

유도형 고온 초전도 한류기의 단순 3상 계통 적용에 대한 연구

이승제, 주민석, 이찬주, 이준규, 고태국
연세대학교 전기공학과

A Study on the Superconducting Fault Current Limiter in the Simple 3Φ Power System

S.J.Lee, M.S.Joo, C.J.Lee, J.K.Lee, T.K.Ko
Dept. of E.E, Yonsei University

Abstract - This paper, which is one of the researches to limit high fault-current, treats the application of an inductive High Tc Superconducting Fault Current Limiter(HTSFCL) to distribution systems. In case that the inductive HTSFCL is applied to distribution systems, this paper presented the usefulness and the commercial possibility of it through computer simulation. If the inductive HTSFCL is established in distribution systems, after fault, it limits fault current effectively within a few millisecond, so it contributes to stability of power distribution system. Especially as the system with the HTSFCL is compared with the system without it, the system is improved in stability.

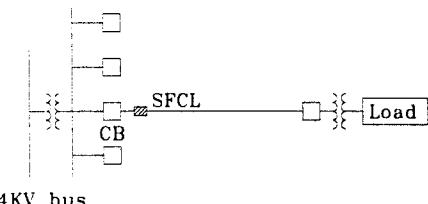
1. 서 론

전력 전송 용량이 증가함에 따라 고장 전류도 필연적으로 증가하고 있다. 현재의 전력 전송 체계를 유지하면서 고장용량의 증가에 수반되는 문제점을 해결하기 위한 근본적인 해결책은 고장용량을 차단기의 차단용량 이내로 적절히 제한하는 것이다. 현재 단상에서 특성이 확인된 고온 초전도 한류기는 이러한 목적을 가장 잘 만족시킨다. 따라서 고온 초전도 한류기를 실제 3상 전력계통에 적용하여 고장상태를 해석하여 보는 것이 필요하다.

2. 본 론

고온 초전도 한류기는 교류용 초전도선재가 필요 없고 직접 계통에다 적용할 수 있다. 현재 이를 우리 나라의 실제 계통에 적용하기 위해서는 그림 2.1과 같은 22.9kV의 배전계통이 적절할 것으로 판단된다. 또한 22.9kV 선로는 154kV의 모선에서 변전소를 거쳐 부하까지 연결되는 독립계통이므로 주변의 계통에 영향을 주지 않으면서 고온 초전도 한류기를 시험하기에는 가장 적합한 선로로 평가된다. 그러므로 22.9kV 선로에서 고온 초전도 한류기를 포함한 고장상태의 해석은 System의 안정화 해

석에 상당한 의미가 있다고 할 수 있다.



154KV bus

그림 2.1 한류기를 적용 계통도

2.1 고장상태 해석을 위한 모델설정

계통의 고장상태를 해석하기 위한 수학적 모델을 유도하기 위해서 결과에 크게 영향을 주지 않는 한도 내에서 문제를 간단히 하였다. 본 연구에서는 이를 위하여 다음과 같은 가정을 하였다. 먼저 그림 2.2와 같이 대지를 귀로로 하는 3상 1회선의 22.9kV 표본 배전계통을 설정하고, 사이의 병렬회로는 모두 무시하였다.

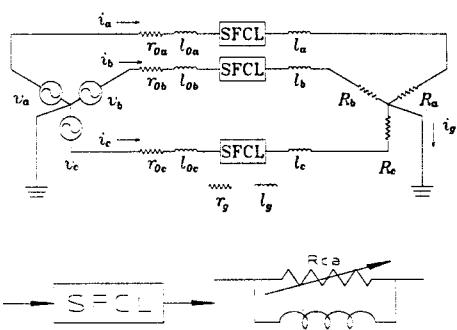


그림 2.2 한류기가 설치된 삼상계통도

실제의 전력계통에서는 분포정수회로를 사용하여 해석하여야 하나 본 연구에서는 계산의 편의상 이를 집중정수회로로 해석하였다. 임계전류는 4kA로 설정하였고, 초전도체의 상전도 저항은 차단기의 차단 용량을 6kA라고 가정하여 여기에 맞도록 몇 차례의 시뮬레이션을 통하여 8Ω 으로 하였다. 이렇

게 결정한 한류기를 포함하는 3상 계통의 각종 상수를 표 1.1에 나타내었다.

표 1.1 한류기를 포함하는 계통요소의 상수

| | | | |
|--------------|-------------|------------------|--------------|
| 선간전압 V_0 | 22.9kV/60Hz | 접지인력턴스 L_g | 1.8mH |
| 정격부하 R | 8Ω | 한류기 저항 R_{ca} | 8Ω |
| 내부저항 r_0 | 0.2Ω | 한류기인력턴스 L_{ca} | 100mH |
| 내부임피던스 I_0 | 2.6mH | 설립저항(a-b) R_t | $10^8\Omega$ |
| 접지저항 r_g | 0.5Ω | | |

지락 사고를 발생시키기 위해 그림2.2 회로의 R_a 와 R_b 를 사고 발생순간 $0[\Omega]$ 변화 시켰고, 선간 단락사고를 위해서는 A상과 B상의 부하 측에 매우 큰 저항 ($R_i = 10^8\Omega$)을 연결하였고, 사고순간 $0[\Omega]$ 으로 변화시켜 사고를 발생시켰다.

2.2 고장상태의 해석

전력시스템의 고장상태 해석은 변압기와 차단기 용량의 결정, 계전기의 정정 및 안정도 판정 등에 필요하다. 송전선로에서 발생하는 고장은 1선 지락 사고, 선간 단락 및 2선 지락 등이 주로 발생한다. 초전도 한류기는 사고가 발생한 후 빠른 시간에 사고전류를 미리 설정한 값 이하로 제한하기 때문에 해석영역은 사고후, 차단기가 작동되기 전까지, 즉 약 4-5주기(80ms) 정도로 하였다..

$$E_a = L_g(i_1 - i_2)' + L_{ca}(i_1 - i_4)' + L_i d(i_1 - i_2)' + L_n(i_1 - i_3)' + Rg(i_1 - i_2) + Ra(i_1 - i_4) + Rg(i_1 - i_3) \quad (2.1)$$

$$E_b - E_a = L_g(2i_2 - i_1)' + L_{ca}(i_2 - i_5)' + L_i(2i_2 - i_1)' + R_i \cdot (2i_2 - i_1) + R_{ca}(i_2 - i_5) + R_i(i_2 - i_4) \quad (2.2)$$

$$-E_c = L_g i_3' + L_i i_3' + R_{ca}(i_3 - i_1) + R_c i_3 + R_{cc}(i_3 - i_1) \quad (2.3)$$

$$0 = R_i(i_4 - i_2) + R_i i_4 + R_a(i_4 - i_1) \quad (2.4)$$

$$0 = L_{ca}(i_5 - i_2)' + R_{ca} \cdot i_5 \quad (2.5)$$

식(2.1)-(2.5)는 그림2.2 회로의 주요한 해석방정식이고, 이를 행렬 R , L , I , I' , V 등의 행렬로 나타내면, 다음과 같은 상태방정식으로 나타낼 수 있다.

$$E = RI + LI' \quad (2.6)$$

그리고 우리가 관심 있는 사고 상태는 매우 짧은 시간(사고 발생 직전부터 차단기 작동순간)의 순간적 변화이기 때문에 과도현상을 해석하기 위한 방법으로, 위의 연립 미분방정식을 Euler backward formula 수치해석법을 이용하여 Simulation하였다.

2.2.1 한류기가 적용된 계통의 단선지락사고

계통에서 고장의 대부분은 1선지락 고장으로 전체의 약 70% 이상을 차지하고 있다. 그림2.3과 그림2.4는 가장 위험한 0° 단락시 각상의 전류와 증성점으로 흐르는 전류를 나타낸 것이다.

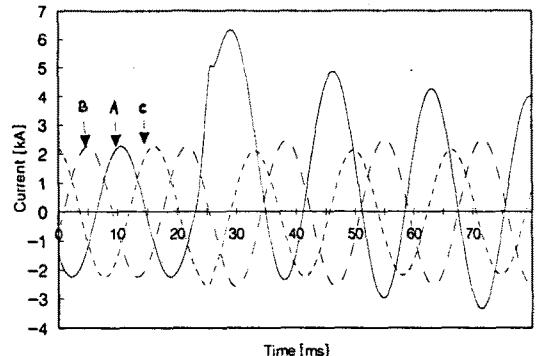


그림 2.3 단선 지락의 각상의 전류

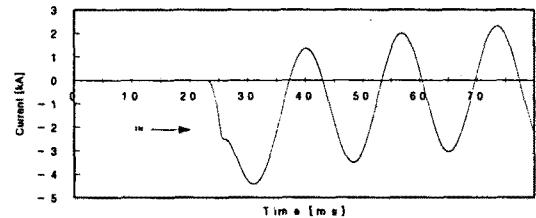


그림 2.4 단선 지락시 접지로 흐르는 전류

지락사고가 발생하면 A상의 값이 최고 6.5kA까지 증가하였다가 4kA 정도에서 안정되는 것을 알 수 있다. 1선 지락은 대표적인 불평형 고장으로 다른 상의 상전류도 약간씩 변동되고 증성점으로 최대 4kA까지 흐르는 것을 볼 수 있다.

2.2.2 한류기가 적용된 계통의 선간단락 사고

그림2.5와 그림2.6은 각각 A상과 B상이 단락시 각 상의 전류와 증성점으로 흐르는 전류를 나타낸 것이다. 여기서, A상은 0° , B상은 120° 이다.

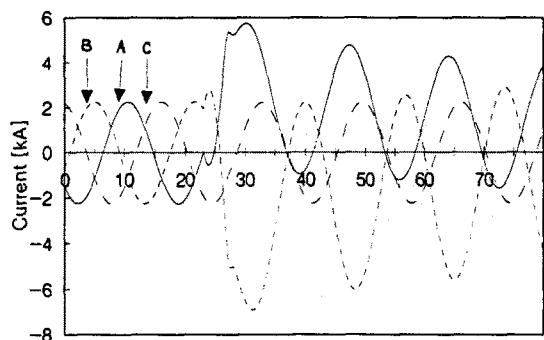


그림2.5 선간 단락시 각상에 흐르는 전류

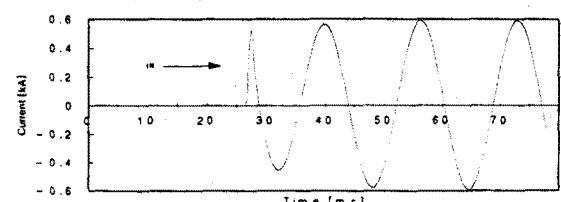


그림2.6 선간 단락시 접지로 흐르는 전류

선간 단락사고가 발생하면 A상의 값이 최고 6kA 까지 증가하고 B상의 경우 -7kA 까지 증가하였다가 각각 4.5kA, -5kA 정도에서 안정되는 것을 알 수 있다. 중성점 전류는 시간에 지남에 따라 약간씩 증가하는 것이 보여지면 최대 0.6kA 까지 흐르는 것을 볼 수 있다.

2.2.3 한류기가 적용된 계통의 2선지락 사고

그림2.7과 그림2.8은 각각 A상과 B상이 지락시 각상의 전류와 중성점으로 흐르는 전류를 나타낸 것이다. 여기서, A상은 0° , B상은 120° 이다.

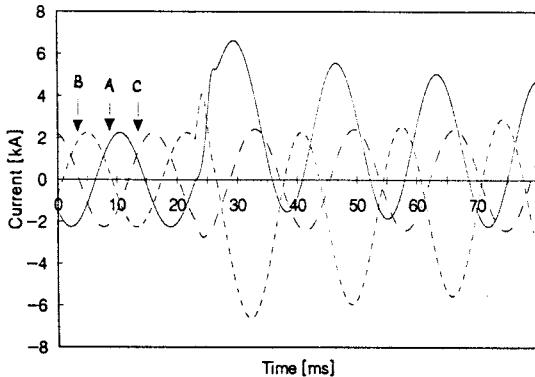


그림2.7 선간 단락시 각상에 흐르는 전류

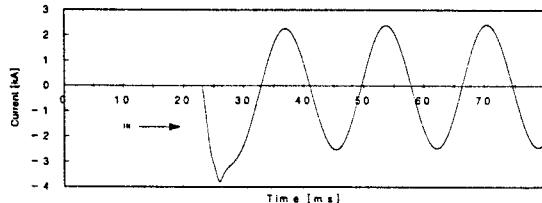


그림2.8 선간 단락시 접지로 흐르는 전류

2선단락 사고가 발생하면 A상의 값이 최고 6.5kA 까지 증가하고 B상도 경우 -7kA 까지 증가하였다가 각각 5kA, -5kA 정도에서 안정되는 것을 알 수 있다. 중성점 전류는 -4kA 까지 흐르다가 약 2.5kA에서 안정되는 것을 볼 수 있다.

2.3 결과 비교

표본전력계통에서 한류기의 역할을 알아보기 위해 한류기를 제거한 후 사고를 발생 시켰다. 그림 2.9는 한류기가 없는 계통의 단상 지락전류로 사고 전에는 약 2kA이던 전류가 사고 발생 후에는 최고 14kA 까지 증가하였다가 약 10kA로 안정되는 것을 볼 수 있다.(매우 안정된 배전계통의 경우) 즉 사고가 발생하면 정상시 전류의 약 7배에 달하는 큰 사고전류가 변압기 및 선로에 흐르기 때문에 이를 기준으로 전력기기를 설계해야한다. 반면에 그림의 제한기가 있는 경우에는 사고전류가 약 2분의 1로

줄어들었다. 즉 초전도 한류기는 1선 지락사고가 발생할 경우 사고전류를 수 msec이내의 시간에 3kA정도로 효과적으로 제한하고 있음을 보여준다. 이는 초전도 한류기가 실용화되면 고장용량이 기존에 설치된 차단기의 차단용량을 넘어서는 곳에 설치하여 변압기나 차단기의 중설 없이 한류기를 이용하여 대체 할 가능성을 나타낸다.

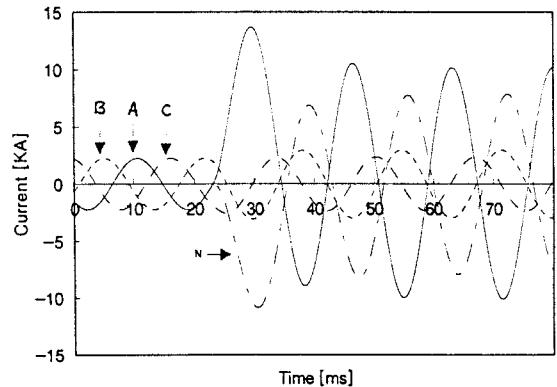


그림 2.9 한류기가 제거 되었을 때의 전류

3. 결 론

단상형 고온 초전도 한류기를 삼상 배전계통에 적용하였을 때, 사고가 발생 할 경우, 각상의 단상형 한류기의 초전도체에서 발생되는 저항으로 사고 발생후 한 주기가 지나기 전에 사고 전류를 50%이상 억제하고 서서히 더 작은 값(약30%정도)으로 안정화되는 것을 확인하였다. 그리고 한 상이 사고가 발생하여도 한류기가 사고전류를 충분히 빠른 시간에 억제하기 때문에 다른 상이 큰 영향을 받지 않았다. 따라서 다른 상의 한류기는 작동하지 않았다. 이는 한 상의 한류기만으로도 충분히 계통전체를 보호 할 수 있음을 보여 주였고, 나머지 상의 한류기가 그것을 보조하는 양상을 보이기 때문에 사고 시 충분한 안정도를 확보 할 수 있다고 보아진다. 그리고 현재 계통에서 운용되고 있는 차단기가 사고 발생후 최소한 3-4주기가 지나서 동작한다는 점을 고려하면 단락사고시 변전소나 발전소를 보호하는데 초전도 한류기가 매우 효과적이라는 것을 알 수 있었다. 그러나 단상형 한류기의 문제점은 사고 발생 시에 Balance가 깨지기 때문에 큰 전류가 접지로 흐른다는 것이다. 따라서 이 접지 전류를 해결하기 위한 접지선과 3상 전용 한류기의 연구가 필요하다고 여겨진다. 하지만 현재의 전력전송체계를 유지하면서 사고문제를 해결하기 위한 최상의 해결책으로는 고온 초전도 한류기가 가장 적합한 것으로 판단된다.