

자속결합을 이용한 초전도 한류기의 사고 유형별 과도특성 해석

정병익\*, 최효상\*, 조용선\*, 하경훈\*, 최수근\*, 고성필\*\*  
 조선대학교\*, 한국폴리텍1대학 제주캠퍼스\*\*

Transient characteristics of flux-coupling type SFCL according to fault type

Byung-Ik Jung\*, Hyo-Sang Choi\*, Yong-Sun Cho\*, Kyung-Hun Ha\*, Sung-Pil Go\*\*,  
 Chosun University\*, Korea Polytechnic I college Jeju Campus\*\*

**Abstract** - 국내의 전력계통은 송전거리가 짧고, 전력공급의 신뢰도 및 안정도 향상을 위해서 망상구조로 되어있다. 이러한 구조는 사고시 임피던스 저하로 인해 사고전류의 크기가 차단기 차단내력을 초과하게 된다. 또한 전력수요 증가로 인해 사고전류의 크기는 계속 증가하고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 배전계통의 장비 및 대용량 보호기기로의 교체나 모선 분리 등의 방법을 실시하고 있지만 평상시 계통에 미치는 영향과 손실 발생에 따른 효율저하, 대용량 차단기와의 교체에 따른 경제적인 문제를 수반하게 된다. 이러한 문제점을 효과적으로 해결하기 위해 초전도 한류기가 고안되었다.

본 연구에서는 변압기와 초전도 소자를 이용한 자속 결합형 초전도 한류기의 3상 사고전류제한 실험을 수행하였다. 자속 결합형 초전도 한류기는 평상시 정상 상태에서는 초전도 소자가 저항을 발생시키지 않고, 1, 2차 리액터에서 발생하는 자속은 서로 상쇄되어 전압이 유지되지 않음으로써 아무런 손실 없이 동작한다. 하지만 계통에서 사고가 발생하여 초전도 소자 임계 전류값 이상의 사고전류가 유입되면 초전도 소자가 켜치되어 저항을 발생하게 된다. 또한 병렬로 연결된 2차측 리액터에 사고 전류가 bypass되어 1, 2차 리액터에서 전압이 유지되고 이에 따라 안정적으로 사고전류를 제한하게 된다.

1. 서 론

현재의 급증하는 전력 사용량에 맞춰 전력설비들이 증설되고 있다. 국내의 전력망은 망상 구조로서 이러한 설비의 증설로 인해 계통 고장시 큰 사고전류를 수반하게 된다. 이러한 사고전류 저감 대책으로 많이 노력들이 시도되고 있지만 기술적, 경제적으로 많은 문제를 안고 있다. 이러한 이유로 기존 설비를 그대로 유지하면서 효율적으로 사용할 수 있는 초전도 한류기에 대한 연구가 진행되고 있다. 현재 한전전력연구원과 LS산전에서 하이브리드 초전도 한류기를 설계 제작하여 상용화를 위해 이천변전소에 설치하여 실증시험을 준비 중에 있다. 하지만 아직까지도 풀어야 할 문제들이 많을 것이라 생각된다.

본 논문에서는 변압기와 초전도 소자를 병행한 자속결합형 초전도 한류기의 계통 사고 유형에 따른 과도 특성을 살펴보았다. 계통 사고시 사고전류의 크기 및 초전도 소자가 받는 부담 등을 분석함으로써 초전도 한류기의 동작 상태를 살펴보았다.

2. 본 론

2.1 실험 방법

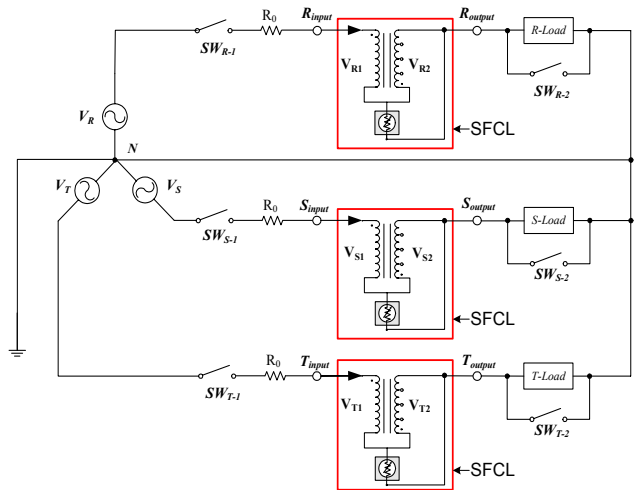
그림 1은 자속결합형 초전도 한류기의 삼상 실험회로도이다. SW1 (SW<sub>R-1</sub>, SW<sub>S-1</sub>, SW<sub>T-1</sub>)을 통해 각 상에 전원 전압을 인가하고, SW2 (SW<sub>R-2</sub>, SW<sub>S-2</sub>, SW<sub>T-2</sub>)를 통해서 계통의 사고를 발생시키는 작용을 한다. 그림 2-3-1의 그림에서 붉은색 박스로 표시된 것이 변압기와 초전도 소자가 연결된 구조의 초전도 한류기를 나타낸다. 회로상에서는 각 상의 코일이 분리되어 있지만 실제로는 하나의 철심 코어를 공유하는 삼상 일체형 변압기이다. 따라서 각 상에 유입되는 전류 및 전압이 다른 상에 영향을 미치게 되어있다. 삼상 일체형 변압기는 현재 동량의 감소나 설치 면적 감소를 위해서 많이 사용되고 있다. 표 1은 자속결합형 초전도 한류기에 사용된 변압기 코일의 인덕턴스 값을 나타낸다. 참고로 본 논문에서는 1차측과 2차측 턴수비를 4 : 1로 하여 실험을 진행했다.

2.2.1 실험 결과 및 고찰

그림 2는 1선, 2선, 3선 지락 사고시의 자속결합형 초전도 한류기의 과도 상태시 사고전류 크기 및 변압기 1차측 전압 및 초전도 소자의 전압을 측정한 데이터이다. 그림 2 (a) 1선 지락사고의 경우 사고전류의

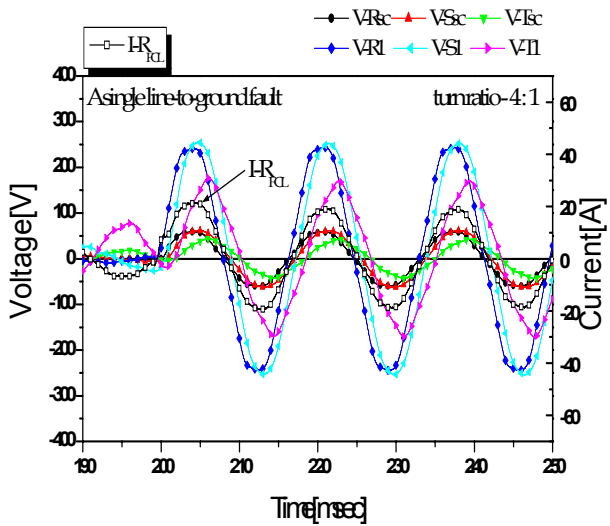
<표 1> 삼상 변압기 코일의 인덕턴스

R-phase		S-phase		T-phase	
Tap	Inductance [mH]	Tap	Inductance [mH]	Tap	Inductance [mH]
0-1	2.017	0-1	2.590	0-1	1.648
0-2	8.073	0-2	10.356	0-2	6.595
0-3	18.125	0-3	23.220	0-3	14.813
0-4	32.089	0-4	41.097	0-4	26.220

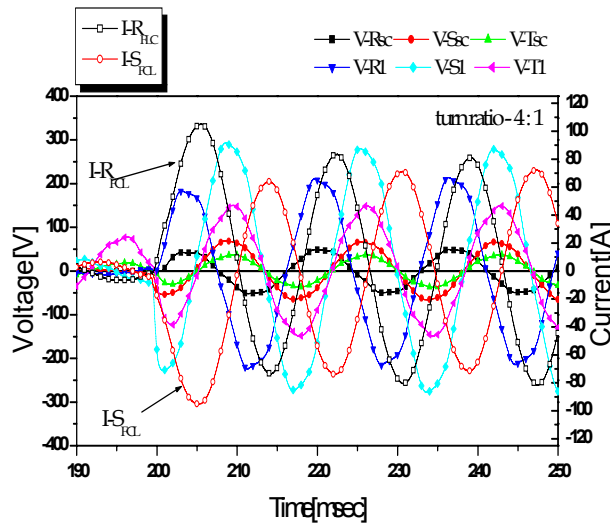


<그림 1> 자속결합형 초전도 한류기의 실험회로도

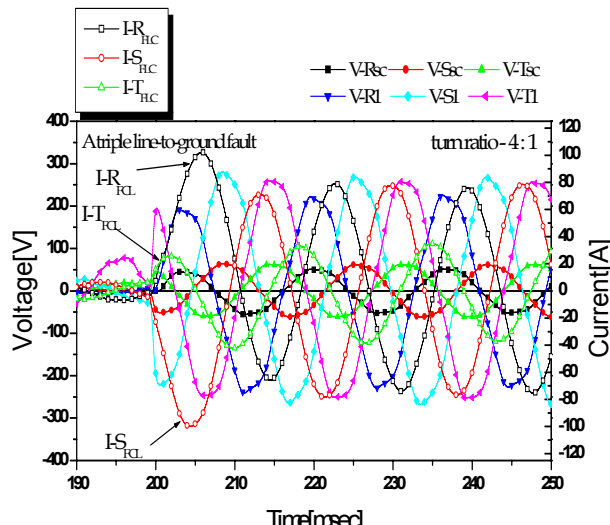
크기가 크기 않았음에도 불구하고 각 상의 초전도 소자에서 켜치가 발생하여 전압이 유지 되었다. 이 때 사고전류의 크기는 90%이상 제한된 것을 확인할 수 있었다. 그림 2 (b) 2선 지락사고의 경우에서도 사고전류가 1선 지락 사고에 비해 2배 이상 증가하기는 했지만 이것도 사고전류를 60%이상 제한한 값이다. 2선 지락사고의 경우는 두 상에 유입된 사고전류가 하나의 철심코어에 영향을 미쳐서 사고전류의 크기가 1선 지락사고에 비해 많이 제한되지는 않았다. 하지만 60%정도의 한류동작도 차단기와외의 보호 협조를 위해서선 충분한 제한률이다. 그림 2 (c) 3선 지락사고의 경우는 2선 지락사고와 같이 사고전류 제한률이 낮음을 확인할 수 있다. 여기서 한 가지 주목한 것은 2선 지락사고와 비교해서 3선 지락사고의 경우는 R, T상의 사고전류는 거의 비슷하고 T상의 전류만 증가한 것이다. 이러한 결과는 각 상의 용량 한계가 있고, 그 한계를 넘어서게 되면 용량이 남아있는 다른 상에서 사고의 부담을 부담한다는 것을 보여준다. 사고유형에 따른 각 상의 초전도 소자는 켜치시 발생된 전압의 크기가 거의 일정한 값을 나타냈다. 초전도 소자는 전류제한 동



(a) 1선 지락사고 (400[V])



(b) 2선 지락사고 (400[V])



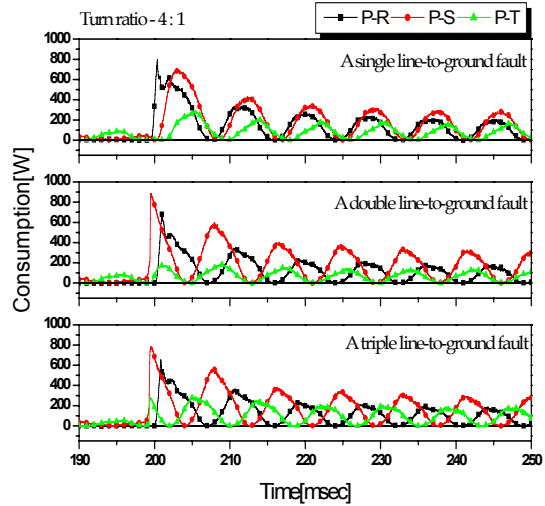
(c) 3선 지락사고 (400[V])

<그림 2> 자속결합형 초전도 한류기의 사고유형별 전압 전류

작보다는 사고를 감지하고 변압기 코일 2차측에 전류를 bypass 시킴으로써 변압기의 자속 불균형을 유도하여 변압기 코일이 사고전류 제한하는 역할을 수행하는 것을 건인하였다고 하겠다.

### 2.2 본론

그림 3은 자속결합형 초전도 한류기의 사고유형별 초전도 소자의 전력부담을 나타낸 그래프이다. 그래프의 면적이 넓을수록 초전도 소자에 가해지는 전력부담이 크다는 것을 보여준다. 3선 지락사고의 경우 각 상



<그림 3> 자속결합형 초전도 한류기의 사고유형별 전력곡선

초전도 소자 3개의 면적의 합이 가장 큰 것을 확인할 수 있었다. 3선 지락사고시의 전력부담을 2선 지락사고와 비교해 보면 T상의 크기만 차이가 있고 R, S상의 전력 부담은 거의 같음을 확인할 수 있었다.

### 3. 결 론

본 논문은 자속결합형 초전도 한류기의 전력 계통내의 사고유형에 따른 과도특성을 분석하였다. 1선, 2선, 3선 지락사고에서 각 상의 제한된 사고전류의 크기 및 초전도 소자의 전력 부담 정도를 비교 분석하였다. 3선 지락사고는 계통내에서 거의 발생하지 않는 사고이지만 발생하게 되면 계통에 가장 큰 충격을 주게 된다. 본 실험의 경우에도 3선 지락사의 경우 초전도 소자의 전력 부담이 가장 큰 것을 확인할 수 있었다. 또한 각 상의 제한된 사고전류의 크기도 가장 큼을 확인하였다. 3상 지락사고와 같은 과도한 사고에서도 사고전류 제한률은 감소하긴 했지만 계통내 보호 협조를 위한 정도로 사고전류를 감소시키는 역할은 수행했다고 판단할 수 있다. 또한 자속결합형 초전도 한류기는 고가의 초전도 소자의 사용을 최소화 하고 변압기 용량에 변화를 줌으로써 수요에 맞는 설계가 가능할 것으로 사료된다.

### [참 고 문 헌]

- [1] Hyo-Sang Choi, Yong-Sun Cho, Sung-hun Lim, "Operational characteristics of hybrid-type SFCL by the number of secondary windings with YBCO films", IEEE Trans. on Appl. Supercond., vol. 16, pp.719-722, June 2006
- [2] H. S. Choi, S. H. Lim, "Operating Performance of the Flux-Lock and the Transformer Type Superconducting Fault Current Limiter Using the YBCO Thin Films", IEEE Trans. Appl. Superconduct., vol. 17, pp. 1823-1826, 2007.
- [3] Hyo-Sang Choi, Na-Young Lee, Young-Hee Han, Tae-Hyun Sung, and Byoung-Sung Han, "The Characteristic Analysis Between Flux-Coupling and Flux-Lock Type SFCL According to Variations of Turn Ratios", IEEE Trans. Appl. Superconduct., vol.18 ,no.2,pp.737-740,2008.
- [4] Hyo-Sang Choi, Byung-Ik Jung, Yong-Sun Cho, "Transient characteristics of a Flux-Coupling type Superconducting fault current limiter according to winding direction", IEEE Trans. on Appl. Supercond., vol. 19, pp.1827-1830, June 2009