

### 고온초전도 한류기의 전력계통 적용에 관한 연구

배형택\*, 유인근\*\*  
한국전력공사\*, 창원대학교\*\*

### A Study on the Power System Application of High-Tc Superconducting Fault Current Limiter

Hyenog-Thaek Bae\*, In-Keun Yu\*\*  
KEPCO JINHAE BRANCH OFFICE\*, Changwon National University\*\*

**Abstract** - Since the discovery of the high-temperature superconductors, many researches have been performed for the practical applications of superconductivity technologies in various fields. As results, significant progress has been achieved. Especially, Superconducting Fault Current Limiter (SFCL) offers an attractive means to limit fault current in power systems.

The SFCLs, in contrast to current limiting reactors or high impedance transformers, are capable of limiting short circuit currents without adding considerable voltage drop and energy loss to power systems during normal operation. Under fault conditions, a resistance is automatically inserted into the power grid to limit the peak short-circuit current by transition from the superconducting state to the normal state, the quench. The advantages, like fail safe operation and quick recovery, make SFCL very attractive, especially for rapidly growing power systems with higher short-circuit capacities.

In order to verify the effectiveness of the SFCL, in this paper, the analysis of fault current and voltage stability assessment in a sample distribution system and a transmission system are performed by the PSCAD/EMTDC based simulation method. Through the simulation, the advantage of SFCL application is shown, and the effective parameters of the SFCL are also recommended for both distribution and transmission systems. A resistive type component of SFCL is adopted in the analysis.

The simulation results demonstrate not only the effectiveness of the proposed simulation scheme but also SFCL parameter assessment technique.

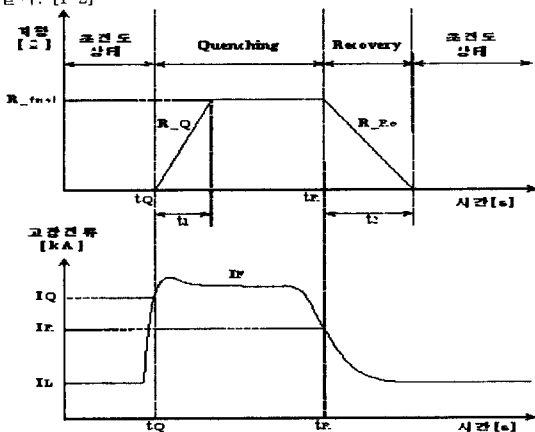
#### 1. 서 론

본 논문에서는 PSCAD/EMTDC를 이용하여 개발된 저항형 고온초전도 한류기 컴포넌트를 모델 송·배전 전력계통에 적용하여 시뮬레이션을 통해 초전도 한류기의 적용 효과를 확인하고, 고장으로 인해 발생하는 고장전류와 전압강하를 해석하여 송·배전 전력계통에서 고장전류의 제한과 전압강하 보상을 위한 초전도 한류기의 적절한 저항 값을 제시하고자한다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 초전도 한류기의 특성

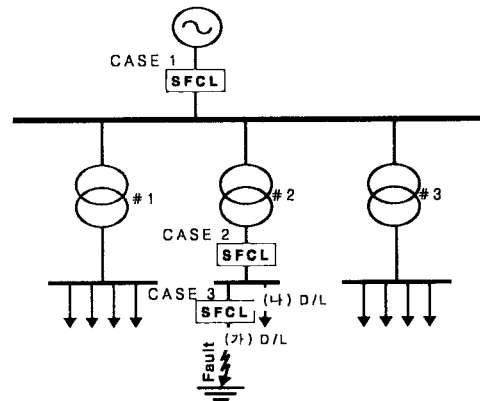
초전도 한류기의 퀸치 및 복귀 특성과 효과를 살펴보면 <그림1>과 같다. [1-2]



<그림 1> 초전도 한류기의 퀸치 및 복귀 특성

##### 2.2 배전전력계통에 한류기 적용

<그림2>는 한류기를 적용한 배전계통의 단선도를 나타낸 것이다.[3]



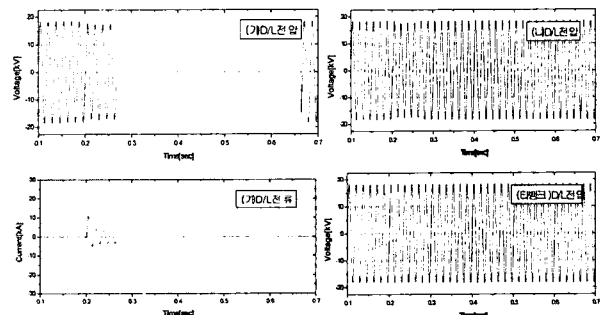
<그림 2> 시뮬레이션 적용 배전계통 단선도

##### 2.2.1 #2 MTR 2차 (가)D/L에 적용

<표1>은 (가)D/L 1선 지락고장 발생시 저항형 한류기의 상전도 저항 값을 (가)D/L인출 지점에 저항형 초전도 한류기를 적용, 0-10 [Ω]까지 1.0 [Ω] 단위로 변화시켜가며 시뮬레이션을 수행한 결과이다.

<표 1> (가)D/L 한류기 변화에 따른 전류 및 전압 변동

| (가)D/L 적용 한류기[Ω] | 차단 정격 [kA] | 고장전류[kA] |       | 전압변동[kV, %] |       |         |     |
|------------------|------------|----------|-------|-------------|-------|---------|-----|
|                  |            | (가)D/L   |       | (나) D/L     |       | (다) D/L |     |
|                  |            | 전압       | 강하율   | 전압          | 강하율   | 전압      | 강하율 |
| .0               | 25         | 29.21    | 2.07  | 84.3        | 12.42 | 5.9     |     |
| 1                |            | 20.96    | 9.45  | 28.4        | 12.63 | 4.3     |     |
| 2                |            | 16.77    | 11.29 | 14.5        | 12.72 | 3.6     |     |
| 3                |            | 14.13    | 11.96 | 9.4         | 12.75 | 3.4     |     |
| 4                |            | 12.34    | 12.26 | 7.1         | 12.77 | 3.3     |     |
| 5                |            | 10.99    | 12.43 | 5.8         | 12.78 | 3.2     |     |
| 6                |            | 9.96     | 12.53 | 5.1         | 12.79 | 3.1     |     |
| 7                |            | 9.12     | 12.60 | 4.5         | 12.79 | 3.1     |     |
| 8                |            | 9.11     | 12.60 | 4.5         | 12.79 | 3.1     |     |
| 9                |            | 9.13     | 12.60 | 4.5         | 12.79 | 3.1     |     |
| 10               | 7.41       | 12.72    | 3.5   | 12.79       | 3.1   |         |     |

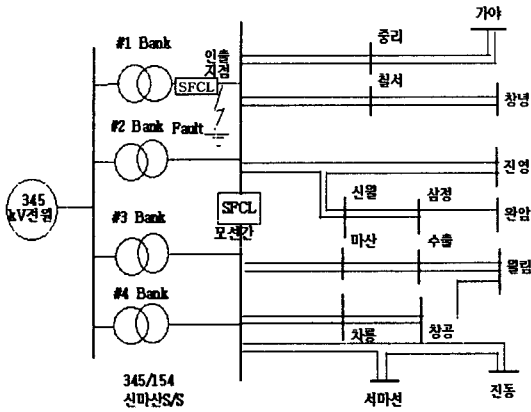


<그림 3> 한류기의 저항이 5 [Ω]인 경우의 전류, 전압 파형

<그림3>은 5 [Ω]의 한류기의 저항을 (가)D/L에 적용한 경우 (가)D/L의 고장전류와 전압, 동일뱅크 (나)D/L전압과 타뱅크 (다)D/L의 전압 파형을 나타낸 것이다.

**2.3 154[KV] 송전계통 인출지점에 한류기 적용**

<그림4>는 모델 송전계통의 단선도를 나타낸 것이다.[4]



<표2>는 그림 4 345/154 [kV] 모델 송전계통의 #1 뱅크 변압기 2차 측에서 A상 1선 지락고장이 발생시 인출지점에 한류기 저항 값을 변동 적용하여 시뮬레이션한 1선 지락 및 3상 단락 고장전류이다.

**<표 2> 저항 값 변동에 따른 지락 및 단락 고장전류**

| 구분        | 차단정격 [kA] | 적용 한류기 저항 값[Ω] |       |       |       |       |       |       |       |
|-----------|-----------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|           |           | 0              | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 10    | 15    |
| 1선지락 [kA] | 31.5 및 50 | 51.62          | 47.97 | 45.04 | 42.65 | 40.62 | 38.16 | 32.33 | 29.02 |
| 3상단락 [kA] |           | 47.88          | 44.84 | 42.36 | 40.28 | 38.50 | 37.00 | 31.50 | 27.83 |

**2.4 154[KV] 송전계통 모션간에 한류기적용**

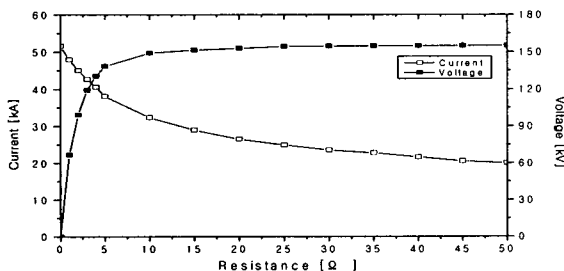
<표3>은 <그림4>의 345/154 [kV] 모델 송전계통 단선도의 154 [kV] 모션 중간에 한류기를 설치하여 저항의 크기를 변동 적용한 경우의 #1 Bank 154 [kV]측 A상 지락고장을 시뮬레이션한 결과로서 한류기 저항 크기 변동에 따른 #3 Bank A상의 전압 변동을 나타낸다.

**<표 3> 한류기 저항 변동과 #3Bank A상 전압**

| 한류기[Ω]   | 전압 [kV] |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|          | 측정      | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 10     | 15     |
| 154 [kV] | 측정      | 54.39  | 81.05  | 97.53  | 106.68 | 113.00 | 118.39 | 121.83 | 123.81 |
|          | 환산      | 66.63  | 99.29  | 119.47 | 130.68 | 138.43 | 145.03 | 149.24 | 151.67 |
|          | 차이      | 0      | 32.66  | 20.18  | 11.21  | 7.75   | 6.61   | 4.21   | 2.43   |
| 345 [kV] | 측정      | 124.94 | 125.44 | 125.91 | 126.13 | 126.33 | 126.47 | 126.57 | 126.69 |
|          | 환산      | 153.05 | 153.66 | 154.24 | 154.51 | 154.75 | 154.93 | 155.05 | 155.19 |
|          | 차이      | 1.38   | 0.60   | 0.57   | 0.28   | 0.24   | 0.18   | 0.12   | 0.14   |

**2.4.1 한류기의 저항 값과 보상 전압**

<그림5>는 한류기의 저항 값에 따른 #1뱅크 고장전류와 #3 뱅크 A상 보상전압 변동 관계를 그래프로 나타낸 것이다.



**<그림 5> 한류기의 저항 값과 보상 전압**

**3. 결 론**

국내 전력계통(154 [kV] 및 345 [kV] 송전선)은 전력공급의 신뢰도 향상 및 계통 운영의 유연성을 위하여 변전소간을 연결하는 송전선로가 망상 형태로 되어 있는데, 최대수요의 지속적인 증가에 따른 설비 증설로 사고시의 고장전류(fault current)는 계속 증대하여 전원 밀집지역과 같이 전력계통 등가 임피던스가 낮은 지역에서는 차단기 차단내력을 초과하고 있어 대단위 전원단지를 중심으로 이미 2 모션운전 등 고장전류 억제 대책이 적용되고 있거나 고가인 상위용량의 차단기를 적용할 예정이다. 그러나 차단기의 차단내력을 증가시키는 것은 기술적 및 경제적인 면을 고려할 때 많은 제약이 따르게 된다.

본 논문에서는 모델 배전 및 송전 전력계통에 PSCAD/EMTDC를 이용하여 개발된 저항형 초전도 한류기 컴포넌트를 적용하여 고장으로 인해 발생하는 고장전류와 전압강하를 적정 수준으로 제한 또는 보상 할 수 있는 한류기의 설치 위치와 저항 값을 제시하였다.

1) 배전계통의 차단기 보호를 위한 고장전류 감소만을 목적으로 한류기 저항 값을 선정한다면, 1개 [D/L]당 1 [Ω]의 크기이면 차단정격전류(25 [kA]) 이하로 고장전류를 감소시키는데 충분한 것으로 확인된다.

2) 전기사업법 제18조에서 정한 220 [V] 전압유지 범위는 ±13V(207-233V)이고 이를 1차 측, 13.2 [kV]측으로 환산하면, 선로의 전압 변동은 12.42-13.98 [kV]로서 ±5.9 [%]이다. 선로 지락고장으로 인한 전전선로의 전압변동을 -5.9 [%] 이내로 유지하기 위한 한류기의 적절한 값은 동일뱅크에서는 5 [Ω], 타 뱅크에서는 1 [Ω] 이상이다.

3) 저항형 초전도 한류기의 저항이 증가함에 따라 고장전류 제한 효과는 커지지만 저항의 증가분에 비하여 얻을 수 있는 효과는 점차 줄어들게 되고, 5 [Ω]을 기점으로 이후는 거의 동일한 결과가 나타난다.

4) 345/154 [kV] 모델 송전계통의 #1 뱅크 변압기 2차 측에서 A상 1선 지락고장이 발생할 때 저항형 초전도 한류기의 EMTDC 컴포넌트를 154 [kV]급 등가 송전계통의 인출지점에 적용하여 전류를 제한하고자 하면 차단기 정격기준이 31.5 [kA] 일 때는 적어도 15[Ω] 이상, 50 [kA]의 경우에는 1[Ω] 정도의 한류기가 필요하다.

5) 고장이 발생하지 아니한 정상상태에서 모션을 분리한 경우의 전압은 변압기 특성에 따라 #1 Bank가 154 [kV], #3 Bank가 157[kV]로 약간 다르지만 모션을 연결한 경우 전압은 155 [kV]로 동일하다.

6) 지락고장이 발생한 상태에서 #3 뱅크 전압은 모션 분리한 경우에는 157 [kV]로 타 뱅크 고장의 영향이 없으며, 모션 연결된 경우에는 252 [kV]로서 동일 모션에 연결된 타 뱅크의 전압도 고장이 발생한 뱅크와 동일하게 고장전압이 나타난다. 즉 모션을 분리한 경우는 타 뱅크 고장으로부터 자유로울 수 있다는 장점이 있는 반면, 모션을 연결한 경우는 안정되고 동일한 크기의 전압을 확보할 수 있다.

7) 지락고장이 발생한 상태에서 타 뱅크 전압을 154 [kV] 계통전압 최저 유지범위인 152 [kV]로 보상하기 위해 154 [kV] 모션 간에 필요한 한류기의 저항은 20 [Ω] 이다

8) 또한 한류기의 저항 값에 따른 타 뱅크 보상 전압은 한류기의 저항 값이 1 [Ω]에서 4 [Ω]까지는 급격하게, 5 [Ω] 이후는 완만하게 증가함을 알 수 있으며, 20 [Ω] 이후는 1 [kV] 미만의 미소한 증가가 있음을 알 수 있어 한류기의 저항 효과는 20 [Ω] 이 한도인 것으로 나타난다.

초전도한류기의 전력계통 적용에 대한 연구 논문들이 고장발생시 초전도 한류기를 적용하여 이루어지는 고장전류 감소효과로 상위용량의 차단기 교체 지연 또는 미 교체로 인한 경제성과 관련된 내용들이 주로 많다. 본 논문에서는 고장전류 감소효과뿐만 아니라 고장으로 인해 발생하는 전전뱅크 또는 전전선로의 전압강하를 해석하여 전압유지기준 범위 이내로 전압을 보상하기 위한 초전도한류기의 적절한 값을 제시하여 향후 이와 관련한 실 계통 적용에 근거로 이용할 수 있을 것이다.

**[감사의 글]**

본 연구는 과학기술부 21세기 프론티어연구개발사업인 차세대 초전도응용기술개발사업단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

**[참 고 문 헌]**

[1] 한국전력공사 전력연구원, "초전도사고전류제한기술개발(1)", 최종보고서, 전력연구원, pp. 3-8, 13-21, 29, 2002. 3  
 [2] 최효상, 현옥배, 김상준, 한병성, "2선지락사고에 대한 저항형과 유도형 한류기의 전류제한특성", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 1999. 7  
 [3] 허태진, 배형택, 박민원, 유인근, "전력품질 향상을 위한 저항형 고온 초전도한류기의 배전시스템 적용", 2003년도 대한전기학회 춘계학술대회 논문지, 2003. 5  
 [4] 허태진, 배형택, 박민원, 유인근, "EMTDC를 이용한 154kV 송전계통에서의 초전도 한류기 적용 해석", 2004년도 대한전기학회 하계학술대회 논문지, 2004. 7