

논문 23-2-11

전력계통의 중성선에 적용된 초전도한류기의 대칭고장전류 저감방안 분석

Analysis on Reduction Method of Symmetrical Fault Current in a Power System with a SFCL applied into Neutral Line

임성훈^{1,a}
(Sung-Hun Lim^{1,a})

Abstract

The superconducting fault current limiter (SFCL) applied into the neutral line of a power system, which can limit the unsymmetrical fault current from the single-line ground fault or the double-line ground fault, was reported to be the effective application location of the SFCL in a power system. However, the limiting operation for the symmetrical fault current like the triple line-ground fault is not effective because of properties of the balanced three-phase system. In this paper, the limiting method of the symmetrical fault current in a power system with a SFCL applied into neutral line was suggested. Through the short-circuit experiments of the three-phase fault types for the suggested method, the fault current limiting and recovery characteristics of the SFCL in the neutral line were analyzed and the effectiveness of the suggested method was described.

Key Words : Superconducting fault current limiter (SFCL), Unsymmetrical fault current, Balanced three-phase system, Neutral line, Fault current limiting and recovery characteristics

1. 서론

지속적인 전력수요 증가로 인한 송전용량증대는 전력계통의 단락전류 증가를 가져오게 되었으며, 전력계통의 차단기와 같은 보호기기의 용량초래로 대용량차단기로 교체가 불가피하게 되었다. 대용량차단기로 교체에 따른 비용증가를, 차단기 교체 지연 또는 고장전류 저감을 통해 감소시키기 위한 기술적인 방안들이 연구되어 왔으며, 보다 효과적인 저감방안으로 초전도 전류제한기에 관심이 집중되면서 실계통 적용을 위한 초전도 전류제한기 개발이 진행되어 왔다[1-5]. 이와 함께 다양한 초전도 전류제한기 모델개발에 대한 연구가 주로

이루어져 왔으나 현재는, 초전도 전류제한기의 전력계통적용을 위한 본격적인 연구가 진행되고 있다[6,7].

전력계통에 초전도 전류제한기를 적용하기 위해서는 단상 초전도 전류제한기를 세 개의 상에 각각 적용할 필요가 있으나, 전력계통 대부분의 고장이 일선지락 또는 이선지락과 같은 비대칭고장으로 초전도 전류제한기의 이용율을 증가시키고 개수감소로 인한 냉각비용과 같은 비용절감을 기대할 수 있는 보다 현실적인 적용위치로 주변압기 2차측 중성선에 적용하는 방안이 보고된 바 있다[8].

그러나, 대칭고장인 삼상단락과 같은 보다 심각한 고장에 대해서는 삼상시스템의 특성상 중성선에 적용된 초전도 전류제한기의 동작을 기대하기 어렵기 때문에 비대칭고장전류뿐 아니라 대칭고장전류까지 제한할 수 있는 방안마련이 필요하다.

본 논문에서는 전력계통의 중성선에 적용된 초전도한류기의 대칭고장전류 제한을 위한 방안으로

1. 숭실대학교 전기공학부
(서울시 동작구 상도5동 1-1)
a. Corresponding Author : superish73@ssu.ac.kr
접수일자 : 2009. 9. 21
1차 심사 : 2009. 12. 1
심사완료 : 2010. 1. 21

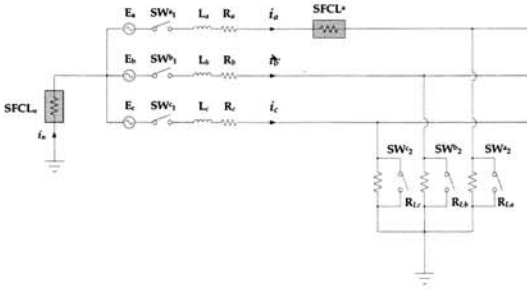


그림 1. 중성선에 적용한 초전도 전류제한기의 대칭고장전류저감을 위한 모의실험회로도.
 Fig. 1. Experimental circuit for the reduction of the fault current with the symmetrical component in a SFCL applied into the neutral line of a power system.

삼상선로중 한 상에 초전도 전류제한기를 적용하여 비대칭 고장전류뿐 아니라 대칭 고장전류를 제한하는 방안에 대해 제안하였다.
 제안한 방안의 모의실험회로를 구성하고 삼상고장종류별 단락모의실험을 통해 중성선과 삼상중 한 상에 설치된 초전도 전류제한기의 비대칭 고장전류와 비대칭 고장전류의 제한과 회복특성에 대해 분석하였다.

2. 실험회로 구성

전력계통 중성선에 초전도 전류제한기 적용시 비대칭고장 및 대칭고장전류 제한분석을 위한 모의실험계통은 전원측 변압기, 선로 임피던스, 부하로 그림 1과 같이 구성하였으며, 모의실험계통 구성요소 사양은 참고문헌 [6]과 같다. 변압기 2차측 중성선에 초전도 전류제한기를 설치한 경우와 변압기 2차측 중성선과 a상 선로에 초전도 전류제한기를 설치한 경우에 대해 전원투입 스위치와 단락모의 스위치를 동작시켜 일선지락, 삼선지락을 모의하여 비교하였다.

3. 결과 및 고찰

중성선에 초전도 전류제한기를 적용한 경우와 중성선과 a상에 초전도 전류제한기를 적용한 경우에 대해 비대칭고장전류 발생을 위한 일선지락고장을 모의하였으며, 부하전압과 선로전류를 그림 2에 나타내었다. 두 가지 경우 모두 고장상 전류가 제한되는

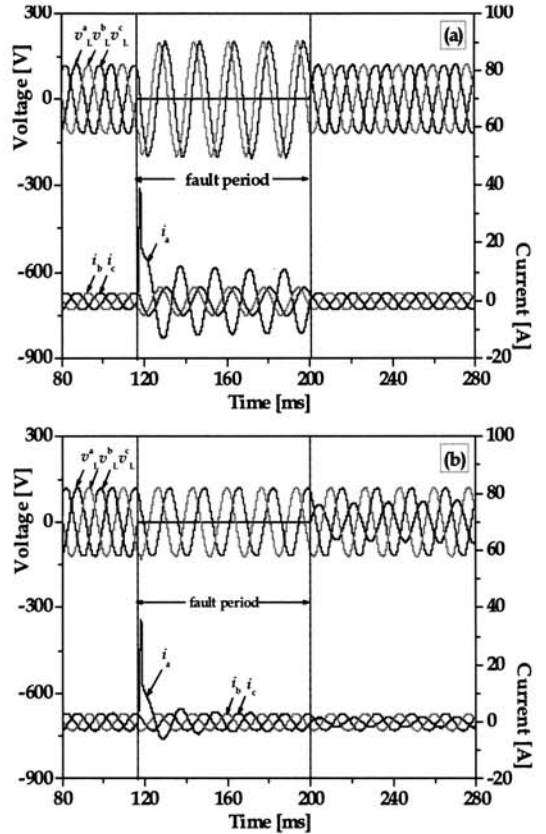


그림 2. 일선지락시 부하전압 및 선로전류.
 (a) 중성선에 초전도 전류제한기를 적용한 경우
 (b) 중성선과 a상에 초전도 전류제한기를 적용한 경우

Fig. 2. Load voltages and line currents in case of the single-line to ground fault.
 (a) a SFCL applied into neutral line
 (b) SFCLs applied into neutral line and a phase

것을 볼 수 있으며, 중성선에 적용한 경우(그림 2(a))에는 건전상인 b, c 상의 부하에서 200 V로 전압상승이 발생하는 것과, 고장제거와 동시에 정상시 전압인 165 V 크기로 즉시 복구되는 것을 관찰할 수 있다. 반면에, 중성선과 선로의 a상에 초전도 전류제한기를 적용한 경우에는 고장기간동안 건전상인 b, c 상의 부하전압 상승은 발생하지 않았으며, 고장제거후에 고장상인 a상의 부하전압이 고장전 크기로 복구하는데 일정시간이 걸리는 것을 볼 수 있다.

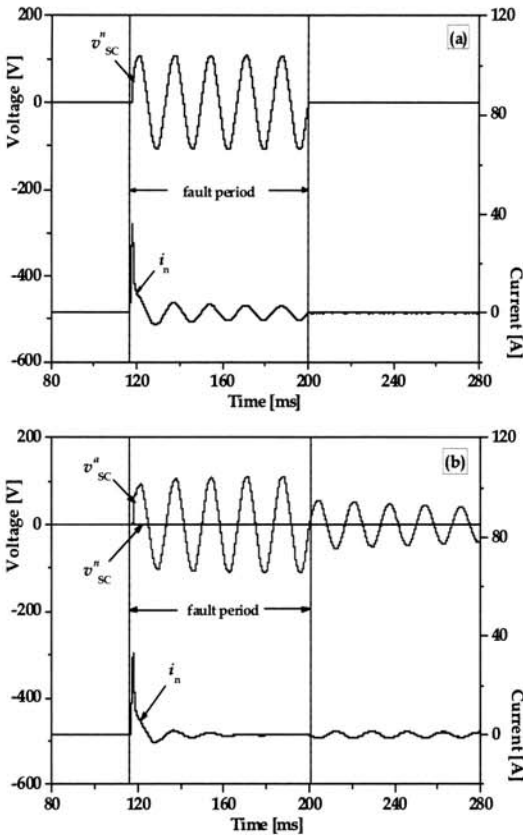


그림 3. 일선지락시 초전도 전류제한기 전압 및 중성선 전류.

- (a) 중성선에 초전도 전류제한기를 적용한 경우
- (b) 중성선과 a상에 초전도 전류제한기를 적용한 경우

Fig. 3. Voltages of SFCLs and neutral current in case of the single-line to ground fault.
 (a) a SFCL applied into neutral line
 (b) SFCLs applied into neutral line and a phase

일선지락시 초전도 전류제한기 전압과 중성선 전류를 나타낸 그림 3에서 중성선과 a상에 초전도 전류제한기를 설치한 경우에는 a상 지락고장발생으로 a상에 설치된 초전도 전류제한기가 동작하여 고장전류를 제한함에 따라 비대칭전류성분이 감소되어 중성선에 설치한 초전도 전류제한기를 도통하는 전류가 임계전류를 넘지 않게 되어 중성선에 설치된 초전도 전류제한기는 동작하지 않는 것을 볼 수 있다. 이에 따라, 고장이 제거된 후에도 a상에 설치

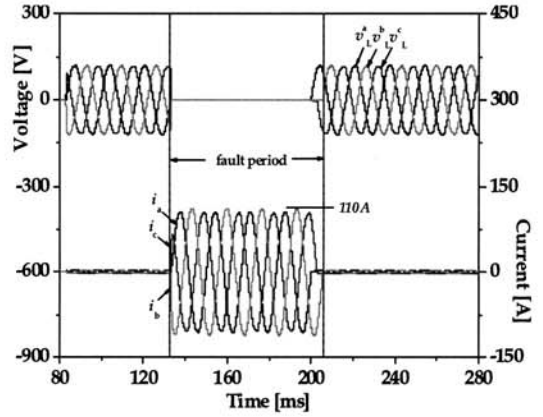


그림 4. 삼선지락시 부하전압 및 선로전류.
 Fig. 4. Load voltages and line currents in case of the triple-line ground fault.

된 초전도 전류제한기가 초전도상태로 회복되지 않게 되어 고장이 제거된 후에도 중성선에 비대칭전류가 계속 흐르고 있는 것을 관찰할 수 있다.

대칭고장전류를 모의하기 위해 삼선지락고장을 발생시켰으며, 그림 4는 초전도 전류제한기가 없을 경우 부하전압 및 선로전류를 보여준다. 고장전류 최대피크전류가 110 A까지 도달되는 것을 볼 수 있다. 중성선에 초전도 전류제한기를 설치한 경우와 중성선을 포함한 a상 선로에 초전도 전류제한기를 설치한 경우, 삼선지락고장시 전류제한특성을 그림 5에 도시하였다. 예상한 바와 같이 중성선에 초전도 전류제한기를 적용한 경우(그림 5(a)), 고장전류제한 효과가 없음을 초전도 전류제한기를 설치하지 않은 경우(그림 4)와 비교함으로써 분석할 수 있다.

반면에, 중성선과 a상 선로에 초전도 전류제한기를 적용한 경우(그림 5(b))에는 대칭고장전류발생시 전류제한동작이 이루어지는 것을 관찰할 수 있다. 특히, a상 선로의 고장전류는 b, c상에 비해 보다 크게 제한되는 것을 볼 수 있으며, a상 선로에 설치된 초전도 전류제한기가 동작되어 비대칭성분의 고장전류를 발생시켜줌으로써 중성선에 설치된 초전도 전류제한기가 동작되어 고장전류제한 동작이 수행되는 것으로 분석할 수 있다.

삼선지락시 초전도 전류제한기에 유기된 전압과 중성선 전류를 그림 6에 나타내었으며, 중성선에 초전도 전류제한기를 설치한 경우에는 삼선지락시 중성선에 3고파성분을 갖는 전류가 흐르는 것을 볼 수 있으나, 크기가 작아 중성선에 설치된 초전도 전류제한기의 동작에는 기여하지 않게 되는 것

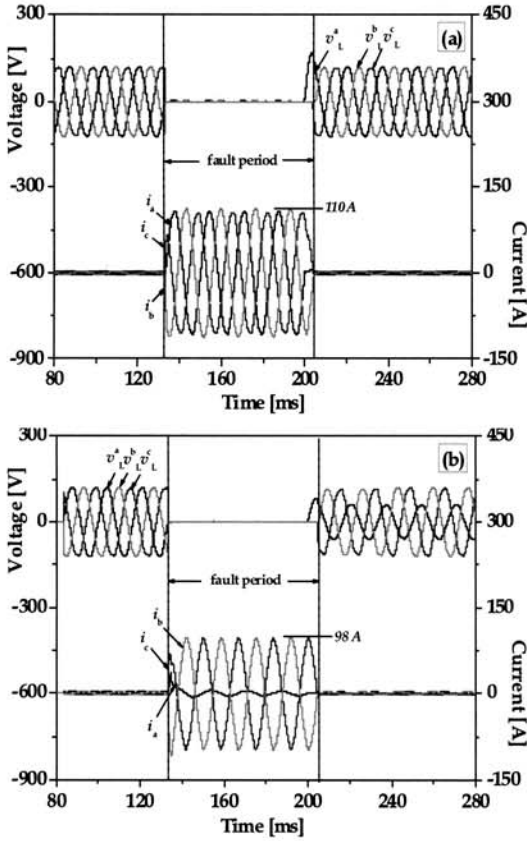


그림 5. 삼선지락시 부하전압 및 선로전류.
 (a) 중성선에 초전도 전류제한기를 적용한 경우
 (b) 중성선과 a상에 초전도 전류제한기를 적용한 경우
Fig. 5. Load voltages and line currents in case of the triple-line to ground fault.
 (a) a SFCL applied into neutral line
 (b) SFCLs applied into neutral line and a phase

을 초전도 전류제한기에 유기된 전압으로부터 확인할 수 있다. 또한, 고장이 제거된 시점에서 중성선에 잠시 큰 전류가 흐름에 따라 초전도 전류제한기 전압이 발생하는 것을 볼 수 있으나, 이는 각상에 설치된 단락스위치의 동작이 동시에 이루어지지 않음으로 나타난 현상으로 생각된다.

중성선과 a상 선로에 초전도 전류제한기를 동시에 적용한 경우(그림 6(b))에는 그림 5(b)에서 분석한 바와 같이 a상에 설치된 초전도 전류제한기가 동작하여 a상 선로전류를 제한함에 따라 비대

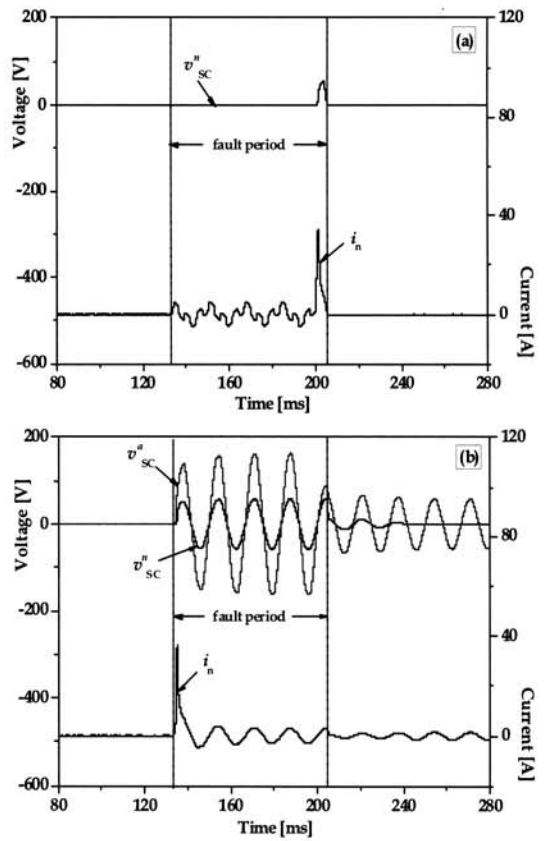


그림 6. 삼선지락시 초전도 전류제한기 전압 및 중성선 전류.
 (a) 중성선에 초전도 전류제한기를 적용한 경우
 (b) 중성선과 a상에 초전도 전류제한기를 적용한 경우
Fig. 6. Voltage of SFCLs and neutral current in case of the triple-line to ground fault.
 (a) a SFCL applied into neutral line
 (b) SFCLs applied into neutral line and a phase

칭고장전류 성분이 형성되어 중성선에 설치된 초전도 전류제한기가 동작됨으로써 고장전류제한이 가능하게 되는 것을 확인할 수 있다.

4. 결론

전력계통의 고장전류제한을 위한 효과적인 초전도 전류제한기 적용위치로 주변압기 2차측 중성선

에 적용하는 방안에 대한 연구가 진행되었다. 하지만, 초전도 전류제한기 이용과 비용측면에서는 유리하지만 대칭고장인 삼상단락과 같은 보다 심각한 고장에 대해서는 초전도 전류제한기의 동작을 기대하기 어렵기 때문에 비대칭고장전류뿐 아니라 대칭고장전류까지 제한할 수 있는 방안으로 삼상선로중 한상에 추가적으로 초전도 전류제한기를 적용하여 대칭 고장전류를 제한하는 방안에 대해 분석하였다.

이를 위해 모의실험회로를 구성하고 단락모의실험을 통해 중성선과 삼상중 한상에 설치된 초전도 전류제한기의 동작으로 비대칭 고장전류뿐 아니라 대칭 고장전류의 제한동작이 이루어지는 것을 분석할 수 있었다.

감사의 글

본 논문은 2009년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구(과제번호 : 2009-0075355)로서 이에 감사드립니다.

참고 문헌

[1] E. Thuries, V. D. Pham, Y. Laumond, T. Verhaege, A. Fevrier, M. Collet, and M. Bekhaled, "Toward the superconducting fault current limiter", *IEEE Trans. On Power Del.*, Vol. 6, No. 2, p. 801, 1991.

[2] W. Paul and M. Chen, "Superconducting control for surge currents", *IEEE Spectrum*, Vol. 35, p. 49, 1998.

[3] O.-B. Hyun, S.-D. Cha, H.-R. Kim, H.-S. Choi, and S.-D. Hwang, "Shunt-assisted simultaneous quench of resistive SFCL components in series", *IEEE Trans. on Appl. Supercond.*, Vol. 13, p. 2060, 2003.

[4] S.-H. Lim, B.-S. Han, and H.-S. Choi, "Operational characteristics of flux-lock type SFCL using series resonance", *Trans. Electr. Electron. Mater.*, Vol. 6, No. 4, p. 159, 2005.

[5] S.-H. Lim, C.-R. Park, B.-S. Han, H.-M. Park, Y.-S. Cho, and H.-S. Choi, "Fault current limiting characteristics of flux-lock type SFCL with several secondary windings", *Trans. Electr. Electron. Mater.*, Vol. 6, No. 5, p. 193, 2005.

[6] O.-B. Hyun, K.-B. Park, J.-W. Sim, H.-R. Kim, S.-W. Yim, and I.-S. Oh, "Introduction of a hybrid SFCL in KEPCO grid and local points at issue", *IEEE Trans. on Appl. Supercond.*, Vol. 19, p. 1946, 2009.

[7] O.-B. Hyun, J.-W. Sim, H.-R. Kim, K.-B. Park, S.-W. Yim, and I.-S. Oh, "Reliability enhancement of the fast switch in a hybrid superconducting fault current limiter by using power electronic switches", *IEEE Trans. on Appl. Supercond.*, Vol. 19, p. 1843, 2009.

[8] S.-H. Lim, J.-S. Kim, J.-F. Moon, J.-C. Kim, S.-B. Rhee, C.-H. Kim, and O.-B. Hyun, "Quench and recovery characteristics of a SFCL applied into neutral line of a three-phase power system", *IEEE Trans. on Appl. Supercond.*, Vol. 19, p. 1835, 2009.