

두 코일의 직렬연결을 갖는 자기결합형 초전도 전류제한기의 임피던스 변화분석

김경택, 김운호, 임성훈  
 송실대학교 전기공학부

Impedance variation analysis of magnetic coupling-type superconducting fault current limiter with the series connection of two coils

Kyung-Tac Kim, Yun-Ho Kim, Sung-Hun Lim  
 Soongsil University

**Abstract** - 고장전류의 문제점을 파악하고, 두 코일의 직렬연결을 갖는 자기결합형 초전도 전류제한기의 필요성에 대해서 알아 보았다. 그리고 두 코일의 직렬연결을 갖는 자기결합형 초전도 전류 제한기의 구성과, 실험장치의 회로구성에 대하여 나타내었다. 실험에서는 결선방향의 변화와 부하저항 값의 변화에 따른 사고전류와 초전도 소자의 값을 측정하여 분석하였다. 또한, 사고 제거 후 제한기의 복귀시간 변화의 값을 측정하고 그에 따른 분석 후 발전 가능성을 예측해보았다.

전압과 흐르는 전류를 측정하여 초전도 전류제한기의 임피던스의 변화를 분석하였다. 실험에 사용된 소자 전원 임피던스는  $R_s$  2.3 [ohm],  $L_s$  2.64 [mH], 사고상 부하 임피던스는  $R_{L1}$  50 [ohm], 사고상 전로 임피던스는  $L_f$  2.66 [mH], 건전상 전로 임피던스는  $L_f$  2.56 [mH] 이다.

1. 서 론

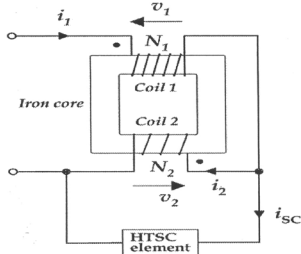
현재 한국 전력 공사의 345kV 전력계통 차단기의 정격차단전류는 40kV이며, 154kV용 차단기의 정격차단전류는 31.5kV, 50KA 두 종류가 있다. 345kV 및 154kV 고장전류 차단내력 초과현상은 꾸준히 증가하고 있다. 또한, 최근 전력 사용량이 증가함에 따라 고장전류도 증가하고 있다. 그에 따라 전력계통 등가 임피던스가 낮은 지역에서는 고장전류가 차단기 차단내력을 초과하고 있어 대단위 전원단지를 중심으로 이미 모선분리 고장전류 억제 대책이 적용되고 있다. 또한, 증대되는 고장전류에 대응하여, 더 높은 용량의 차단기를 적용할 예정이다. 그러나 이러한 방법은 기술적, 경제적인 면에서 근본적인 대책은 아니다. 이러한 문제에서 벗어나기 위해 제시되고 있는 방법이 초전도 한류기를 이용하는 것이다. 이러한 초전도 한류기는 현재 유도형, 저항형, 복합형 등 다양한 방식으로 시도되고 있다.[1]

현재 사고전류는 계속적으로 증가하고 있다. 이런 문제의 대책 중 하나로 두 코일의 직렬연결을 갖는 자기결합형 초전도 제한기를 들 수 있다. 직렬연결 초전도 한류기는 계통에서 용량의 증대를 가져오므로 안정도를 유지 할 수 있게 한다. 이러한 특성을 이용하여 본 논문은 두 코일이 직렬연결을 갖는 자기결합형 초전도 전류제한기에 대한 실험을 통해 문제에 대한 방안을 모색해 본다.[2]

2. 본 론

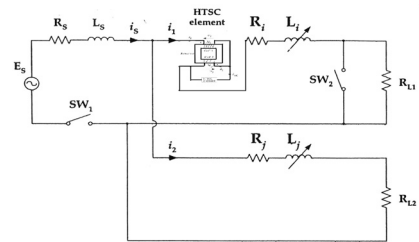
2.1 실험 장치 구성

두 코일의 직렬연결을 갖는 자기결합형 초전도 전류제한기는 그림 1과 같이 병렬로 연결되어 있는 두 코일과 N2와 직렬로 연결되어 있는 초전도 소자로 구성되어 있다.



<그림 1> 두 코일의 직렬연결을 갖는 자기결합형 초전도 전류제한기

실험장치구성은 그림 2와 같이 결선하였다. 단락사고는 SW1을 닫아 전원을 인가한 후 SW2를 일정한 주기 동안 투입하여 실험을 하였다. 그리고 각 코일의 전압과 전류, 초전도 소자양단의

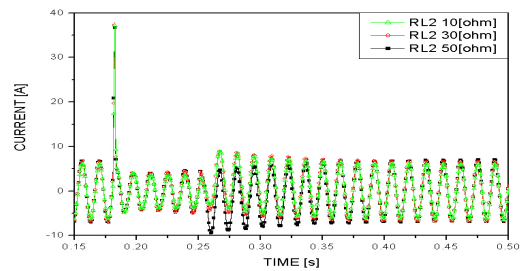


<그림 2> 실험장치 회로구성도

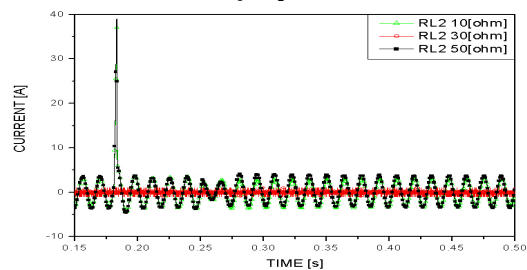
2.2 실험 측정값 분석

2.2.1 감극 결선시 사고전류와 소자 저항 특성 분석

이 실험은 결선방향에 따른 사고 전류와 소자 저항의 변화특성을 다루고 있다. 그리고 결선 방향과 함께 권선비를 4:1과 4:2로 하여 그에 따른 변화를 알아보았다. 또한,  $R_{L2}$ 의 값을 10 [ohm], 30 [ohm], 50 [ohm]으로 변화를 주어 그에 따른 영향을 분석하였다.



(a)  $N_1 : N_2 = 4 : 1$

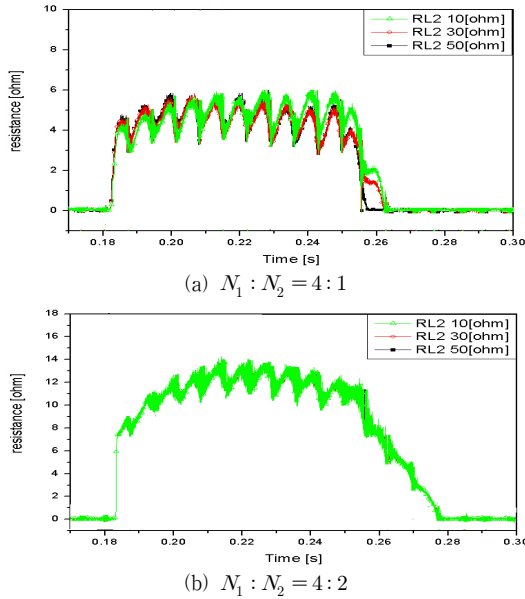


(b)  $N_1 : N_2 = 4 : 2$

<그림 3> 감극결선 시 사고전류 파형

그림 3에서는 두 코일을 감극 결선하였을 때의 사고 전류를 나타낸 것이다. 두 코일의 권선비가 4:2일 때는 정상 시에는 약 -3.2 [A]에서 3.41 [A]정도 전류가 흐르다가 사고 시에는 0.18[s]일 때 약 38.5 [A]가

지 증가하게 된다. 그리고 권선비가 4:1일 때는 정상 시에 -6.8 [A]에서 7.11 [A]정도 전류가 흐르다가 사고 시에는 약 37 [A]까지 증가하게 된다. 그림을 통해 사고로 인해 켄치가 발생하고 0.2 [s] 정도의 시간이 지나면 정상상태의 전류로 돌아오는 것을 볼 수 있다.

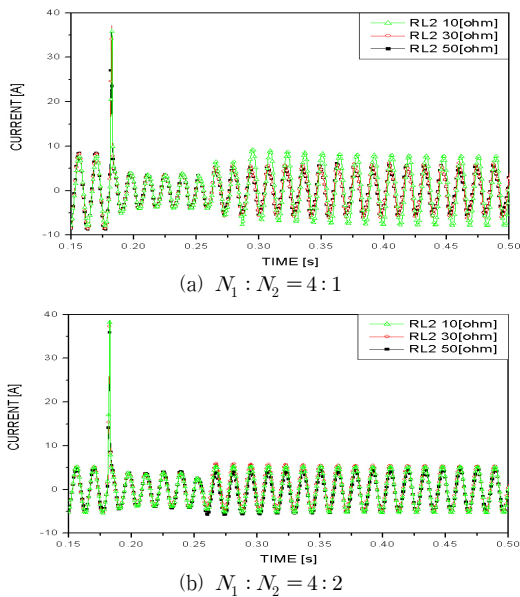


<그림 4> 감극결선 시 소자저항 파형

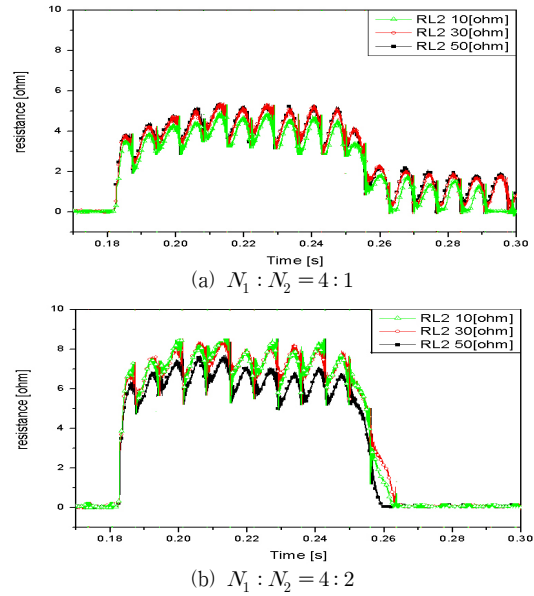
그림 4는 사고 발생 시 소자의 저항 변화를 나타내는 그림이다. 권선비 4:2 일 때 0.18[s]에 0 [ohm]이었던 소자 저항이 4.8 [ohm]으로 변화 하였다. 그 이후 사고 전류가 제한되고 증가 되었던 소자의 저항값이 서서히 감소되어 0 [ohm]으로 복귀했다. 권선비 4:1일 때는 9.7 [ohm]으로 변화한다. 그리고 0.26 [s]이후에는 0 [ohm]으로 복귀한다.

### 2.2.1 가극 결선시 사고전류와 소자 저항 특성 분석

그림 5는 두 코일을 가극 결선하였을 때 사고 전류를 나타내는 것이다. 두 코일의 권선비가 4:2일 때 정상 시에는 약 -5.3 [A]에서 5.2 [A] 정도 흐르다가 사고 발생시 0.18[s]일 때 약 38.7 [A]까지 증가하게 된다. 권선비가 4:1일 때 정상 시에는 -8.7 [A]에서 8.3 [A]정도 흐르다가 사고발생 시 0.18[s]일 때 36.5 [A]까지 증가하게 된다. 감극 결선일 때 보다 좀 더 정상 상태로 돌아오는데 오랜 시간이 걸린다는 것을 확인할 수 있다.

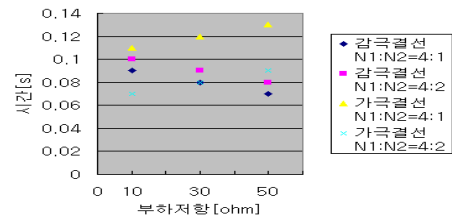


<그림 5> 가극결선 시 사고전류 파형



<그림 6> 가극결선 시 소자저항 파형

그림 6은 가극 결선 시 사고가 발생하였을 때의 소자저항의 변화를 나타내는 그림이다. 권선비가 4:2일 때 0.18[s]에서 켄치가 발생하여 0 [ohm]이었던 소자 저항이 7.25 [ohm]으로 증가한다. 그리고 소자 저항은 0.26[s]이후에 정상 상태 0 [ohm]으로 복귀한다. 권선비가 4:1일 때는 사고 발생 시 소자 저항이 3.57 [ohm]으로 증가한다. 그리고 0.20[s]이후에는 0 [ohm]으로 복귀하게 된다. 권선비가 4:1에서의 소자 저항은 0으로 돌아오는 시간이 다른 소자에 비해 많은 시간이 걸리고 있다. 이는 가극 결선시 권선비가 4:1일 때 SFCL이 사고전류를 제한하는데 시간이 오래 걸린다는 것을 보여준다.



<그림 7> 결선/턴수 별 소자저항 복귀 시간의 변화

전체적 실험의 결과를 분석하여 종합해 보면 그림 7과 같음을 알 수 있다. 즉, 감극 결선 턴수비가 4:1을 가지고 있는 직렬형 SFCL이 가장 빠른 소자저항 복귀를 보여준다.

### 3. 결 론

본 실험에서는 SFCL의 한계성을 극복할 것으로 예상되는 SFCL 직렬형의 극성, 부하저항, 코일의 권선비 변화에 따른 사고 전류 및 소자 저항의 변화를 분석하였다. 본 실험의 얻은 결론은 다음과 같다. 동일 권수비에서 감극 결선과 가극 결선의 사고 전류는 큰 차이가 없다. 동일 극성일시 코일의 권수비가 높을 수록 사고 전류는 증가한다. 권선비가 4:2일 경우 가극 결선의 소자 저항이 감극 결선보다 약 1.51배 증가함을 알 수 있다. 그러나 권선비 4:1일 경우 감극 결선의 소자 저항이 가극 결선보다 약 2.72배 증가함을 알 수 있다. 가극 결선이 감극 결선보다 신속히 정상 전류 상태로 돌아온다. 즉, 전력 사용량이 증가함에 따라, 고장전류가 높아지는 현재에는 감극 결선을 사용한 SFCL이 고장전류의 확산을 막고, 안전도를 높이는 데 적합하다고 예상 되어진다.

### [참 고 문 헌]

[1] 과학기술부, “전력용 고온초전도 한류기 개발 및 특성해석”, pp.21, 2001  
 [2] 임성훈, “자속구속형 초전도 사고전류 제한기의 직렬연결을 통한 동시 켄치특성 향상”, 한국조명전기설비학회논문지, 제21권8호, 102, 2007