대비 3.9배

6. 결 론

본 논문에서는 22.9[kV]급 배전계통에서 빈번하게 발생하는 1선 지락 고장을 모의하여 고장전류, 전압강하 그리고 TRV에 대해서 모의 하였다. 전압강하의 감소 및 큰 고장전류를 줄이기 위한 방법으로 한류기를 투입하여 그 효과를 투입전과 비교, 분석하였다. 한류기를 투입하였을 때 전압강하율이 큰 폭으로 줄어든 것을 확인하였으며 고장전류 또한 비 투입시 정상대비 53배에서 투입시 3.9배로 줄여주는 저감효과를 확인할 수 있었다. 뿐만 아니라 차단기의 트립시 양단에서 나타나는 TRV도 현저하게 줄어든 것을 확인할 수 있었다.

이상과 같이 22.9[kV]급 배전계통에서의 한류기 적용시 나타나는 영향 및 효과에 대해 알아보았다. 향후 다양한 고장 유형 및 고장 발생에 따른 다양한 케이스를 모의하고 분석하는 연구가 진행되어야 할 것으로 사료된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 최효상, 황시돌, 현옥배, "1선 지락사고에 대한 배전급 저항형 조건도 한류기의 전류제한특성", 전기전자재료학회논문지, Vol 14, No. 6, pp. 505 - 510, 2001.
- [2] E. Calixte, Y. Yokomizu, H. Shimizu, T. Matsumura, H. Fujita, "Reduction of rating required for circuit breakers by employing series-connected fault current limiters", IEE Proc.-Gener. Trans. & Distrib., Vol. 151, No. 1, pp. 36-42, January, 2004.
- [3] 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, pp239 - 244, 8-12 Oct. 2000.
- [4] E. Calixte, Y. Yokomizu, H. Shimizu, T. Matsumura, "Theoretical expression of rate of rise of recovery voltage across a circuit breaker connected with fault current limiter", Electric Power Systems Research, Vol. 75, pp. 1 - 8, 2005.