

단락사고에 대한 저항형 초전도 한류기의 실계통 시뮬레이션

Simulation of a Resistive Superconducting Fault Current Limiter for Line Faults in the Power Grid

최 효 상*, 황 시 돌**, 현 옥 배***

Hyo-Sang Choi*, Si-Dole Hwang**, Ok-Bae Hyun***

Abstract: We have performed an EMTDC simulation for the current limiting effects of a superconducting fault current limiter (SFCL).

The fault currents in the 154 kV transmission line between the arbitrary S1 and S2 substations increased up to 54 kA and 60 kA during the line-to-line and three phase faults, respectively. The SFCL with 100 Ω of resistance after quench limited the currents to less than 17 kA within a half cycle. This limited current is well below the upper limit of a circuit breaker, suggesting that the resistance of the SFCL in the transmission line is sufficient.

Key Words: superconducting fault current limiter, EMTDC simulation, line faults, circuit breaker

1. 서 론

현재 국내의 전력계통 용량은 지속적으로 증대하고 있으며 154 kV 모선 고장전류 차단 내력은 1998년의 데이터에서 이미 약 35% 이상이 초과하고 있다.[1] 이에 대한 대책으로서 고장전류보다 차단내력이 큰 차단기로 교체하거나 고장전류가 기존 차단기의 차단내력 이하가 되도록 고장전류를 제한하는 방안을 들 수 있다.[1-2] 그러나 차단기의 차단내력을 크게 하는 데는 기술적 및 경제적 한계가 있고, 고장전류를 제한하기 위하여 전력계통에서 연계선로를 분리하는 것은 용이하지 않을뿐더러 전력공급 신뢰도 및 안정도 저하와 같은 문제점들이 발생할 수 있다. 따라서 전력계통에서 선로 고장 발생시 빠른 전류제한을 통하여 차단용량을 경감하는 방안이 적극적으로 검토되고 있다.

송전선로에는 보호계전기, 차단기 등이 구축되어 사고로부터 계통을 보호하고 있다. 선로사고의 피해를 최소화하기 위해서는 차단기의 신속한 작동이 중요한데, 사고 발생 후 차단기가 동작하는 데는 154 kV급

선로의 경우 약 3 cycle(IEEE 규격) 이 소요되어 이 기간 동안에 변압기를 비롯한 각종 기기의 손상을 피할 수 없다. 더욱이 국내의 154 kV급 선로에서는 50 kA급 차단기가 주종을 이루고 있고 GIS(gas insulated switchgear)는 31.5 kA급으로서 이미 차단내력의 한계에 도달해 있는 실정이다. 여기에 초전도 한류기를 도입함으로써 사고시 신속한 전류제한으로 위에서 언급한 제반 문제를 해결할 수 있을 것으로 기대되고 있다.[3]

초전도 한류기는 1973년 Falcone 등이 그 필요성을 처음으로 역설한 이래, 구조가 간단하고 동작시간이 짧을 뿐만 아니라 수명이 반영구적이라는 점 등, 다른 전력기기들과 구별되는 초전도 한류기만이 갖는 특성때문에 세계적으로 활발하게 연구가 진행되고 있다.[4-8] 그러나 아직까지 전세계적으로 실계통에 적용할 정도의 초전도 한류기가 개발되어 있지 않은 상태에서 사전에 실계통급에 대한 시뮬레이션을 통하여 한류효과를 알아봄으로써 장치의 연구개발에 데이터로 활용하고, 또한 실용상 사용할 수 있는 한류용량을 정하는 것은 큰 의미를 가질 수 있다.

본 연구는 지락사고에 대한 초전도 한류기의 EMTDC 해석[9]에 이은 후속연구의 결과로서 계통에서 발생하는 사고중 유형별 단락사고에 대하여 초전도 한류기를 적용하였을 때 나타나는 이점에 대하여 시뮬레이션 하였다. 해석은 현재 전세계적으로 많이 사용하고 있는 과도현상 해석 프로그램인 EMTDC (Electromagnetic Transient DC)를 이용하였고 서울지역의 실계통 데이터를 참고하여 초전도 한류기에 의한 전류제한 효과를 분석하였다. 유형별 단락사고에 대한 각 상의 고장전류 파형을 고찰한 다음, 저항형 초전도 한류기를 적용하였을 때 고장전류 제한 효과를 분석하고, 단락사고 전류값과 과도 및 정상상태 전류 제한값을 비교분석 하였다.

2. 사고모델 계통구성 및 EMTDC 계통 모델링

사고모델계통 구성은 서울근교의 S1과 S2 변전소 간의 실계통 데이터를 참고하여 설정하였으며, 일반적인 단락사고에 대한 고장전류를 제시하고 여기에 단상형 초전도 한류기를 설치한 경우의 고장전류 제한효과를 모의하였다. 그림 1은 초전도 한류기를 설치한 2모선 양단전원을 갖는 1회선 전력계통 모델을 나타낸다. 전류조류는 S1에서 S2 변전소 방향이다.

EMTDC에서 사고계통을 모델링하기 위하여 필요

* 정 회 원 : 한전 전력연구원 전력계통연구실 일반연구원

** 정 회 원 : 한전 전력연구원 전력계통연구실 선임연구원

*** 정 회 원 : 한전 전력연구원 전력계통연구실 책임연구원

원고접수 : 1999년 3월 09일

심사완료 : 1999년 4월 19일

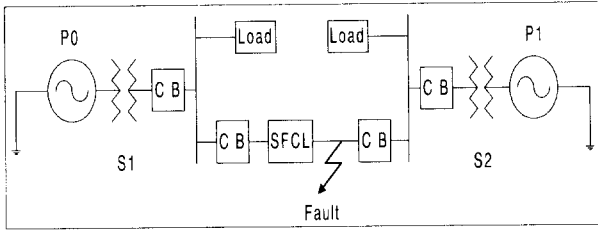


그림 1. 단락사고에 대한 모델시스템.
Fig. 1. Model system for line fault.

한 요소는 source 임피던스, 선로정수 및 부하전력이다. Source의 임피던스는 정확한 데이터를 확보하기 위하여 전력계통 해석용 프로그램인 PSS/E를 이용하여 구한 값을 표 1에 나타내었으며, 부하는 해당 선로의 유효 및 무효전력을 환산하여 집중모델로 표현하였다.

Source 모델은 2개의 양단 전원이 공급하는 경우를 축약하여 상정하였으며, 모델링에 필요한 계통전원 임피던스는 표 1의 값을 사용하였다. P0를 기준모선으로 설정하고 선로의 조류에 지배적인 영향을 미치도록 하였으며, P0의 전압 위상각 0도를 기준으로 삼고 P1의 전압위상각을 구하였다. 또한 변압기 임피던스 등을 포함하여 기타 기기에서 발생하는 임피던스는 source 임피던스로 통합하여 표시하였다.

표 1. 전원 임피던스값.
Table 1. Source impedances.

Source	임피던스값			전압의 크기 및 위상각
	정 상	영 상	역 상	
P0	2.4 / 88.67°	3.8 / 86.42°	2.4 / 88.67°	154 / 0°
P1	29 / 88.06°	150 / 85.04°	29 / 88.06°	154 / 3.6°

선로정수를 모델링하기 위하여 집중정수 모델인 PI SECTION을 사용하였다. PI SECTION 모델은 대도시 지역에서 송전선로의 길이가 10 km 이내의 짧은 길이를 가진 경우에 적합한 것으로 알려져 있다. EMTDC에서 선로정수를 표현하는데 필요한 데이터는 정상 임피던스(Z_1), 정상 어드미턴스(Y_1), 영상 임피던스(Z_0) 및 영상 어드미턴스(Y_0)이다. 선로정수의 기준용량은 100 MVA, 기준전압은 154 kV하에서 실제 선로정수 %Z를 단위 $Z[\Omega/km]$ 으로 환산하여 적용하였다. 아래 식 (1), (2)는 %Z를 $Z[\Omega/km]$ 와 %Y를 $Y[\mu\Omega/km]$ 로 환산하는 식이다.

$$Z = \%Z \cdot \frac{10[(kV)_{base}]^2}{(KVA)_{base}} = \%Z \cdot 2.3716 [\Omega/km] \quad (1)$$

$$Y = \%Y \cdot \frac{10[(KVA)_{base}]}{[(kV)_{base}]^2} = \%Y \cdot 42.1656 [\mu\Omega/km] \quad (2)$$

여기서, Z : 선로의 임피던스, %Z : 선로의 %임피던스, Y : 선로의 어드미턴스, %Y : 선로의 %어드미턴스이다.

EMTDC에서 입력 데이터로 사용하기 위하여 환산한 선로정수값을 표 2에 나타내었다.

전력계통에는 특성이 서로 다른 부하가 다양하게 연결되어 있으나, 여기서는 해석을 간단하게 하기 위하

표 2. 모델 시스템의 선로정수값.

Table 2. Line constants of the model system.

구 분	선로정수값			선로길이 (km)
	정 상	영 상	역 상	
Resistanc	4.36E-02	0.2384	4.36E-02	9.98
Reactance	0.3445	1.044	0.3445	

여 저항과 리액턴스가 직렬로 연결된 직렬모델을 채택하였다. 식 (3)과 (4)는 부하전력과 모선전압으로부터 부하의 R 및 X 값을 구하는 방법을 보여주며, 이 수식을 통하여 얻은 부하모델 수립결과를 표 3에 나타내었다. 여기서 L[H]값은 EMTDC에서 입력값인 $X[\Omega]$ 으로 변환하였다.

$$S = P_L + jQ_L = V^2 \cdot Y_L^* = \frac{V^2}{Z_s} \quad (3)$$

$$Z_s = \frac{V^2}{S^*} = \frac{V^2}{P_L - jQ_L} = \frac{V^2}{S_L(\cos\theta - j\sin\theta)} = \frac{V^2}{S_L}(\cos\theta + j\sin\theta) = R_s + jX_s \quad (4)$$

$$\text{단, } \theta = \tan^{-1} \frac{X_s}{R_s}$$

여기서, S : 교류전력, P_L : 유효전력, Q_L : 무효전력을 나타낸다.

표 3. 각 부하의 R, X 및 L 값.

Table 3. R, X and L values on each load bus.

구 분	R [Ω]	X [Ω]	L [H]	전압[kV]
P0	551.73	181.30	0.4809	154
P1	155.06	50.93	0.1351	154

EMTDC를 이용한 단락사고시의 계통 모델링에서, 사고구간은 앞서 언급한 바 있는 PI SECTION을 사용하여 전원측으로부터 60 % 지점에서 사고가 발생한 경우를 가정하여 구성하였다. 각 선로의 실제 길이는 60 %측이 약 5.98 km, 40 %측이 약 3.99 km이다. 고장지점 전단에 저항형 초전도 한류기를 설치한 후 B, C상에서 고장이 발생한 경우를 모델로 삼고 전류제한 효과를 살펴보았으며, 이때 사고각은 C상을 기준으로 삼았다.

EMTDC내에서 초전도 한류기 요소를 구현하기 위하여 저항형 초전도 한류기 모델링에 사용된 trigger 부분 쿼치에 따른 저항 변화 패턴은 아직까지 154 kV 급에 맞는 자료가 없다. 또한, 일반적으로 초전도체의 저항변화는 모재의 종류, 냉매의 열전달 특성과 한류기 구조에 따라 다양하나 연구 목적상 국내의 낮은 전압계통에 대한 실험값과 송전급에 대한 일본논문의 데이터를 참고하여 그림 2와 같이 구성하였고 초전도체의 동작시간은 3 msec로 설정하였다.[10] 또한, 차단기의 용량을 고려하여 154 kV급 송전계통의 효과적 한류를 위하여 요구되는 quench시 최종한류저항은 전력계통의 전체 고장유형에 대하여 여러번의 시뮬레이션을 거쳐 100 Ω으로 선정하였다. 여기서 초전도 한류기가 전류제한동작을 개시하는 시점인 동작개시전류는 10 kA로 설정하였다.

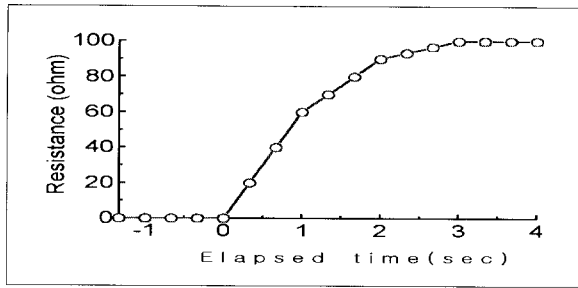


그림 2. 퀘칭시 초전도체의 저항변화 패턴.
 Fig. 2. Variable resistance pattern of a superconductor under quench.

3. 결과 및 고찰

시뮬레이션은 우선 1회선 계통에 대해서만 실시하였으며, 선로는 154 kV급 송전선로에서 주로 쓰이고 있는 ACSR 410 mm를 기준으로 선정하였다. 단락사고시의 각 상별 고장전류 파형은 S1에서 S2 S/S까지의 실제통값에 대하여 C상을 기준으로 사고각이 0° 일 때 과도전류값을 모의하였다. 또한, 사고시 S2에서 S1 S/S으로 유입되는 전류는 S1-S2간 전력 조류에 비하여 작기 때문에 여기서는 생략하였다.

3.1. 선간 단락사고의 경우

S1에서 S2 S/S까지의 데이터를 기준으로 주요한 전력조류를 형성하는 S1-사고지점에 대한 파형을 그림 3에 나타내었으며 각 상별 고장전류 파형은 사고각이 0° 일 때 과도전류값을 모의하여 보여주고 있다. 단락사고가 발생하면 B, C상의 전류값이 최고 54 kA까지 상승하였다가 약 5주기후에 36 kA값에서 안정되는 것을 볼 수 있다. 사고발생전인 정상상태에서 선로에 흐르는 전류값이 약 0.45 kA인 것을 감안하면 사고 발생후 전류값이 최고 약 120배까지 상승하였다가 약 80배되는 지점에서 안정되는 것을 볼 수 있다. 따라서 선로에 취부되어 있는 변압기를 포함한 각종 보호기기들은 최소한 차단기의 IEEE규격인 정격차단시간(약 3 사이클) 동안에는 어느 정도의 손상을 감수해야 한다. 한편 건전상인 A상의 전류값은 사고발생 전후에 거의 변화가 없었으며 차단기의 차단책무에는 별 영향을 주지 않음을 알 수 있다. 사고각 45°와 90°인 경우의 선간 단락사고 파형을 모의하였으나 사고각 0°인 경우에 비하여 과도전류값이 작기 때문에 여기서는 사고각 0°인 경우를 대표적으로 나타내었다.

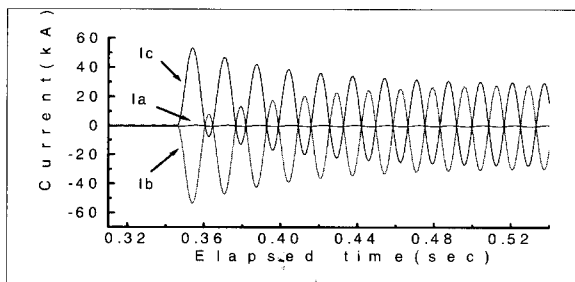


그림 3. 사고각 0°에서의 단락사고 파형.
 Fig. 3. Line-to-line fault for fault angle 0° (No SFCL).

다음으로, 전력계통에서 선간 단락사고가 발생하였을 때 차단기 진단에 초전도 한류기를 적용하는 경우, 고장전류 제한능력을 알아보기 위하여 사고각을 0°, 45°, 90°로 구분하여 시뮬레이션 하였다.

그림 4는 사고각 0°인 선간 단락고장 계통에 대하여 초전도 한류기를 적용하여 시뮬레이션한 결과를 보여준다. 그림 4에서 사고가 발생한 B, C상을 보면 사고발생 직후 최고 52 kA까지 상승하고 있으나 계통에서 사고 발생 초기에 발생하는 직류분을 미처 소거하지 못한데서 기인하는 것으로 보이며, 약 반주기 이내에 15 kA(최종 고장전류값)에서 안정되는 것을 볼 수 있다. 이는 GIS의 차단내력 이내이며 건전상인 A상은 사고발생 후 거의 변화가 없었다.

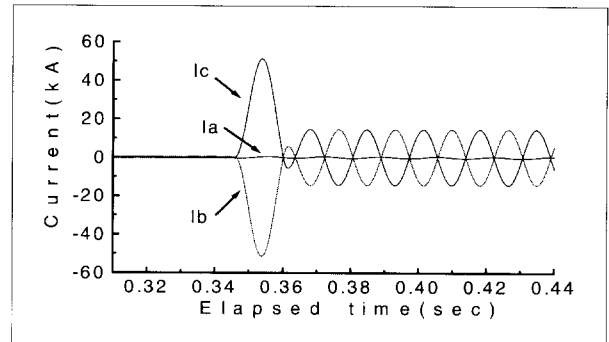


그림 4. 초전도 한류기를 적용한 경우 사고각 0°에서의 단락사고 파형.
 Fig. 4. Line-to-line fault with a SFCL at fault angle 0°.

사고각이 각각 45°와 90°이고 선간 단락사고가 난 실제통에 대하여 초전도 한류기를 적용하였을 때 고장 전류 제한효과를 그림 5와 그림 6에 나타내었다. 사고가 발생한 직후에 고장전류는 사고각 45°인 경우는 약 45 kA(최대 한류전류값), 사고각 90°인 경우는 약 28 kA까지 상승하였으나, 반주기 이내에 각각 약 15 kA의 최종 사고전류값을 보여주어 매우 효과적인 전류제한을 하고 있음을 알 수 있다. 특히 사고각 45°, 90°인 경우는 전류가 감소하는 순간에 초전도 한류기를 통하여 전류제한을 수행하기 때문에 반주기 이후의 사고전류 상승을 볼 수 없다. 건전상인 A상의 경우는 사고전후 거의 변화가 없었다.

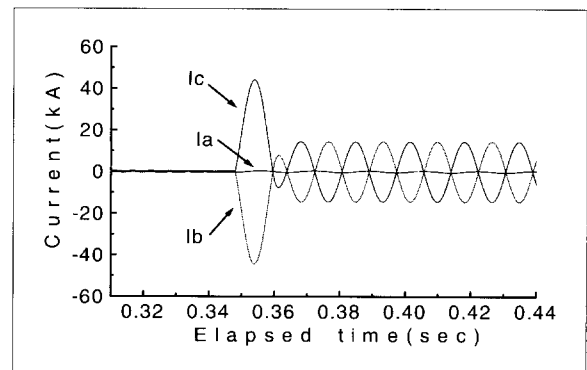


그림 5. 초전도 한류기를 적용한 경우 사고각 45°에서의 단락사고 파형.
 Fig. 5. Line-to-line fault with a SFCL at fault angle 45°.

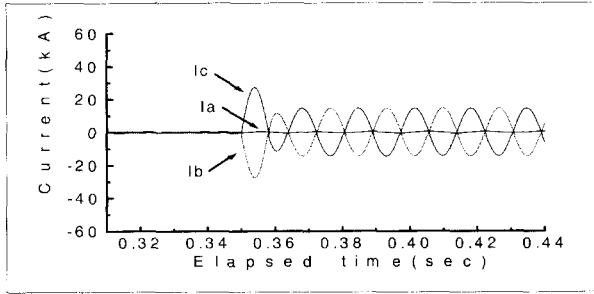


그림 6. 초전도 한류기를 적용한 경우 사고각 90°에서의 단락사고 파형.
Fig. 6. Line-to-line fault with a SFCL at fault angle 90°.

3.2. 3상 단락사고의 경우

사고각 0°에서 3상 단락사고가 발생한 경우를 그림 7에 나타내었다. 사고가 발생하면 최고 약 60 kA까지 상승하였다가 약 5주기 후에 39 kA값에서 안정되는 것을 보여주고 있다. 사고발생전인 정상상태에서 선로에 흐르는 전류값이 약 0.45 kA인 것을 고려하면 사고발생 후 전류값이 최고 약 130배까지 상승하였다가 약 86배되는 지점에서 안정되는 것을 볼 수 있다. 각 상별 초기 고장전류값의 약간의 차이는 사고각이 상이하기 때문에 발생한다. 사고각 45°와 90°인 경우의 3상 단락사고 파형을 모의하였으나 사고각 0°인 경우와 과도전류값이 비슷하기 때문에 여기서는 사고각 0°인 경우를 대표적으로 나타내었다.

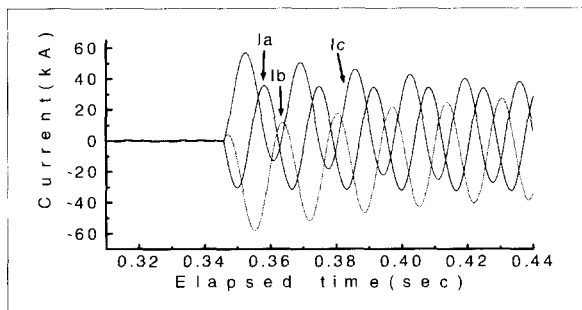


그림 7. 초전도 한류기를 적용하지 않은 경우 사고각 0°에서의 3상 단락사고 파형.
Fig. 7. Three-phase fault for fault angle 0° (No SFCL).

전력계통에서 3상 단락사고가 발생하였을 때 차단기 전단에 초전도 한류기를 적용하는 경우, 고장전류 제한능력을 살펴보기 위하여 사고각을 C상을 기준으로 0°, 45°, 90°로 구분하여 시뮬레이션 하였다.

그림 8은 사고각이 0°인 3상 단락 고장계통에 대하여 초전도 한류기를 적용하여 시뮬레이션한 결과를 보여준다. 그림 8에서 사고각 0°에서 고장이 발생한 C상을 보면 사고발생 직후 최대 한류전류값이 최고 51 kA의 사고전류값을 나타내나, 약 반주기 이내에 차단기의 차단내력 이내인 17 kA에서 최종 사고전류값을 나타내어 안정되는 것을 볼 수 있다. 사고각이 각각 120°, 240°씩 차이가 나는 A, B상의 경우에도 사고발생후에 각각 30 kA, 20 kA까지 전류값이 상승하지만 반주기 이내에 역시 17 kA에서 안정되는 것을 볼 수 있다. 이는 quench시 최고저항값이 100Ω인 초전도 한류기를 설치함으로써 154 kV급 송전선로의 3상 단락사고를 효과적으로 제한할 수 있음을 나타낸다.

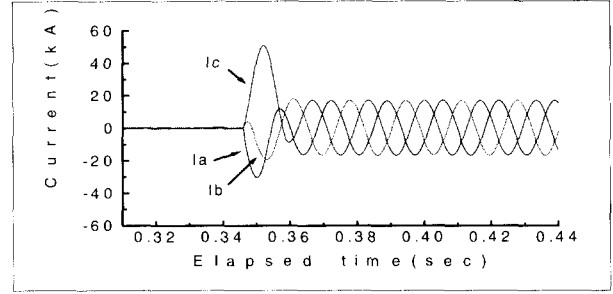


그림 8. 초전도 한류기를 적용한 경우 사고각 0°에서의 3상 단락사고 파형.
Fig. 8. Three-phase fault with a SFCL at fault angle 0°.

C상을 기준으로 하여 사고각이 각각 45°와 90°이고 3상 단락사고가 발생한 실계통에 대하여 초전도 한류기를 적용하였을 때 고장 전류 파형을 그림 9와 그림 10에 나타내었다. 사고가 발생한 직후의 고장전류는 사고각 45°인 경우 B상에서 최대 한류전류가 약 55 kA, 사고각 90°인 경우는 B상에서 약 40 kA까지 상승하였으나 반주기 이내에 각각 최종 사고전류가 17 kA값을 나타내어 매우 안정적으로 전류제한을 하였다. 특히 사고각 90°인 경우 A 및 C상은 전류값이 감소하는 순간에 초전도 한류기를 통하여 전류제한을 수행하기 때문에 초기 사고전류상승을 거의 볼 수 없다. 한편 A 및 C상의 경우에도 사고각 45°와 90°인 경우 모두 반주기 이내에 17 kA이내에서 안정된 파형을 보여주었다.

한편, 초전도 한류기를 적용한 경우 전력조류 방향의 반대편에서 사고시 고장점으로 흘러 들어오는 유입전류는 초전도 한류기의 전류제한 책무에 별 영향을 주지않을 정도로 작았기 때문에 여기서는 생략하였다.

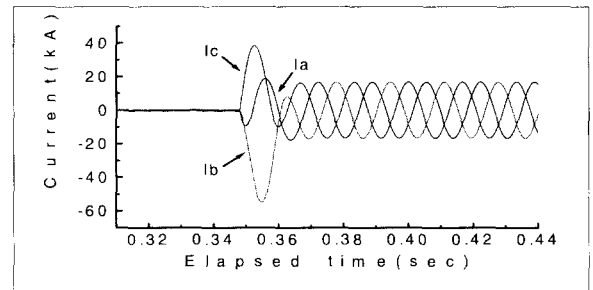


그림 9. 초전도 한류기를 적용한 경우 사고각 45°에서의 3상 단락사고 파형.
Fig. 9. Three-phase fault with a SFCL at fault angle 45°.

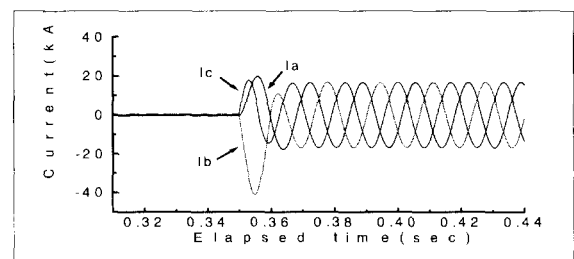


그림 10. 초전도 한류기를 적용한 경우 사고각 90°에서의 3상 단락사고 파형.
Fig. 10. Three-phase fault with a SFCL at fault angle 90°.

4. 결 론

154 kV급 송전계통에서 발생할 수 있는 사고유형중 하나인 단락사고에 대하여 S1 변전소와 S2 변전소간의 실계통값을 참고하여 EMTDC 프로그램을 사용하여 사고전류를 모의하고, 이 전력계통에 초전도 한류기를 적용하였을 때 사고각별 전류제한 효과를 알아보았다.

S1 변전소로부터 S2 변전소까지 거리의 약 60 % 지점에서 사고가 발생하였을 때, 선간 단락사고에서 고장전류는 사고각 0°의 경우 최고 약 54 kA이었으며 이는 정상전류의 약 120배이었고, 5주기 이후의 전류값도 80배에 달하는 약 36 kA값을 보여주었다. 차단기 전단에 초전도 한류기를 적용하였을 때 사고각별 전류제한 효과를 보면, 사고각 0°인 경우 사고발생 직후 최대 한류전류값이 최고 52 kA까지 사고전류가 증가하였으나, 초전도체가 quench되면서 갖는 큰 최종 한류저항값(100 Ω)으로 인하여 약 반주기 이내에 15 kA의 최종 사고전류값을 보여주어 안정되었다. 사고각 45°와 90°인 경우에도 각각 약 45 kA와 28 kA까지 상승하였다가 반주기 이내에 약 15 kA까지 각각 감소하여 안정된 상태를 유지하였다.

3상 단락사고의 경우, 고장전류는 사고각 0°의 경우 최고 약 60 kA이었으며, 이는 정상전류의 약 130 배이었고 5주기 이후의 전류값도 정상전류의 약 86배인 약 39 kA값을 보였다. 단상형 초전도 한류기를 적용하였을 때 사고각별 전류제한 효과를 보면, 사고각 0°인 경우 사고발생 직후 최대 한류전류값이 51 kA까지 증가하였으나, 약 반주기 이내에 17 kA(최종 사고전류값)까지 안정되었다. 사고각 45°와 90°인 경우에도 각각 약 55 kA와 40 kA까지 상승하였다가 반주기 이내에 약 17 kA까지 각각 감소하여 안정된 상태를 유지하였다. 따라서 본 실험에서 적용한 임의의 154 kV급 송전선로에 대한 선간 단락사고에 대해서는 차단기의 안정적인 운용을 고려하더라도 quench시 최종 한류저항값이 100 Ω 정도 되는 단상형 초전도 한류기를 설치하면 차단기의 차단내력을 초과하는 고장전류에 대해 효과적으로 대처할 수 있음을 알 수 있었다.

이상과 같이 154 kV 송전선로에서 선간 단락사고에 대한 EMTDC 해석을 통해 사고전류 및 한류효과를 살펴보았으며 앞으로는 유도형 초전도 한류기에 대한 시뮬레이션을 통하여 저항형 한류기의 적용결과와 비교 분석하여야 할 것이다. 또한 저항형과 유도형 초전도 한류기의 장단점 분석을 통하여 형태별 적용분야를 도출해 내야 할 것이다.

참 고 문 헌

[1] "전력계통 고장전류 증대와 대응방안," 전기저널, Vol. 5, pp. 24-31, 1998.
 [2] "장기 송·변전 설비설계 검토서," 한국전력공사 전원계획처, pp. 218-235, 1995.
 [3] Nell E. Reimann, *et al.*, "Simulation of the Transient Response of a High-Tc Superconducting Current Limiter Inserted in an Electrical Distribution System," IEEE Trans. on App. Supercon., Vol. 7, No. 2, pp. 836-839, June 1997.

[4] L. S. Fleischman and Y. A. Bashkirov, "Design Considerations for An Inductive High Tc Superconducting Fault Current Limiter," IEEE Trans. on Applied Superconductivity, Vol. 3, pp. 570-573, 1993.
 [5] W. Paul, *et al.*, "Fault Current Limiters Based on High Temperature Superconductors," Inst. Phys. Conf. Ser. No. 148, pp. 73-78, July 1995.
 [6] J. R. Cave, *et al.*, "Test Results for Laboratory Scale Inductive High Tc Superconducting Fault Current Limiters," IEEE Trans. on Mag., Vol. 30, No. 4, pp. 1895-1898, July 1994.
 [7] Masanori Tsuchimoto, *et al.*, "Experimental Evaluation of the Total Shielding Current in a Bulk High-Tc Superconductor," IEEE Trans. on App. Supercon., Vol. 6, No. 1, pp. 10-12, March 1996.
 [8] C.A. Falcone *et al.*, "Current Limiting Device A Utility's Need," IEEE Trans. PAS-93, November/December, pp. 1768-1775, 1974.
 [9] 최효상, 현옥배, 고태국, "초전도 한류기를 포함한 계통의 지락사고에 대한 EMTDC 해석," 대한전기학회, 논문 심사중, 1998.
 [10] "계간 기술개발," 한국전력공사 기술기획처, '97 봄호 (제31집) pp. 95-111, 1997.

저 자 소개



최효상(崔孝祥)

1966년 02월 21일 생, 1989년 전북대 공대 전기공학과 졸업, 1994년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학석사), 현재 한전 전력연구원 전력계통 연구실 근무



황시돈(黃時頓)

1957년 01월 12일 생, 1981년 연세대 공대 전기공학과 졸업, 1986년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학석사), 현재 한전 전력연구원 전력계통 연구실 근무



현옥배(玄錫培)

1953년 02월 11일 생, 1976년 연세대 물리학과 졸업, 1987년 Iowa State Univ. 대학원 물리학과 졸업(이학박사), 현재 한전 전력연구원 전력계통연구실 근무