

# 초전도 한류기의 실계통 적용 시의 한류 특성 해석

김홍균, 이병운, 박경엽  
한국전기연구원 신전력기기연구그룹

## Performance of Superconducting Fault Current Limiter for Real Substation

H. K. Kim, B. Y. Lee, and K. Y. Park  
Korea Electrotechnology Research Institute

kimhk@keri.re.kr

**Abstract** - This paper presents the analysis of current limiting performance of superconducting fault current limiter(SCFCL) for real substation. The resistive and inductive type SCFCLs are investigated for 154kV substation. The current limiting performance of SCFCL is evaluated with respect to the time constant of SCFCL and impedance of SCFCL.

### 1. 서 론

전력 수요의 증가로 인하여 발전설비가 증설되고 전력계통의 송전 용량이 증대되면서 계통의 단락용량이 증대되고 고장전류가 증가하게 된다. 이로 인하여 고장전류가 차단기의 정격 차단전류를 초과하는 현상이 나타나고 있으며, 이를 막기 위해서 대응용량의 차단기를 추가로 설치할 경우 막대한 비용이 소요하게 된다. 이러한 문제점을 보완하고 안정적인 전력 계통의 용량 증가를 위해서 초전도 한류기(SCFCL: Superconducting Fault Current Limiter)를 계통에 도입하고자 하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 초전도 한류기는 정상 운전 시에는 임피던스가 매우 낮으며, 사고 발생 시에는 빠른 시정수를 가지고 높은 임피던스를 가져서 차단기가 동작하기 전까지 큰 사고전류를 효과적으로 제한시켜주는 특징이 있다.

계통에 한류기를 설치할 경우에는 주어진 상황에서 한류 특성을 정확히 예측할 필요가 있다. 한류 특성은 선로 임피던스, 사고 임피던스, 사고 지속시간 등 많은 요인에 의해 영향을 받으며, 한류기 설계 시에는 이러한 영향들을 고려하여야 한다. 현재까지 초전도 한류기를 계통에 적용하기 위한 많은 연구가 진행되고 있으며, 초전도체를 응용한 기기 중에서 가장 먼저 실용화가 이루어질 것으로 전망된다. 초전도 한류기의 계통 적용 중에서 가장 먼저 실용화 될 곳으로 기대되는 곳은 변전소 내의 각 피더 라인(feeder line)이며, 본 연구에서는 실제 변전소의 피더 라인에 초전도 한류기를 도입한 경우의 한류 특성

에 대해 살펴보고자 한다. 여기서는 국내의 154kV 변전소에 저항형과 유도형 한류기를 도입한 경우를 가정하여 한류 임피던스, 초전도소자의 저항발생 시정수 등에 따른 한류 특성을 EMTP를 이용하여 시뮬레이션하였다.

### 2. SCFCL의 적용 대상 계통 모델

#### 2.1 전력계통에 초전도 한류기의 적용

SCFCL을 전력계통에 응용하는 방법은 여러 가지가 있으며 그 중 대표적인 것은 다음과 같다.

(1) 정상적인 운전 하에서는 단락 용량때문에 직접 연결할 수 없는 2개의 대응용량 전력계통을 연계하는 변전소에 SCFCL을 설치한다.

- 신뢰도를 향상시키면서 사고 전류를 저감할 수 있다.

- 전력 계통의 운용 및 계획에 유연성을 가질 수 있다.

(2) 사고전류가 차단기의 차단용량을 초과하는 계통 라인에 SCFCL을 설치한다.

- 더 큰 차단용량을 가지는 차단기로 교체하지 않고서도 계통 운용이 가능해진다.

(3) 큰 사고전류를 가질 가능성이 많은 또 다른 초전도 응용기기를 보호하기 위해 설치한다.

- 초전도 응용기기의 켄칭 전류가 낮아질 수 있다.

(4) 단락사고 발생 시에 건전회선 상의 라인을 보호하기 위해 각 피더 라인에 설치한다.

- 정전 사고를 줄일 수 있다.

#### 2.2 적용 대상 계통 모델링

그림 2는 초전도 한류기를 154kV 변전소의 피더 라인에 설치한 경우의 한류 특성을 해석하기 위한 EMTP 모델을 보여준다. 차단기 CB0의 정격은 25.8kV, 2000A, 25kArms이며, 차단기

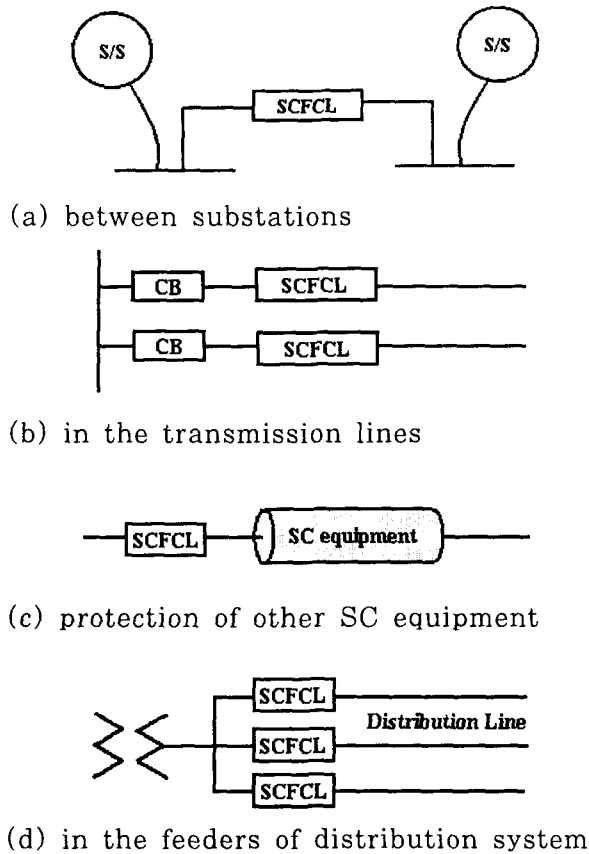


그림 1. 초전도 한류기의 계통 적용 예  
Fig. 1. Application of SCFCL in power system.

CB1~CB6의 정격은 25.8kV, 600A, 25kArms이며, 6개의 피더가 있는 것으로 설정하였다. 정상상태에서 70%부하를 가정하였으며, 변압기의 2차측 전압을 교류 전압원으로 모델링하였다. 사고는 피더 6번에서 지락사고(그림의 FLT 지점)가 발생한 것으로 가정하였다.

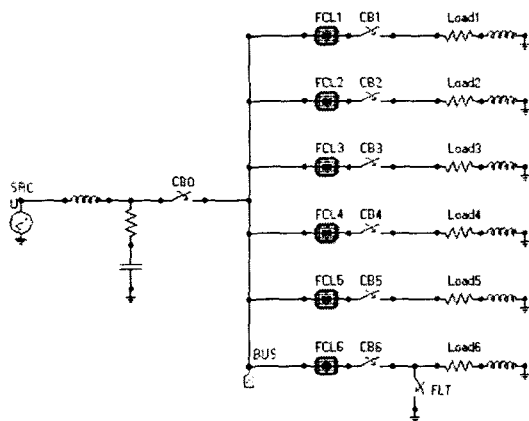


그림 2. 해석 대상 계통의 EMTP 모델링  
Fig. 2. Diagram of EMTP modelling.

### 3. SCFCL의 한류특성 해석

#### 3.1 해석 조건

그림 3은 SCFCL을 설치하지 않은 경우, 그림 2의 피더 6번에서 사고가 발생한 경우의 사고 전류를 보여준다. 차단기 CB6의 정격 차단전류는 25kArms이며, 한류기를 설치하지 않은 경우 사고 전류는 차단기의 용량을 초과하게 된다.

SCFCL의 동작개시전류의 결정은 운용 계통의 전체 특성을 고려하여 결정하여야 한다. 동작개시전류가 너무 작으면 한류기가 과민반응을 하게 되고, 너무 크면 정격전류보다 큰 전류가 계속 흘러도 한류기가 동작하지 않게 된다. 일반적인 설정 기준은 사고 발생 시에 건전회선 상의 순시 최대전류보다는 크고 차단기의 정격차단전류보다는 작은 범위에서 설정하여, 사고 발생 시 다른 라인에서 한류기가 동작하는 것을 방지하고, 차단기가 차단할 수 있는 범위 내에서 사고 라인의 한류기가 동작을 시작하도록 한다. 본 연구에서는 이러한 점을 고려하여 한류기의 개시전류를 정상상태 부하 전류의 10배가 되도록 하였다.

초전도 소자가 상전도 상태로의 전이 과정은 그림 4와 같이 저항이 시간  $T_{sc}$  동안 선형적으로 증가하는 것으로 모의하였다.

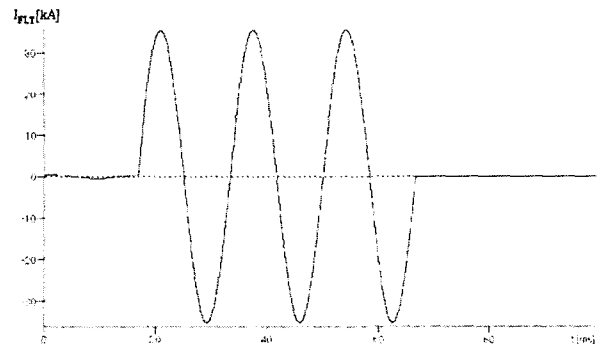


그림 3. 한류기를 설치하지 않은 경우 사고전류 파형  
Fig. 3. Fault current waveform without SCFCL.

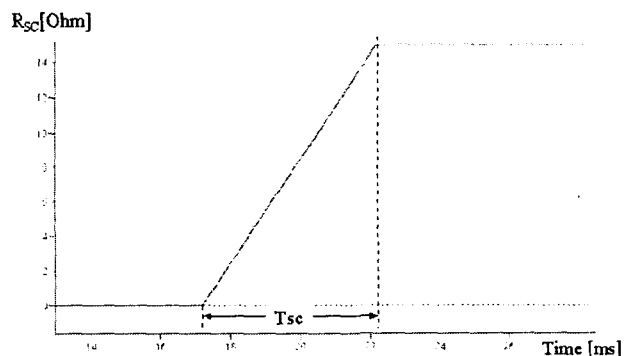


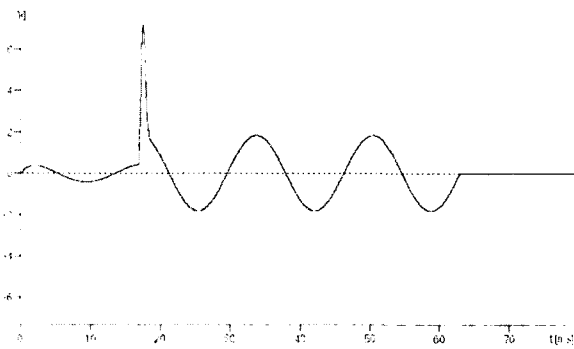
그림 4. 초전도 소자의 저항 변화  
Fig. 4. Variation of Resistance of SC material.

### 3.2 해석 결과 및 검토

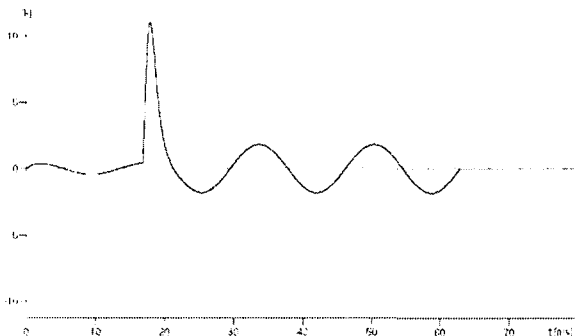
#### 3.2.1 저항형 SCFCL

그림 2의 피더 6번 FLT지점에서 지락사고가 발생 시, 한류기 FCL6은 정상상태 부하전류의 10배가 되면 동작을 개시하여 시간  $T_{sc}$  동안 선형적으로 저항이 증가하여 상전도 상태에 이르는 것으로 가정하였으며,  $T_{sc}$ 가 각각 1ms, 5ms, 한류기의 한류 임피던스가  $15\Omega$  및  $30\Omega$ 에 대한 한류특성을 저항형 초전도 한류기에 대하여 해석한 결과를 그림 5에 나타내었다.

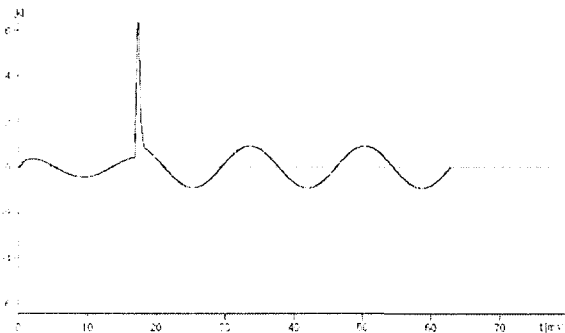
그림(a)와 (c), (b)와 (d)를 비교하면 한류 임피던스가 클수록 전류 제한 효과는 커지며, 같은 한류 임피던스에 대해서 상전도 전이 시간이 길수록 사고 전류의 피크치는 커지게 된다.



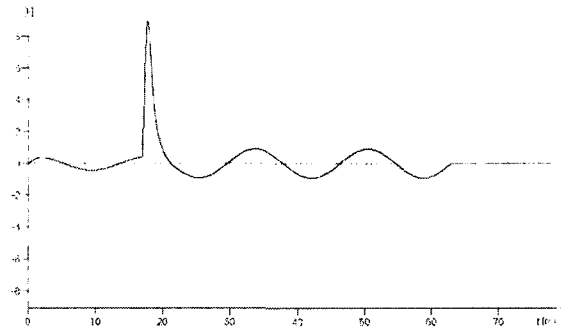
(a)  $T_{sc} = 1ms, Z_{FL} = 15\Omega$



(b)  $T_{sc} = 5ms, Z_{FL} = 15\Omega$



(c)  $T_{sc} = 1ms, Z_{FL} = 30\Omega$



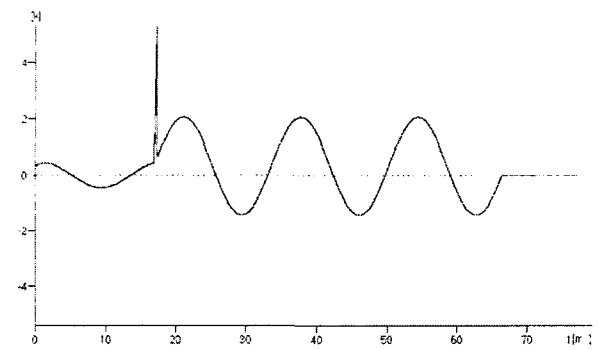
(d)  $T_{sc} = 5ms, Z_{FL} = 30\Omega$

그림 5. 저항형 한류기의 한류 특성

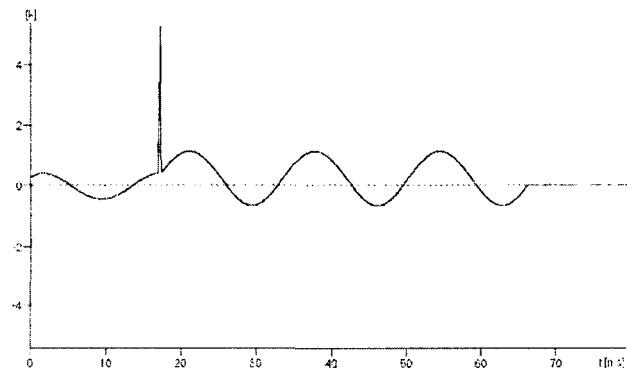
Fig. 5. Current limiting performance of resistive type SCFCL.

#### 3.2.2 유도형 SCFCL

저항형 한류기와 같은 사고 조건에서  $T_{sc}$ 가 1ms인 경우에 한류기의 한류 임피던스가  $15\Omega$  및  $30\Omega$ 에 대한 한류특성을 유도형 초전도 한류기에 대하여 해석한 결과를 그림 6에 나타내었다. 그림 5(a)와 그림 6(a)를 비교하면 같은 한류 임피던스에 대해서는 유도형 한류기의 한류 효과가 더 큼을 볼 수 있다.



(a)  $T_{sc} = 1ms, Z_{FL} = 15\Omega$



(b)  $T_{sc} = 1ms, Z_{FL} = 30\Omega$

그림 6. 유도형 한류기의 한류 특성

Fig. 6. Current limiting performance of reactive type SCFCL.

#### 3.2.3 차단기 극간의 TRV 비교

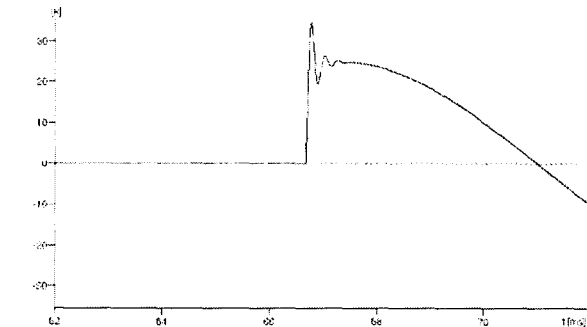
차단기가 사고전류를 차단 한 후에는 차단기의 양 극간에 과도회복전압(TRV)이 인가되며, 차단기는 인가되는 TRV에 대해서 절연파괴가

일어나지 않아야 차단에 성공하게 된다. 일반적으로 TRV는 그림 7(a)와 같이 매우 급격한 기울기를 가지고 상승하며 따라서 차단기는 가혹한 인가전압에 대해 절연파괴가 일어나지 않도록 설계되어야 한다. 저항형 초전도 한류기의 경우 TRV는 그림 7(b)와 같이 한류기를 설치하지 않은 경우에 비해 매우 작아져서 차단기 측면에서 전압 스트레스가 낮아져서 차단이 매우 용이하게 된다.

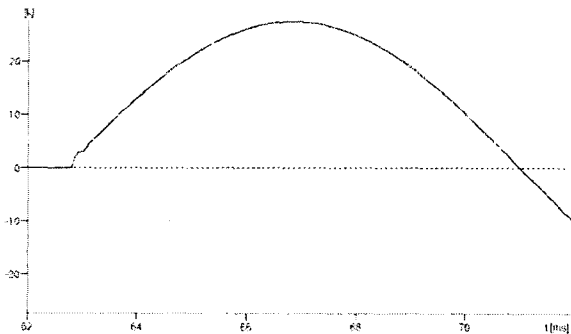
본 연구는 21세기 프린티어 연구개발사업인 차세대 초전도 응용기술개발 사업단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

### [참 고 문 헌]

- [1] H. Kameda and H. Taniguchi, "Setting Method of Specific Parameters of a Superconducting Fault Current Limiter considering the Operation of Power System Protection", IEEE Trans., on Applied Superconductivity, Vol. 9, No. 2, pp.1355-1360, 1999.
- [2] 홍원표 외, "유도형과 저항형 초전도한류기의 파라메타를 고려한 전력계통도입 효과의 분석 및 고찰", 초전도 학술대회, pp. 285-290.
- [3] R.A. Weller, A.M. Campbell, T.A. Coombs, "Computer Modelling of Superconducting Film Type Fault Current Limiters", IEEE Trans., on Applied Superconductivity, Vol. 9, No. 2, pp.1377-1380, 1999.
- [4] 김용학, 윤용범, 최효상, 현옥배, "전력계통에서의 초전도 한류기 설치를 위한 기초적 연구", 한국초전도·저온공학회논문지, 4권 2호, pp. 38-41, 2002.
- [5] K. Tekletsadik, M.P. Saravolac, "Development of a 7.5 MVA Superconducting Fault Current Limiter", IEEE Trans., on Applied Superconductivity, Vol. 9, No. 2, pp.672-675, 1999.
- [6] J.R. Cave, W.A. Willen, et al, "Testing and Modelling of Inductive Superconducting Fault Current Limiters", IEEE Trans., on Applied Superconductivity, Vol. 7, No. 2, pp.832-835, 1997.



(a) SCFCL을 설치하지 않은 경우



(b) 저항형 한류기를 설치한 경우( $T_{sc} = 1ms$ ,  $Z_{sc} = 15\Omega$ )

그림 7. 차단기 양단의 TRV 비교

Fig. 7. Comparison of TRV across the circuit breaker.

## 4. 결 론

본 연구에서는 초전도 한류기를 154kV 변전소의 피더 라인에 설치한 경우에 대한 한류 특성을 EMTP로 해석하였다. 저항형 및 유도형 초전도 한류기에 대한 한류 특성을 검토하였으며, 사고전류 제한 특성은 같은 한류 임피던스에 대해서는 유도형이 우수한 것으로 나타났지만, 차단기 측면에서 본 TRV는 저항형의 경우가 매우 TRV가 낮아서 차단기에 인가되는 전압 스트레스가 낮음을 볼 수 있었다.