

초전도 한류기의 배전계통 적용 기본검토

최 흥 관* 윤 재 영* 김 중 을* 이 병 준**
 한국전기연구원* 고려대학교**

Preliminary Study of HTS-FCL Application in Distribution System

Choi, Heung-Kwan* Yoon, Jae-Young* Kim, Jong-Yeul* Lee, Byong-Jun**
 Korea Electrotechnology Research Institute* Korea University**

Abstract - To prevent fault effect in supply of electric power distribution system and plan stable operation of electric power system, must control magnitude of fault current. Although there are various kinds of method to solvethis, approached from super conductivity Fault Current Limiter application viewpoint among them. High Temperature Superconductor-Fault Current Limiter (HTS-FCL) development is progressing according to HTS technology development, and system application is tried. For actual system application of such super conductivity FCL, so that can reflect special quality of actuality supply of electric power distribution system just as it is in this treatise supply of electric power system by two modelling do. Also, by simulation of HTS-FCL action and protection coordination with another equipment appliances, verified the effectiveness in supply of electric power system applying itself super conductivity FCL EMTDC dynamic characteristic model that is develop

1. 서 론

배전계통에서 고장으로 인한 사고 파급영향을 미연에 방지하고 전력계통의 안정적인 운영을 도모하기 위해서는 고장전류의 크기를 억제해야 한다. 이를 해결하기 위한 다양한 방안이 제시되고 있으며, 최근에는 고온초전도 : High Temperature Superconductor-Fault Current Limiter) 개발이 진행중이며 계통 적용이 시도되고 있다. 이와 같은 초전도한류기의 계통적용을 위해서는 다양한 운전조건 하에서 초전도한류기의 동작특성과 고장전류 억제효과가 검증되어야 하며, 실제 계통 적용을 위해서는 기존 계통보호기과의 협조 문제 등 다양한 문제들이 산적해 있다. 본 논문에서는 초전도한류기의 EMTDC 동특성 모델을 실 계통 적용시의 다양한 문제들에 대하여 기본 검토하였다.

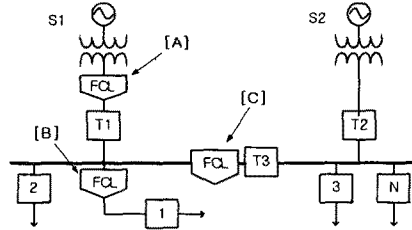
2. 본 론

2.1 배전계통 모델링

2.1.1 초전도 한류기의 적용 위치

전력계통은 기본 특성상 전압계급이 서로 상이한 여러 단계로 구성되어 있고 또한, 전력계통의 구성요소 및 전형적인 형태별로 발전단축, 모선축, 선로축, Feeder축, 변압기단 및 기타 다양한 Configuration으로 구성되어 있다. 이러한 다양한 전압계급과 구성형태에서 제작상의 문제를 배제할 경우 어느 전압계급, 어느 위치에 FCL을 적용하느냐는 세밀한 검토를 요하는 사항이라고 할 수 있으나, 일반적으로 배전계통에의 적용이 가장 효과

가 큰 것으로 알려져 있다. 중요 적용 위치별 그림은 그림 2.1에서 [A], [B], [C]와 같은 위치들이다.



<그림 2.1> 초전도한류기 적용위치

2.1.2 배전계통 모델링 개념

국내 배전 계통은 중성선 다중접지방식으로 표준적인 구조는 변전소의 몇 대의 주변압기 이하 각각에 몇 개의 배전선으로 구성되어 있으며, 초전도 한류기 적용을 위한 표준적인 배전계통 모델링은 해석 프로그램 (PSCAD/EMTDC)의 적용을 위해 실제 계통을 정확히 모델링하여야 하며 모델링 대상이 된 표준적인 한전 배전계통을 모델링하는데 있어서 기본 개념은 그림 2.2에 해당한다. 경부하, 중부하, 평균부하, 일반지역, 도시지역, 가공선로, 케이블선로 등의 배전특성을 포함하였다.

154kV 모선 등가	154 / 22.9kV 변압기 Bank #1 모의	22.9kV DL 가공선로 경부하 모의	가공선로 (일반지역)
		22.9kV DL 가공선로 평균부하 모의	
		22.9kV DL 가공선로 중부하 모의	
	154 / 22.9kV 변압기 Bank #2 모의	22.9kV DL 가공선로 경부하 모의	가공선로 (70%) 케이블 (30%)
		22.9kV DL 가공선로 평균부하 모의	
		22.9kV DL 케이블선로 중부하 모의	
	154 / 22.9kV 변압기 Bank #3 모의	22.9kV DL 가공선로 경부하 모의	가공선로 (30%) 케이블 (70%)
		22.9kV DL 케이블선로 평균부하 모의	
		22.9kV DL 가공선로 중부하 모의	
	154 / 22.9kV 변압기 Bank #4 모의	22.9kV DL 케이블선로 경부하 모의	케이블 (도시지역)
		22.9kV DL 케이블선로 평균부하 모의	
		22.9kV DL 케이블선로 중부하 모의	

<그림 2.2> 배전계통의 모델링 개념

2.1.3 배전 계통 선로보호장치의 협조 개요

변전소의 OCR 또는 OCGR은 순시요소와 리클로징 릴레이(Reclosing Relay)를 적용하여 순간 고장시에는 계속 송전을 가능하도록 했으며 영구고장시는 한시요소와 배전선로 보호장치와 협조하도록 했으나 동작시간이 길어지는 경향이므로 유도 협조상 기준설정이 필요하기 때문에 최대 고장시 30사이클 이하로 억제시킨다. 우리나라의 배전계통에서 사용하고 있는 동작궤무는 다음과 같다.

- * O-t-CO-T'-CO
- t=3분, 재투입하지 않는 차단기
- t=0.3초, 재투입 차단기
- t'=3분

* CO-t''-CO

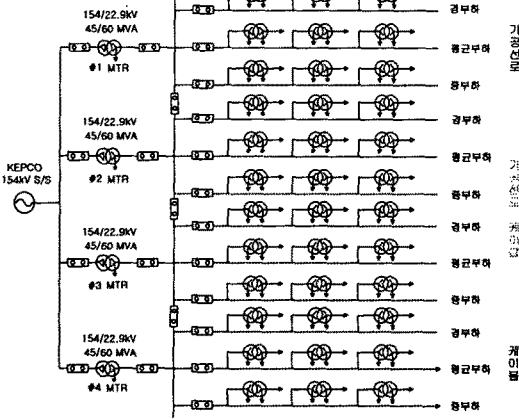
t''=15초, 재투입하지 않는 차단기

2.1.4 배전 계통 모델링

배전회선당 기준용량과 기준 최대길이는 다음과 같다.
 <표 2.1> 기준용량과 기준 최대 길이

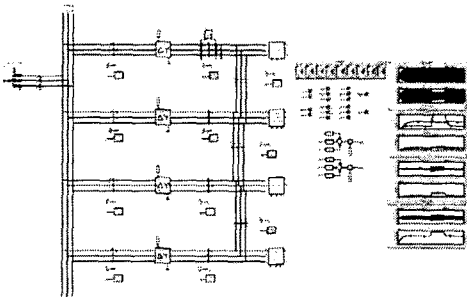
전압(kV)	회선당기준용량(kVA)	상시최대부하(kVA)	기준최대길이(km)
22.9	10,000	7,000	50

등가전압원, 변압기, 차단기, recloser, 부하 등을 포함하여 배전계통을 실제적으로 모델링한 개략도는 다음과 같다. 각 DL별로 세 개의 변압기와 부하들로 이루어졌다. 그림에서 DL단의 점선부분이 케이블선로를 나타내고 있으며, 한개의 DL 전체뿐만 아니라 경우에 따라서 점선과 실선이 혼재된 구간도 표현하여 구성하였다.



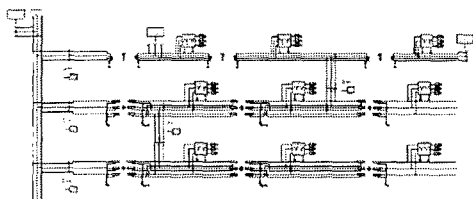
<그림 2.3> 배전계통의 모델링 layout

PSCAD/EMTDC를 이용하여 각 파라미터별로 우리나라 배전계통에 대한 실제 정수값을 적용하여 모델링하면 다음과 같다.



<그림 2.4> 배전계통의 EMTDC 모델링

위 그림에서 가운데 부분의 사각형이 DL전체를 나타내고 있으며 이러한 DL의 세부 구성은 그림 2.5와 같다.



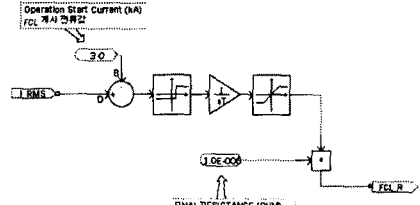
<그림 2.5> DL별 세부 EMTDC 모델링

2.2 초전도 한류기

초전도 한류기에 대한 기본적인 특성은 생략한다.

2.2.1 초전도 한류기 EMTDC 모델의 적용

그림 2.2는 초전도한류기에 흐르는 선로전류가 한류기 동작개시전류를 초과하면 일정한 적분 시정수와 제한치를 가지고 초전도한류기 저항이 증가함을 나타내고 있다. 이는 고장전류 크기에 비례하여 초전도한류기의 저항값이 선형적으로 증가함을 의미한다.

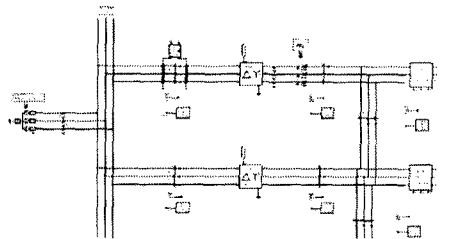


<그림 2.3> HTS-FCL 모의 개념

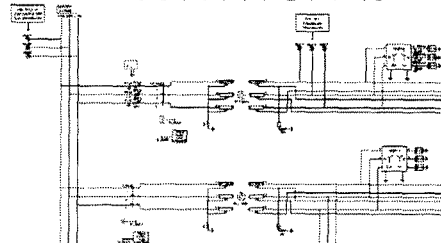
2.3 배전계통의 초전도한류기 적용 결과

2.3.1 초전도한류기 적용 결과

그림 2.1 해석대상 계통의 [A]와 [B]의 위치에 대하여 PSCAD/EMTDC를 이용하여 구성하면 그림 2.6과 같다. 이러한 구성을 바탕으로 저항형 초전도한류기의 유무에 따라 해석한 결과를 나타내면 표 2.3과 같다. 표 2.3을 분석하면 한류기가 있는 경우, 초전도 한류기 적용위치에 흐르는 전류는 8.49kA에서 1.28kA와 1.14kA로 대폭 저감되었다. 이는 한류기를 적용한 송전단 전원의 고장전류 기여분은 대폭 감소한 반면 수전단에서 가공선로와 케이블 선로를 통한 고장전류 기여분은 크게 변하지 않았음을 의미한다. 그림 2.5는 한류기 유무에 따른 해석결과를 도시한 것이다. 그림 2.5에서 t=0.5sec에서 고장이 발생하면 초전도한류기가 동작하고 그 결과로서 전체 고장전류와 한류기 전류가 저감됨을 알 수 있다.



(a) [A]위치에서의 한류기 적용

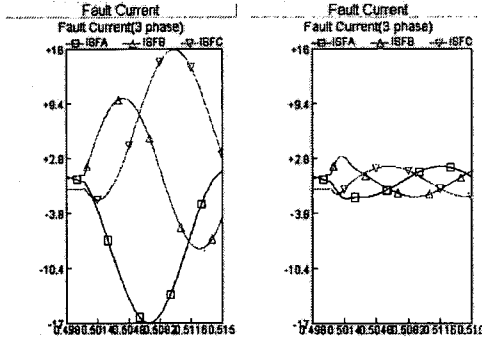


(b) [B]위치에서의 한류기 적용

<그림 2.6> EMTDC 해석 사례 도시

<표 2.3> 기본 해석 Case 해석결과

해석 CASE	고장전류(kA)	RFIN (Ω)
한류기 無	8.49	0.00
한류기 [A] 위치	1.28	10.0
한류기 [B] 위치	1.14	10.0

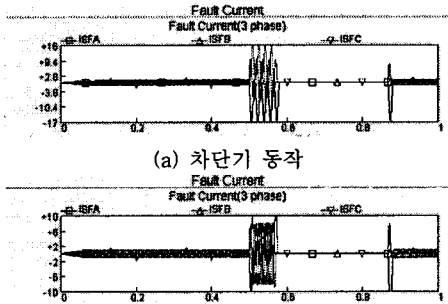


<그림 2.5> 초전도한류기 유무에 따른 고장해석 결과 (T=0.5sec 고장발생)

또한 한류기의 위치에 따라 값의 차이가 발생하는데, 한류기가 [A]의 위치에 있는 경우에 고장전류가 많이 흐르는데 이는 [B] 위치에 있는 경우의 고장전류와 다른 지점의 DL에 흐르는 전류까지 포함하기 때문이다. 이러한 고장해석 사례에서 적용된 한류기의 저항변화의 도시는 생략하였다.

2.3.2 차단기와의 협조

계통 모델링에 있어서 실제로 한류기가 계통에 투입될 경우에 현재 설치되어 있는 차단기와의 협조를 고려한 simulation은 다음과 같다.



(a) 차단기 동작
(b) FCL과 차단기 동시 적용
<그림 2.5> 초전도한류기와 recloser와의 협조

위의 그림에서처럼 (a)는 t=0.5초에 고장전류가 발생했을 때 차단기가 고장전류를 인지하여 차단기가 동작하여 선로를 개방한다. 이로부터 일정한 시간이 경과한 후 차단기가 재투입되어 정상전류가 흐를 때까지의 일련의 과정을 simulation한 결과를 보여주고 있다. (b)는 고장전류가 발생했을 때 초전도한류기가 먼저 동작하여 고장전류를 저감하고 뒤이어 차단기가 동작하여 선로를 개방한다. 이후 다시 차단기가 재투입되고 그 동안 초전도한류기는 정상상태로 복귀하여 차단기가 재 투입될 때 선로임피던스에 영향을 미치지 않는다는 것을 알 수 있다. 또한 차단기와 초전도한류기가 동시에 동작하여 잘 협조되고 있는 것을 알 수 있다.

3. 결 론

본 연구에서는 국내의 표준적인 특성을 감안한 실 배전계통을 모델링하고 표준적인 저항형 초전도한류기에 대하여 자체 개발된 EMTDC 모델을 적용하여 해석결과를 분석하였는데, 연구결과와 전망을 종합하여 기술하면 다음과 같다.

- 초전도한류기의 적용을 위하여 PSCAD/EMTDC로 한전 배전계통의 특성을 그대로 반영하기 위해 새로운 개념으로 모델링 하였다.
- 개발된 배전계통에 대하여 자체 개발한 표준적인 저항형 초전도한류기 EMTDC 모델을 적용하여 한류 특성과 계통의 타 기기와의 협조 운용 등을 통하여 그 효용성을 검증하였다.
- 초전도한류기 유무와 차단기 협조 운용 등에 따른 케이스 해석결과 초전도 한류기를 적용하면 배전선로의 고장전류가 대폭 저감되고 협조시에도 유용함을 알 수 있었으며, 이는 실제적인 초전도 한류기 적용을 위한 기본 자료로 활용될 수 있다.
- 향후 다양한 계통기에 대하여 초전도한류기를 적용한 연구를 수행할 필요성이 있으며, 또한 실 계통 적용을 위해서는 한류기 파라미터의 최적 설정에 대한 연구도 병행되어야 할 것이다. 또한, 저항형 외에 유도형 초전도한류기에 대한 배전계통 적용, 분석과 상호 비교도 필요할 것으로 사료된다.

감사의 글

"본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 차세대초전도용융 기술개발 사업단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다."
"This research was supported by a grant from Center for Applied Superconductivity Technology of the 21st Century Frontier R&D Program funded by the Ministry of Science and Technology, Republic of Korea"

[참 고 문 헌]

- [1] Korea Electric Power Corporation power supply plan office, "A system characteristic improvement equipment setup propriety examination report", 1995. 11
- [2] Korea Electrotechnology Research Institute, "Extra-high voltage bulk DC transmission technical development", 1996. 12
- [3] Korea Electrotechnology Research Institute, "HTS-FCL Characteristic comparison and examination", 2002. 6
- [4] John Cerulli, "Requirements for a Superconducting Fault Current Limiter in the Utility Bus-Tie Location", 1999, IEEE
- [5] M. Noe, B. R. Oswald, "Technical and economical benefits of superconducting fault current limiters in power systems" IEEE Transactions on applied superconductivity, June 1999,
- [6] J. N. Nielsen, J. J. Ostergaard, "Applications of HTS fault current limiters in the danish utility network"
- [7] Hanbat Univ., "Super conductivity FCL parameter examination", 200. 6
- [8] H. Kameda, "Setting method of specific parameters of a superconducting fault current limiter considering the operation of power system protection" IEEE Transactions on applied superconductivity, June 1999
- [9] Charles A. Gross, "Power System Analysis", 1986
- [10] EMTDC Manual, Custom Mode