

모의 배전계통에 초전도한류기 도입위치에 따른 전류제한 특성

(Current Limiting Characteristics due to Location of Superconducting Fault Current Limiter in Power Distribution System)

유일경* · 김진석 · 김명후 · 임성훈 · 문종필 · 김재철

(Il-Kyoung You · Jin-Seok Kim · Myoung-Hoo Kim · Sung-Hun Lim · Jong-Fil Moon · Jae-Chul Kim)

Abstract

배전계통에서 전력수요의 증가와 분산전원의 증가로 대용량 변압기의 적용이 불가피하게 되었다. 하지만, 대용량 변압기로 교체할 경우 배전계통에 고장발생시 고장전류의 크기가 증가되어 기존에 설치된 차단기 및 보호기기의 차단용량 초과로 인해 교체에 따른 경제적 비용 상승이 우려된다.

따라서, 대용량 변압기의 교체시 고장전류 증가 문제를 해결하기 위한 방안 중 하나로 초전도한류기를 설치하는 방안을 검토하고 있다. 초전도 한류기는 정상시에 초전도 상태인 영저항이므로 전력손실이 발생하지 않으며, 고장 발생시 퀘치로 인한 신속한 저항 발생으로 고장전류를 빠르게 감지 및 제한함으로써 기존에 설치된 차단기의 차단 용량이하로 감소시켜 줄 뿐만 아니라 계통의 안정도를 향상시킬 수 있다. 그러나, 초전도한류기는 도입위치에 따라 퀘치 발생시 초전도한류기의 저항 크기가 다르게 되며, 고장전류 제한효과 및 보호협조를 고려한 적정의 한류기 저항 설정이 필요하다.

이에 대한 선행연구로서, 본 논문에서는 모의 배전계통에 초전도한류기를 적용하였을 경우 도입위치에 따라 전류제한, 모선 전압강하, 초전도한류기의 전력부담을 실험을 통하여 비교 분석하였다. 분석을 통해 초전도한류기를 피드에 설치하였을 경우 전류제한 효과, 모선 전압강하 보상효과는 가장 우수하였으나 가장 많은 전력부담을 갖는 것을 확인할 수 있었다.

1. 서 론

전력수요 증가와 다양한 분산전원의 도입은 대용량 변압기의 적용을 불가피하게 만들었다. 이러한 계통의 운영은 공급측면에 긍정적이지만 고장시 고장전류가 증가하게 된다. 이로 인해 기존에 설치된 차단기 및 보호기기의 차단용량 초과나 동작특성이 달라진다. 따라서 계통의 효과적인 운영을 위하여 고장 발생시 고장전류를 감소시키고 연계운영에 변화 없이 적용할 수 있는 초전도한류기에 대한 연구가 진행 중이다[1-2].

초전도 한류기는 정상시에 초전도 상태로 전력손실이 없고, 고장발생시 고장전류를 빠르게 감지 및 제한함으로써 기존에 설치된 차단기의 차단용량이하로 감소시켜 줄 뿐만 아니라 계통의 안정도를 향상시킬 수 있다 [3-6].

그러나, 초전도한류기는 도입위치 따라 전류제한특성이 다르며, 퀘치 발생시 초전도소자의 저항 크기에 따라 고장전류 제한효과가 달라지므로 도입위치에 대한 연구와 보호협조를 위한 임피던스크기 선정을 위한 연구가 필요하다.

따라서, 본 논문에서는 배전계통에 초전도한류기를 적용시 도입위치에 따라 고장전류가 제한되는 특징과 초전도한류기의 영향에 대하여 실험을 통하여 비교 분석하였다.

2. 본 론

2.1 초전도한류기의 퀘치 및 회복 특성

대용량 변압기의 교체시 발생하는 고장전류 증가 문제를 해결하기 위한 방안 중 하나로 차단기를 교체하는 방안이 있지만 많은 비용이 필요하고, 보다 저렴한 방안으로 직렬리액터를 도입하는 방안이 있다. 이 방안은 고장전류를 제한하여 기존 차단기를 사용할 수 있지만 정상시에 전력손실이 발생하고 경우에 따라 과부하상태를 유발하는 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하고자 초전도한류기를 도입하는 방안이 검토되고 있다.

그림 1은 고장시 고장전류의 증가로 인해 초전도한류기의 퀘치 및 회복특성을 나타낸다. 고장시 40 [A]까지 고장전류가 발생하지만 초전도한류기의 퀘치로 인한 인

속한 저항 발생으로 고장전류를 빠르게 제한해준다. 이때 초전도한류기의 저항은 2.6 [ohm]까지 발생하며, 고장제거 후 2 [cycle]동안 후 초전도 상태로 회복된다. 이처럼 초전도한류기는 반주기만에 고장전류를 빠르게 감지 및 제한하고 고장제거 후 약간의 시간 후 회복하는 것을 확인할 수 있었다.

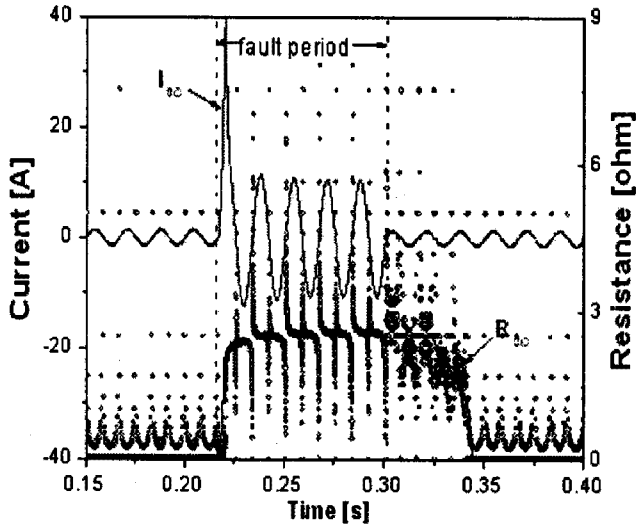


그림 1. 초전도한류기의 전류 및 저항
Fig. 1. Current and resistance of SFCL

2.2 모의 배전계통 실험 회로도

초전도한류기의 적용 위치에 따른 고장전류제한 특성을 알아보기 위하여 변압기, 차단기 및 연계선로를 이용하여 그림 2와 같이 모의 배전계통을 구성하였다. 선로 임피던스를 포함한 부하사양은 표 1과 같다.

표 1. 모의 배전계통의 설계 파라미터
Table 1. Design parameters of experiment circuit for power distribution system

선로 정수	Value	Unit
R1, R3	0.097	Ω
R2, R4	0.14	Ω
L1, L3	1.817	mH
L2, L4	2.78	mH
부하 임피던스	Value	Unit
Load1	41.2 \angle 2.62	Ω
Load2	10.47 \angle 10.37	Ω
Load3	30.97 \angle 3.49	Ω
Load4	20.69 \angle 5.23	Ω

이 모의 배전계통 실험은 초전도한류기를 각각 피더, 변압기 2차측, 모선 위치에 설치하였을 때 전원에 160 [V]를 인가하고 SW1을 닫은 다음에 SW2를 닫고 열어 고장을 5 [cycle] 동안 발생할 경우 피더1의 고장전류,

모선전압을 초전도한류기의 위치에 따라 각각의 대해서 측정하여 비교 분석하였다.

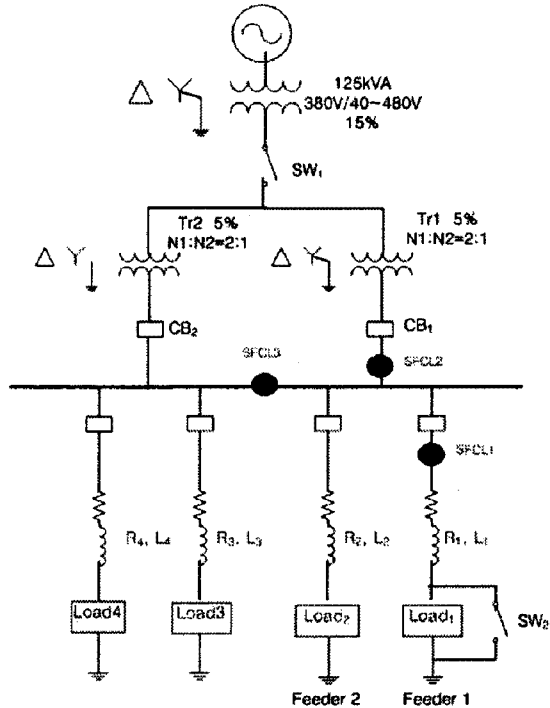


그림 2. 모의 배전계통 실험 회로도
Fig. 2. Experiment circuit of power distribution system

2.3 실험 결과 및 고찰

림 3은 각각의 초전도한류기를 피더(feeder1), 변압기 2차측(Tr1s), 모선(bus)에 설치했을 경우와 초전도한류기 미설치시에 대해서 피더1의 전류를 나타낸다. 이 결과 초전도한류기 없을 경우 고장전류가 가장 큰 것으로 최대 85 [A]가 발생하고, 초전도한류기를 피더1에 설치하였을 경우가 가장 많은 고장전류를 제한하는 것을 확인할 수 있다. 그리고 피더1의 전류만 위상이 다른 것을 확인할 수 있다. 이것은 고장으로 인해 피더1은 선로의 값이 인덕턴스 성분이 큰 것에 비해 피더1에 초전도한류기를 설치 할 경우 저항이 발생하기 때문에 위상이 앞서는 것을 확인할 수 있다.

그림 4는 각각의 초전도한류기를 피더(feeder1), 변압기 2차측(Tr1s), 모선(bus)에 설치했을 경우와 초전도한류기 미설치시에 대해서 모선전압을 나타낸다. 이 결과 초전도한류기 미설치시 고장이 발생할 경우 전압강하 현상이 일어나는 것을 확인할 수 있다. 그러나 초전도한류기를 피더1에 설치하였을 경우 전압강하 현상을 보상해주는 것을 확인할 수 있었지만, 모선 및 변압기 2차측에 설치 했을 경우 오히려 더 많은 전압강하가 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 이것은 고장 후 모선 및 변압기 2차측에 한류기 저항이 발생하더라도 고장전류의 분기회로가 형성되어 전압강하 보상효과가 없는 것으로

분석할 수 있다.

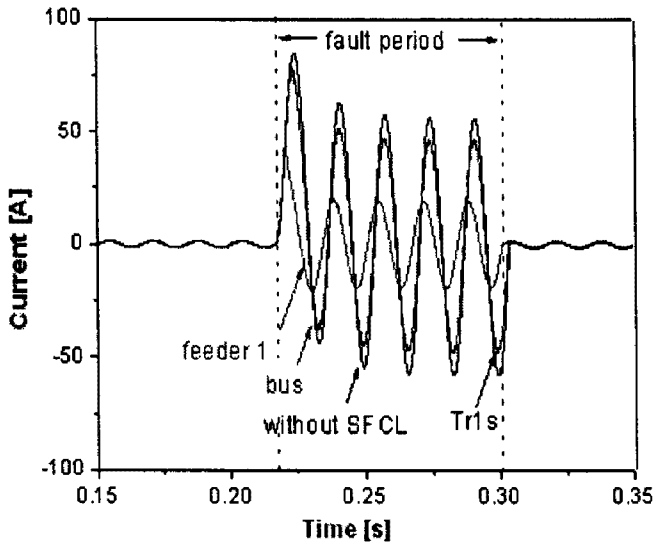


그림 3. 피더1의 전류
Fig. 3. Current of feeder1

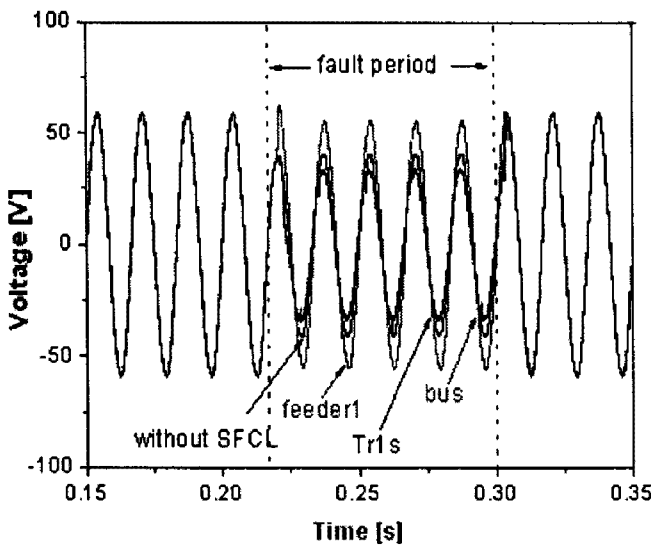


그림 4. 모선 전압
Fig. 4. Bus voltage

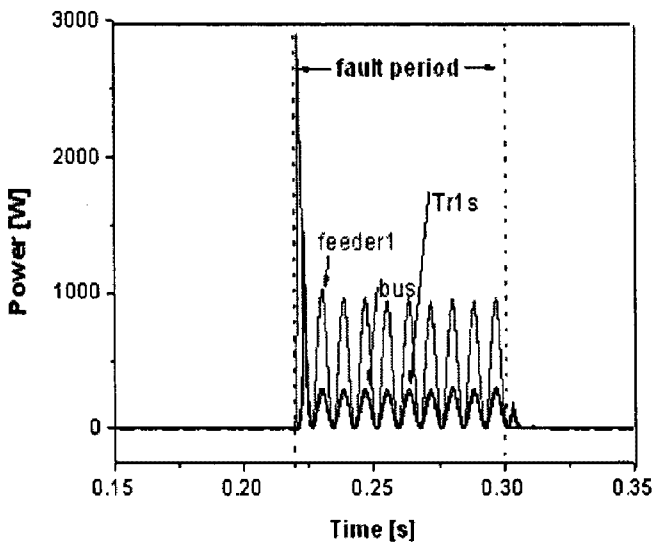


그림 5. 초전도한류기 전력 부담
Fig. 5. SFCL power burden

그림 5는 초전도한류기를 피더(feeder1), 변압기 2차측(Tr1s), 모선(bus)에 설치했을 경우 초전도한류기의 전력부담을 나타낸다. 이 결과 피더1에 초전도한류기를 설치시 가장 큰 전력부담을 준다. 이것은 피더1에 가장 큰 전류가 발생하기 때문에 초전도한류기의 전력부담이 큰 것을 확인할 수 있다. 따라서 피더 1에 설치 할 경우 다른 설치위치에 비해 단락용량이 큰 초전도한류기를 고려해야 됨을 예상할 수 있다.

표 2. 실험결과
Table 2. Experimental results

설치위치	고장전류 제한효과	모선전압강하 보상효과	초전도한류기 전력부담
피더1 (feeder1)	우수함	우수함	크다
변압기 2차측 (Tr1s)	적음	전압강하 증가	작다
모선 (bus)	적음	전압강하 증가	작다

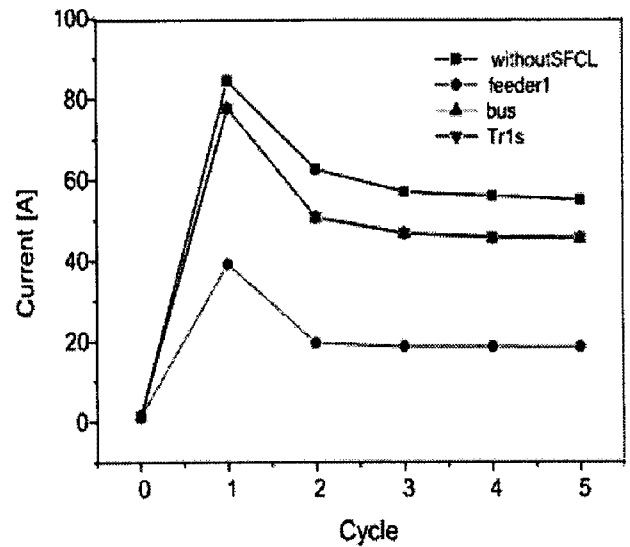


그림 6. 고장주기 별 피더1의 피크 전류 변화
Fig. 6. Variation of feeder1's peak current versus fault period

그림 6은 각각의 초전도한류기를 피더, 변압기 2차측, 모선에 설치했을 경우와 초전도한류기 미설치시에 대해서 고장 주기별 피더1의 피크 전류를 나타낸다. 0 [Cycle] 인 경우 정상상태의 피크 전류를 나타내고, 1~5 [Cycle] 동안 고장이 발생한다. 이때, 초전도한류기를 피더1에 설치하였을 경우 고장전류 제한효과가 큰 것을 확인할 수 있다.

그림 7은 각각의 초전도한류기를 피더, 변압기 2차측, 모선에 설치했을 경우와 초전도한류기 미설치시에 대해서 고장 주기별 모선의 피크 전압을 나타낸다. 0 [Cycle] 인 경우 정상상태의 피크 전압을 나타내고, 1~

5 [Cycle] 동안 고장이 발생한다. 이때, 초전도한류기를 피더1에 설치하였을 경우 전압강하 보상효과가 큰 것을 확인할 수 있다. 하지만 나머지 경우에는 오히려 더 전압강하가 일어난 것을 확인할 수 있다. 앞의 실험결과를 정리하면 표2와 같다.

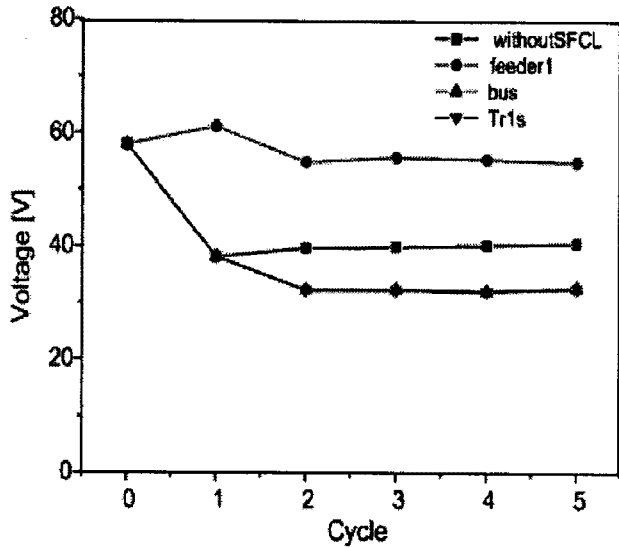


그림 7. 모선의 피크전압
Fig 7. Peak voltage of bus

3. 결론

본 논문에서는 모의 배전계통에 초전도한류기 적용시 초전도한류기의 도입위치에 따른 전류제한 특성을 분석하였다. 또한, 도입위치에 따라 초전도한류기에 고려해야 할 사항도 달라지는 것을 확인하였다.

피더에 초전도 한류기를 적용할 경우 모선, 변압기2차 측에 적용할 경우보다 고장전류 제한효과, 모선전압강하 보상효과가 우수한 것을 확인할 수 있었다. 하지만, 피더에 적용할 경우 초전도소자가 갖는 부담이 큰 것을 확인할 수 있었고, 피더마다 설치해야 할 경우 경제적 비용이 상승될 것으로 예상된다.

본 논문에서 수행한 초전도한류기의 도입위치에 따른 전류제한 특성 비교분석을 기초자료로 활용하여 앞으로 초전도한류기의 적용시 도입위치에 따른 보호기와 협조관계에 대하여 연구 및 실험을 수행하고자 한다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부의 지원에 의하여 기초전력연구원(R-2008-38) 주관으로 수행된 과제입니다.

참고 문헌

- [1] 김준환, 이강완, "전력계통 고장전류 증대와 대응방안", 전 기저널, pp. 19-31, 1998
- [2] 조승식, "최신 배전시스템 공학", 북스힐, pp. 396-469, 2006
- [3] B. Gromoll, G. Ries, W. Schmidt, H.-P. Kraemer, B. Seebacher, B. Utz, R. Nies, and H.-W. Newmuller, "Resistive fault current limiter with YBCO films-100 kVA functional model," IEEE Trans. Appl. Supercond., vol. 9, no. 2, pp. 656-659, June 1999
- [4] T. Hara, T. Okuma, T. Yamamoto, D. Ito, K. Tasaki, and K. Tsurunaga, "Development of a new 66.kV/1500A class superconducting fault current limiter for electric power system," IEEE Trans Power Delivery, vol. 8, no. 1, pp. 182-192, Jan. 1993
- [5] H.-R. Kim, S.-W. Yim, O.-B. Hyun, J. Sim, and S.-Y. Oh, "Analysis on recovery characteristics of superconducting fault current limiters," MT-20 Conference on Magnet Technology
- [6] H. Kameda, and H. Taniguchi, "Setting Method of Specific Parameter of a Superconducting Fault Current Limiter Considering the Operation of Power System Protection," IEEE Trans. Appl. Superconduct., vol. 9, no. 2, June 1999