2002년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2002.7.10-12

EMTP를 이용한 345kV급 송전계통 사고시 초전도한류기가 미치는 영향 검토

박수만*, 김재철*, 문종필*, 홍원표**, 이승학***
*숭실대학교, **한밭대학교, ***대덕대학교

Investigation of Superconducting Fault Current Limiter effect for a 345kV transmission line system fault through the EMTP simulation

Soo-Man Park*, Jae-Chul Kim*, Jong-Fil Moon*, Won-Pyo Hong**, Seung-Hark Lee***
*Soongsil-Univ, **Hanbat-Univ, ***Daeduck-Univ

Abstract - Recently the demand for electrical power is significantly increased due to the life improvement of customers. Correspond to the result, the transmission capacity is larger, also the fault current is significantly larger. Within the methods of limiting this fault current, the methods of using the fault current limiter is on the rise. If the Superconducting Fault Current Limiter(SFCL) is applied, then the power delivery loss doesn't exist between the plural power systems, also the fault current can be reduce. But for applying the real system, it needs to investigate the effect of SFCL before appling to real power systems.

Consequently, the fault of transmission with SFCL was simulated using EMTP. It was investigated to the effect of SFCL at the 345[kV] transmission fault according to compare with the case of appling SFCL and removing SFCL.

1. 서 론

지속적인 부하의 증가로 인해서 설비가 증가함에 따라 전력계통의 등가 임피던스가 작아져서 고장 시 계통의 고장전류가 점점 증가하고 있다. 이러한 고장전류를 차단하는 방법으로는 차단내력이 큰 차단기로 교체하는 방법과 고장전류를 기존의 차단기 차단내력 이하로 만들어 주는 방법이 있다. 후자의 경우 한류기를 사용하여 고장전류를 제한할 수 있는데, 초전도 한류기(SFCL)를 사용함으로써 사고가 없을 시에는 손실 없이 복수 계통간의 전력을 융통 할 수 있다는 이점이 있다[8].

초전도 한류기는 1973년 Falcone 등이 그 필요성을 처음으로 역설한 이래[6], 구조가 간단하고 동작시간이 짧을 뿐만 아니라, 수명이 반영구적이라는 점 등, 다른 전력기기들과 구별되는 초전도 한류기만의 특성 때문에, 기존의 한류기와 구별될 수 있다.

본 연구에서는 초전도 한류기를 송전계통에 적용함에 앞서 고장 시 고장전류의 한류 필요성과 초전도 한류기의 종류, 적용 예를 간단하게 살펴보고, 실제 345[kV]급 송전선로에 초전도 한류기를 적용하여 시뮬레이션 하였다. 송전선로에서 1선 지락사고시 초전도 한류기를 설치하였을 때와 설치하지 않았을 때의 파형을 비교하여 초전도 한류기가 송전계통에 주는 영향을 검토하였다. 그리고 실제 345[kV]급 계통을 이용함으로써 앞으로의 초전도 한류기의 송전계통 적용에 관한 연구에 좋은 자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

2. 고장전류 발생 시 한류의 필요성

전력계통의 고장전류의 증가에 대한 대책으로는 앞에서 말한 두 가지 방법이 있다. 여기서 다루고자하는 내용은 후자의 경우이다. 단락전류가 발생하게 되면, 전자기적, 기계적, 열적으로 큰 스트레스를 받게 된다. 이러한 스트레스를 줄이기위해 고장전류를 차단내력이하로 낮추어 주는 한류기술 개발이 필요하다[4].

3. 초전도 한류기의 종류

초전도 한류기의 종류로는 저항형 한류기, 유도형 한류기와 복합형 한류기로 나눌 수 있다.

3.1 저항형 초전도 한류기

저항형 한류기의 작동원리는 단락사고 시 고장전류가 초전도체를 흐르게 되면 초전도상태에서 저항성 상태로 상태변이가 일어나고 회로저항이 나타나게 되어 고장전류를 원하는 만큼 한류 하게 된다[3].

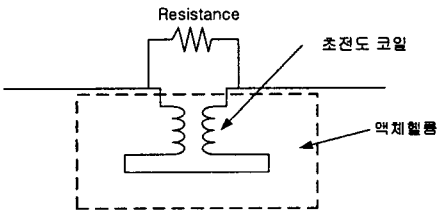

그림 1. 저항형 초전도 한류기

저항형 한류기는 초전도 상태에서 저항성 상태로 변이할 때 저항은 그림1과 같이 변화하고, 저항의 변화는 다음과 같은 변수의 함수로 나타낼 수 있다.

$$R(t) = f(R_{sc}, t, T_{sc}) \quad (1)$$

여기서 R_{sc}는 초전도 소자의 상전도 저항 값이고, T_{sc}는 초전도 소자의 저항발생 시정수 값이다[2].

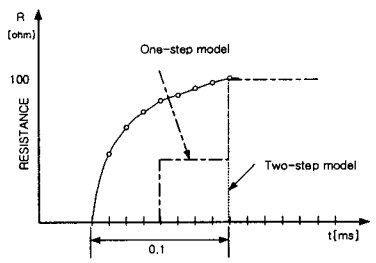

그림 2. 저항형 초전도한류기의 저항포화 특성

3.2 유도형 초전도 한류기

역시 초전도체를 이용하기는 하나 사고감지 및 스위치

는 초전도체가 감당하고, 한류소자는 코일을 이용한다는 점이 저항형과 다르다. 차폐형이 근간이 되어 많이 연구되고 있으며 대용량화가 용이하고 열 발생이 상대적으로 적은 반면 기본구조상 코아를 사용해야 하기 때문에 용적이 크며, 히스테리시스 손실 및 와류손을 포함한다[5].

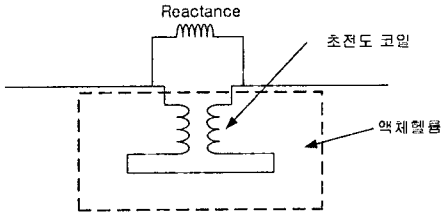

그림 3. 유도형 초전도 한류기

3.3 복합형 초전도 한류기

유도형과 전자식을 결합한 형태로서 반도체 다이오드 브리지 내부에 초전도 리액터와 직류전원을 두어 전류를 제한하는 방식이다. 이 방식은 초전도 퀜치가 없고, 사고전류가 초기부터 제한되는 이점이 있는 반면에 전력전자에 의한 손실과 저 저항 내부전원 제작 상 문제가 있다.

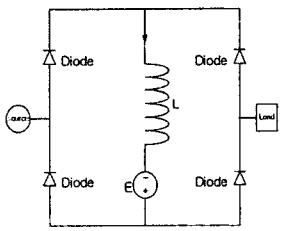

그림 4. 복합형 초전도 한류기

4. 초전도 한류기의 적용 예

그림 5에서와 같이 초전도 한류기는 다양하게 적용되고 있다. 본 논문에서는 송전계통의 적용에 대해서만 살펴보기로 하겠다. 여기서 SFCL은 초전도 한류기이다[1].

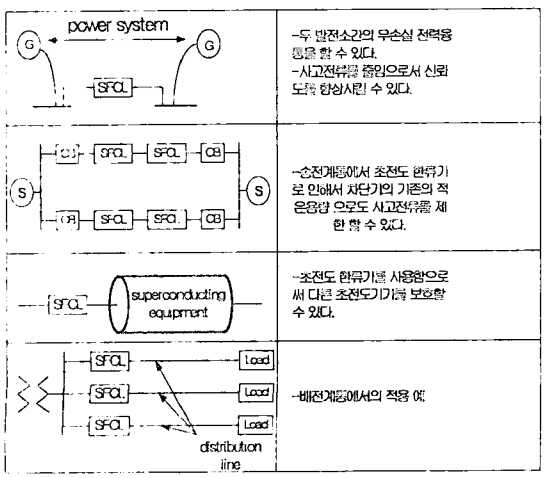

그림 5. 초전도 한류기의 적용 예

5. 초전도 한류기의 송전계통 적용

실제 한국전력공사 계통운용처에서 연구한 "345[kV] 대용량 송전선로 보호관련 전기적 특성연구"에 관한 최종보고서를 참고하여 실제 계통에 초전도 한류기를 적용하였다.

5.1 초전도 한류기를 적용한 345[kV] 계통도

그림 6의 계통도는 BUS1-BUS2간 실제 계통을 축약해서 그린 그림이며, 좌측의 발전기는 8대의 발전기가 있고, 이에 대한 변압기가 8대가 있으며, 영흥도 신 시흥간에는 3상 double line 형태로 송전선로가 이루어져있다. BUS2에서 inf 모선사이에 선로는 우측의 계통의 축약 등가전원의 전원 임피던스 값이 존재하는 선로이다.

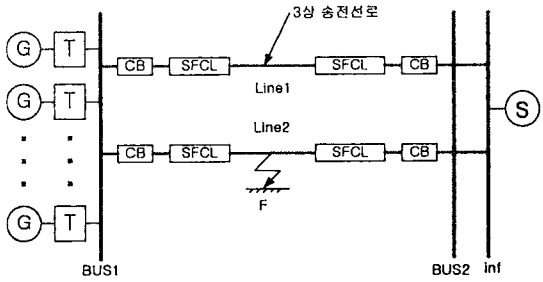

그림 6. 한류기를 적용한 송전계통도

5.2 계통도의 입력 data

5.2.1 발전기 data

- 발전용량 : 800[MVA]
- 발전전압 : 22[KV]
- 4 Mass Model : HP(고압터빈), LP(저압터빈), Gen.(발전기), Exc.(여자기)

-IEEE 2nd Benchmark Model을 사용하였다.[7]

5.2.2 변압기 data

- 22/345[kV] delta-wye 결선으로 이루어져 있다.
- %임피던스 : 15.3[%]
- 3phase-base : 1,155[MVA] [7]

표 1. 변압기의 입력 data

여자 리액턴스 [Ω]		1.0E+6
권선 저항 [Ω]	1차측	0
	2차측	0
누설 리액턴스 [Ω]	1차측	0.0962
	2차측	7.8835
권선 전압 [kV]	1차측	22
	2차측	199.2

5.2.3 송전선로 data

송전선로는 3상 double line으로 되어있으며, pi 등가회로로 구성하였으며 총 송전선로 길이는 40[km]이다. 시뮬레이션 과정에서는 20[km]씩 나누어서 선로정수 값을 입력하였다. 표 2에 나와있는 선로정수 값은 20[km]에 해당하는 값이다[7].

표 2. 송전선로의 입력 data

	영상	정상
R	1.93558E-01	1.63007E-02
L	6.13882E+02	2.29703E+02
C	2.34630E+05	2.94207E+05

5.2.4 기타 입력 data

-계통 축약 등가 전원 : 345[kV] 60[Hz]

표 3. BUS2와 inf 모선 사이의 전원 임피던스

	영상	정상
R	2.071	0.345
L	14.7	7.177

-이외에도 reclosing model이 있으나 여기서는 생략하겠다[7].

6. 송전계통에서의 1선 지락사고

사고지점은 그림6에서의 선로 중간지점인 20[km] 지점에서 사고가 발생하였다. 시뮬레이션은 저항형 초전도 한류기 모델을 사용하였으며, 저항의 포화 특성은 그림 1에서처럼 One-step model을 이용하였다.

6.1 1선 지락사고 시 전류파형

그림 7의 파형은 위의 그림 6에서 초전도 한류기를 적용하지 않은 상태에서 1선 지락사고 시 전류 파형을 나타낸 것이다. BUS1모선에서 F점으로 흐르는 전류 파형을 모의한 것이다. 송전선로에서 Line2의 a상에서 사고가 발생했기 때문에 a상의 파형만 측정하였다. 사고 시간은 50[ms]에서 사고가 발생하였으므로 50[ms] 이후 전류가 급격히 증가함을 볼 수 있다. 이후 수cycle 후에 recloser가 동작을 하나, 반주기 이후에 사고전류의 제한이 목적이므로 recloser의 동작 시간대는 무시하도록 한다.

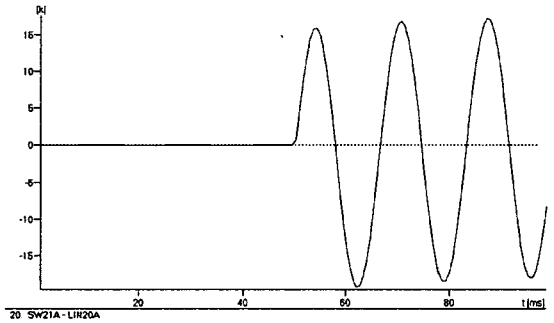

그림 7. BUS1-F지점으로 흐르는 전류
(한류기를 적용하지 않았을 때)

6.2 1선 지락사고 시 전류파형

그림 6과 같이 한류기를 적용했을 때 동일한 절점에서 전류 파형을 측정하였다. 저항의 포화 값은 100[Ω]이고 사고 후 1[ms]에서 포화 되도록 설정을 하였다. 사고전류를 한류기를 적용한 경우와 적용하지 않은 경우를 비교해 보면 15[kA]에서 반주기 이후에 2.5[kA] 정도로 줄어듦을 볼 수 있다.

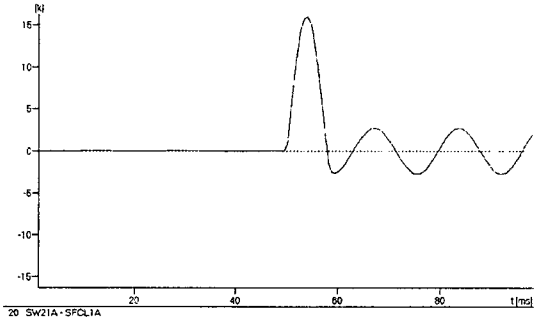

그림 8. BUS1-F지점으로 흐르는 전류
(한류기를 적용하였을 때)

3. 결 론

본 논문에서는 고장전류 발생 시 한류의 필요성과 초전도 한류기의 종류에 대해서 알아보았고, 실제 영흥도-신 시흥간 계통에서 1선 지락사고 시 사고전류와 초전도 한류기를 적용하였을 때 사고 전류를 비교해 보았다. 초전도 한류기를 통해 사고전류를 현저하게 줄임으로써 recloser나 차단기가 동작하기 이전 상태에서 계통에서 설비나 기기들이 받는 충격을 완화시킬 수 있으며, 후비에 차단기의 차단내력을 경감시키는 효과를 가져온다. 이에 관한 연구를 하기 위해서 실제 345[kV]급 송전계통의 발전기 및 변압기, 송전선로의 값을 제공함으로써 향후 초전도 한류기의 송전계통 적용에 관한 연구에 참고가 될 자료를 제시하였다. 본 논문에서 연구한 실제 계통에 대한 초전도 한류기의 적용 예가 앞으로의 초전도 한류기의 연구에 좋은 자료가 되리라 사료된다.

[참 고 문 헌]

[1]H. Kameda and H. Taniguchi, "Setting Method of Specific Parameter of a Superconducting Fault Current Limiter Considering the Operating of Power System Protection," *IEEE Trans. on AS*, vol. 9, no. 2, pp. 1355-1360, June 1999.

[2] Y. H. Guo, Y. Yokomizu, T. Matsumura, and H. Fujita "Difference of Effect of Superconducting Fault Current Limiter Introduced into Electric Power System due to Resistive-Type, Reactive-Type and Their Introduction Location," *T.IEE Japan*, vol. 120-B, no. 6, pp. 791-800, 2000.

[3] Y.Goto, K.Yukita, H.Yamada and K.Ichiyanagi, "A study on Power System Transient Stability due to Introduction of Superconducting Fault Current Limiters", Power System Technology, Proceedings. PowerCon 2000. International Conference on , Vol. 1, pp. 275-280, 2000.

[4] 이방욱, 강종성, 박권배, 오일성, 최종웅, 현옥배, "전력계통 고장전류 저감을 위한 한류기술 및 한류기 개발 동향 분석," *전기재료연구회 춘계학술대회논문집*, pp. 5-8, 2002년.

[5] 최효상, 현옥배, 김상준, 한병성, "2선 지락사고에 대한 저 항형과 유도형 한류기의 전류제한특성," *대한전기학회 하계학술대회 논문집*, pp. 1369-1372, 1999년.

[6] 최효상, 현옥배, 고태국,"초전도 한류기를 포함한 계통의 지락사고에 대한 EMTDC해석," *대한전기학회 논문집*, pp.161-166, 1999년.

[7] 이승재 외, 345kV 대용량 송전선로 보호관련 전기적 특성 연구(최종보고서), 한국전력공사, 1998년 9월.

[8] 우라다 마사미, "초전도 한류기의 개발과 동향," 전기기술, pp64-69, 2000년 12월호