

배전계통의 고장 전류 제한을 위한 초전도 한류기 적용시 고장발생 위치에 따른 영향 분석

(Analysis of Fault Point's Distant Effect in Power Distribution System with Superconducting Fault Current Limiter)

김명현* · 김진석 · 임성훈 · 김재철**

(Myong-Hyon Kim · Jin-Seok Kim · Sung-Hun Lim · Jae-Chul Kim)

Abstract

Due to increase of fault current, various superconducting fault current limiter (SFCL) are researched. We studied a power distribution system with SFCL. Along the way, we knew characteristics of fault current according to a distance from substation to fault point. Fault current is reduced by distance's increase from substation. Also, SFCL's effects are decreased by distance too.

Therefore, we analyzed the fault current by a distance from substation to fault point when a SFCL was applied into a power distribution system. We simulated using a PSCAD/EMTDC.

Key Words : Superconducting Fault Current Limiter(SFCL), Power Distribution System, Distance of Fault Point

1. 서 론

전력수요의 증가로 인해 보다 안정적인 전력의 공급 문제가 대두되었고 이로 인해 계통의 운영방안이 변화 되고 있다. 대표적으로 현재 적용되어 있는 변압기의 대용량화가 논의되고 있다. 변압기의 대용량화는 계통 전체의 임피던스 감소를 초래하고 이로 인하여 고장 전류의 증가를 야기시키고 있다. 이러한 문제의

결과로 기존에 적용되어 있던 차단기 및 보호기기들의 동작 특성이 변화되어 계통 내에서 차단용량 초과나 오작동 및 부동작 등의 결과를 초래할 수 있다. 이는 계통 보호에 문제를 일으킬 수 있는 요인이 된다. 위의 문제를 해결하고 계통의 안정적인 운영을 위하여 고장 전류를 감소시킬 수 있는 방법중에서 초전도 한류기적용에 관한 연구가 진행 중이다[1-3]. 초전도 한류기는 정상시에 초전도 상태로 저항을 갖지 않아 전력 손실이 없고, 고장 발생시에만 상전도 저항이 발생한다. 이를 통해 고장 전류를 빠르게 감지 및 제한하여 고장 전류를 저감시킴으로써 전력계통을 안전하게 보호할 수 있다[3-5].

초전도 한류기 도입으로 인한 고장 전류 저감, 모션 전압 효과 등의 초전도 한류기 적용에 관한 연구가 많

* 주저자 : 송실대학교 공대 전기공학부 석사과정

** 교신저자 : 송실대학교 전기공학부 교수

Tel : 02-820-0647, Fax : 02-817-0780

E-mail : jckim@ssu.ac.kr

접수일자 : 2011년 6월 10일

1차심사 : 2011년 6월 14일, 2차심사 : 2011년 8월 5일

심사완료 : 2011년 8월 9일

이 진행되어 왔다. 그러나 고장지점 변화에 따른 고장 전류의 분포를 고려한 초전도 한류기의 적용방안에 관한 연구는 부족하다고 판단된다. 그러므로 고장 발생 지점에 따른 고장전류를 분석하고 초전도 한류기 적용방안을 고려해 보고자 한다.

2. 모의 회로 구성

초전도 한류기 적용시 고장 발생 거리에 따른 고장 전류 저감 효과 분포 해석을 위해 PSCAD/EMTDC를 이용하여 모델링 회로를 그림 1과 같이 구현하였다. 이 회로에서 사용된 초전도 한류기는 저항형을 사용하였다[8-9]. 본 논문에서는 고장 발생 거리에 따른 고장 전류의 변화를 초전도 한류기의 적용 위치에 따라 확인하기 위한 회로로 구성을 하였고 이 구성은 3절에서 다루었다. 모델링 회로에 관련된 설계 변수는 표 1에 나타내었다.

초전도 한류기는 고장발생시 초전도 소자가 갖는 상전도 저항 크기에 따라 회로에 나타나는 효과가 다르므로 초전도 한류기의 상전도 저항을 0[Ω]에서 2[Ω]까지 0.5[Ω]씩 증가시켜 적용하였고 미적용시 까지 포함하여 총 5가지의 케이스로 나누어 시뮬레이션을 실행하였다[5-6]. 또한 고장 발생 거리에 따른 고장 전류 크기 분포와 초전도 한류기의 효과를 분석하기 위하여 변전소로부터 총 거리가 10[km]인 선로를 구성하고 초전도 한류기 적용 지점 이후부터 0.5[km] 간격으로 고장 전류 분포를 확인하였다.

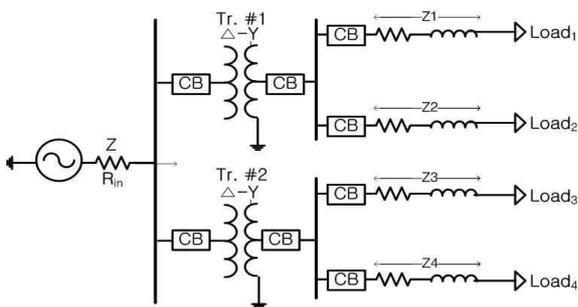


그림 1. 초전도 한류기의 적용에 따른 고장 전류 크기의 분포 해석을 위한 모델링 회로

Fig. 1. Modeling circuit to analyze the fault current in modeling circuit

표 1. 모델링 회로의 설계변수

Table 1. Modeling circuit parameters

구분	임피던스 (Base 100[MVA], 22.9[kV])
전원	154[kV], j0.21[%]
Tr. #1 Tr. #2	154/22.9[kV], j14[%], 45[MVA]
선로	Z ₁ , Z ₃ : 3.48 + j7.44[%/km] (정상)
	Z ₂ , Z ₄ : 10.8 + j23.6[%/km] (영상)
부하	Load ₁ , Load ₂ , Load ₃ , Load ₄ : 10[MVA] (p.f = 95[%])

시뮬레이션 조건은 가장 큰 고장 전류를 대상으로 하기 위하여 3상 단락 고장을 가정하였고 고장은 6 cycle 동안 지속되도록 하였다[7].

3. 초전도 한류기 적용 위치에 따른 고장 전류 크기 분포

3.1 초전도 한류기 미적용시 고장 전류 분포

그림 2는 초전도 한류기 미적용시 고장거리에 따른 고장 전류의 크기를 실패치로 나타내고 있다. 그림 2의 시뮬레이션 결과에서 볼 수 있듯이 고장 전류는 변전소로부터 거리가 먼 곳에서 고장이 발생함에 따라 작아짐을 알 수 있으며 이는 거리 임피던스 때문이다.

아래의 결과에서 현재 배전계통의 차단기 정격 차단 전류(I_{br})가 12.5[kA]임을 고려해보면 가장 근거리 고장시 차단기 정격 차단 전류를 넘어 위험함을 알 수 있다. 고장 거리가 0.5[km] 이상인 지점에서는 모두 차단기 차단 전류 범위 내이므로 안전하다고 판단할 수 있다.

초전도 한류기를 미적용한 시뮬레이션 결과를 통해 0.066[s]에서 고장 전류의 실패치가 최대가 됨을 확인하였다. 따라서 이 시점을 기준으로 초전도 한류기 투입시의 변화를 비교 분석하였다. 이 시점을 사용시 변전소로부터 고장 발생 지점 간의 거리에 따른 최대 고

장 전류 크기 편차가 크지 않아 오차가 적으므로 분석 기준 시점으로서 타당성을 부여하였다.

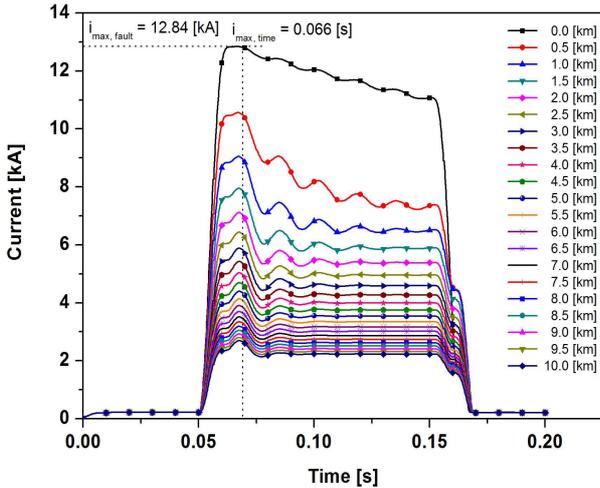


그림 2. 초전도 한류기 미적용시 고장거리별 고장 전류
Fig. 2. Distribution of fault current in modeling circuit without SFCL

3.2 피더 인출점에 적용시 고장 전류 분포

그림 3은 초전도 한류기를 모델링 회로의 피더 인출점에 적용함을 나타낸다. 초전도 한류기 미적용시 피더 인출점에서 고장이 발생하면 차단기의 정격 차단 전류를 초과하므로 그림 3과 같이 피더 인출점에 초전도 한류기를 적용 한 후에 시뮬레이션을 진행하였다.

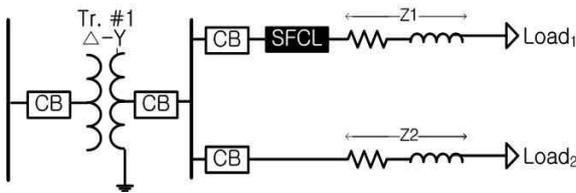


그림 3. 모델링 회로의 피더 인출점에 적용된 초전도 한류기
Fig. 3. SFCL installed withdraw point a feeder in modeling circuit

그림 4는 초전도 한류기를 피더 인출점에 적용한 후에 고장 발생 거리별 고장 전류의 분포를 나타내고 있다.

그림 4에 나타난 시뮬레이션 결과를 통해 초전도 한

류기 적용시 고장 전류의 저감 효과를 확인할 수 있다. 또한 초전도 한류기의 적용 효과가 모든 구간에서 나타남을 볼 수 있다. 초전도 한류기가 고장 발생시 발생하는 상전도 저항의 크기에 따라서도 저감효과가 다름을 확인할 수 있다.

시뮬레이션 결과, 그림 4에서 초전도 한류기 미적용시 곡선을 통해 초전도 한류기 미적용시 피더 인출점 고장 전류가 12.5[kA]를 넘는 것이 확인 가능하고 초전도 한류기 적용 결과 곡선을 통해 초전도 한류기 적용시 차단기 정격 차단 전류 12.5[kA]를 넘는 차단기가 개선되어 보호기기의 동작 신뢰성을 다시 회복할 수 있었다. 모델링 회로의 경우 0.5[Ω] 이상의 상전도 저항을 갖는 초전도 한류기를 설치하면 됨을 볼 수 있다.

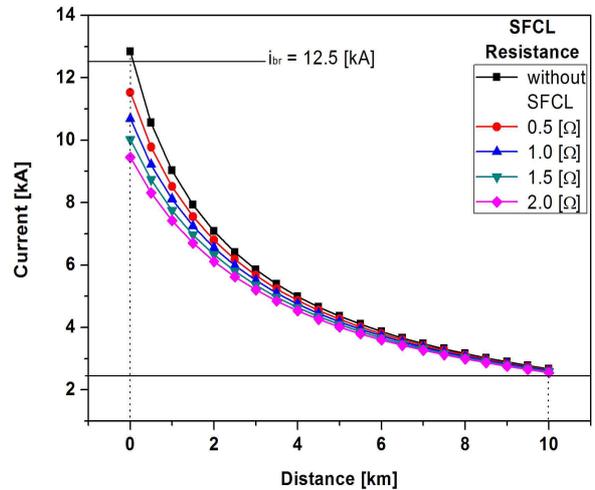


그림 4. 초전도 한류기를 피더 인출점에 적용시 고장 전류 크기의 분포
Fig. 4. Distribution of fault current when SFCL installed withdraw point a feeder in modeling circuit

3.3 변압기 2차측에 적용시 고장 전류 분포

그림 5는 초전도 한류기를 모델링 회로 변압기 2차측에 적용함을 나타낸다. 이는 초전도 한류기가 변압기 2차측에 적용 되었을때 피더측 적용과 효과 및 영향을 비교 분석하기 위함이다.

그림 6은 초전도 한류기를 변압기 2차측에 적용시

고장 발생 거리에 따른 고장 전류 크기의 분포를 나타낸다. 앞선 초전도 한류기의 피더측 적용과 같이 고장 전류 저감 효과를 확인할 수 있었으며, 전 구간에 걸쳐서 고장전류의 저감 효과가 나타남을 볼 수 있었다. 또한 상전도 저항이 증가하면 고장 전류 저감 효과가 비례함을 확인할 수 있었다.

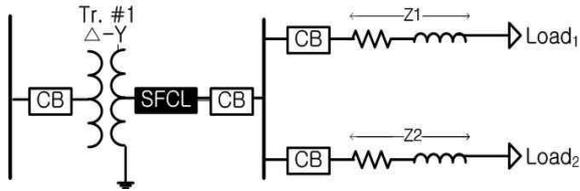


그림 5. 모델링 회로의 변압기 2차측에 적용된 초전도 한류기
 Fig. 5. SFCL installed transformer's secondary parts in modeling circuit

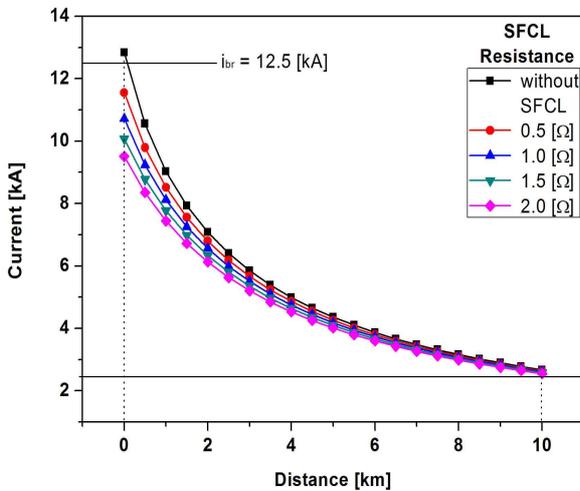


그림 6. 초전도 한류기를 변압기 2차측에 적용시 고장 전류 크기의 분포
 Fig. 6. Distribution of fault current when SFCL installed transformer's secondary parts in modeling circuit

시뮬레이션 결과, 초전도 한류기를 피더 인출점에 적용한 결과와 유사함을 보였다. 변압기 2차측에 초전도 한류기 적용시에도 차단기 정격 차단 전류 12.5[kA]를 넘는 차단기가 개선되어 보호기기의 동작 신뢰성을 다시 회복할 수 있었고 모델링 회로의 경우 0.5[Ω] 이상의 상전도 저항을 갖는 초전도 한류기를

설치하면 됨을 볼 수 있다.

3.4 초전도 한류기 적용 위치에 따른 고장 전류 저감 효과 비교

앞선 내용에서 피더 인출점에 고장 발생시 고장 전류가 차단기 차단 전류를 초과함으로 이를 방지하기 위해 피더 인출점과 변압기 2차측에 초전도 한류기를 적용하였고, 초전도 한류기의 상전도 저항 크기 별로 고장 전류 저감 효과를 확인하였다. 그 결과 0.5[Ω] 이상의 상전도 저항을 갖는 초전도 한류기를 적용시 차단기 차단 전류 범위 내로 고장 전류가 저감됨을 확인하였다. 그러나 각 피더마다 초전도 한류기를 적용하는 것은 비효율적이므로 변압기 2차측에 초전도 한류기를 적용하여 해당 변압기가 담당하는 피더 모두의 고장 전류 저감 효과를 확인하고 이에 대한 고장전류 분포를 확인하였다.

이러한 결과를 종합적으로 비교 검토하기 위해 표 2를 제시하였다. 표 2는 초전도 한류기 적용 위치에 따른 고장 전류 분포와 저감률을 나타내고 있다. 표 2는 초전도 한류기의 상전도 저항이 0.5[Ω]을 가질 때를 기준으로 작성되었다. 이는 앞선 두 경우에서 초전도 한류기의 저항이 0.5[Ω]만 가져도 모든 차단기가 정격 차단 전류 범위내로 들어오게 하는 최소 상전도 저항이기 때문이다.

고장 전류는 거리에 따라 감소되고 저감률은 고장 전류와 마찬가지로 피더 인출점에서 가장 크며 거리가 증가함에 따라 저감률도 감소함을 확인할 수 있다. 또한 초전도 한류기의 적용 위치에 따른 고장 전류 저감률의 차이는 0~2[km] 구간에서 매우 작게 나타나고 이후 구간은 같음을 확인할 수 있다.

이와 같은 결과는 초전도 한류기를 각 피더마다 초전도 한류기를 설치하여 얻는 효과와 변압기 2차측에 설치를 하여 변압기와 연계된 모든 피더들이 받는 효과가 유사함으로 초전도 한류기 설치 수를 줄일 수 있다는 결론을 얻을 수 있다. 이는 초전도 한류기 설치시 경제적 이득을 기대할 수 있다.

표 2. 초전도 한류기 적용 위치와 고장 위치 변화에 따른 고장 전류 분포 및 저감률 비교
Table 2. Comparison of a fault current by SFCL's location and fault's location.

거리 [km]	미적용시 고장전류 [kA]	상전도 저항 : 0.5[Ω]			
		피더 인출점		변압기 2차측	
		[kA]	[%]	[kA]	[%]
0.0	12.84	11.53	-11.36	11.55	-11.17
0.5	10.56	9.78	-7.98	9.79	-7.87
1.0	9.03	8.51	-6.11	8.52	-5.99
1.5	7.92	7.55	-4.90	7.56	-4.76
2.0	7.08	6.79	-4.27	6.80	-4.12
2.5	6.40	6.18	-3.56	6.18	-3.56
3.0	5.85	5.67	-3.17	5.67	-3.17
3.5	5.39	5.24	-2.86	5.24	-2.86
4.0	4.99	4.87	-2.46	4.87	-2.46
4.5	4.66	4.55	-2.42	4.54	-2.64
5.0	4.36	4.26	-2.35	4.26	-2.35
5.5	4.10	4.02	-1.99	4.02	-1.99
6.0	3.87	3.80	-1.84	3.79	-2.11
6.5	3.67	3.60	-1.94	3.60	-1.94
7.0	3.48	3.42	-1.75	3.42	-1.75
7.5	3.31	3.26	-1.53	3.26	-1.53
8.0	3.16	3.11	-1.61	3.11	-1.61
8.5	3.02	2.98	-1.34	2.98	-1.34
9.0	2.90	2.86	-1.40	2.85	-1.75
9.5	2.78	2.74	-1.46	2.74	-1.46
10.0	2.67	2.64	-1.14	2.63	-1.52

4. 결 론

본 논문에서는 배전계통에 초전도 한류기 적용시 고장 발생 위치에 따른 고장 전류의 분포를 확인하였다. 초전도 한류기 미적용시 고장 전류는 고장점이 변전소로부터 거리가 멀수록 고장 전류는 작아짐을 알 수 있었다. 초전도 한류기 적용시에는 전 구간에 걸쳐 고

장 전류 저감 효과가 나타나지만 고장점이 초전도 한류기로부터 멀수록 초전도 한류기의 저감효과는 작아진다. 이는 거리 임피던스의 특성 때문이다. 또한 초전도 한류기가 고장 발생시 갖게되는 상전도 저항의 크기가 클수록 고장 전류 저감 효과가 비례함을 확인하였다.

초전도 한류기의 적용 위치를 2가지 경우로 나눠 시뮬레이션 및 분석해본 결과로는 피더 인출점과 변압기 2차측 적용 위치 모두 비슷한 저감 효과와 고장 전류 분포를 보였다.

결과적으로, 초전도 한류기를 계통에 적용시 사전에 고장점 거리에 따른 고장 전류의 분포를 확인하여 차단기의 정격 차단 전류를 초과하는 차단기 판별, 상전도 저항 크기 선정, 설치 위치 등 고려사항들을 포함으로써 효과적인 적용 계획 수립이 가능할 것으로 예상된다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부의 지원에 의하여 기초전력 연구원 (R-2008-38) 주관으로 수행된 과제입니다. 이 논문은 한국조명·전기설비학회 2011년도 춘계학술대회에서 발표하고 우수추천 논문으로 선정된 논문임.

References

- [1] 김준환, 이강완, “전력계통 고장 전류 증대와 대응방안”, 전기저널, pp. 19-31, 1998.
- [2] 김진석, “배전변전소에 대응량 변압기 적용시 초전도 전류제한기 적용방안 연구”, 숭실대학교 일반대학원, 2009.
- [3] T. Hara, T. Okuma, T. Yamamoto, D. Ito K. Tasaki, and K. Tsurunaga, “Development of a new 6.6kV/1500A class superconducting fault current limiter for electric power system”, IEEE Trans. Power Delivery, vol. 8, no. 1, pp. 188-198, Jan. 1993.
- [4] B. Gromall, G. Ries, W. Schmidt, H.-P. Kraemer, B. Seebachern 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.
- [5] 김진석, 임성훈, 안재민, 문종필, 김재철, 김철환, 현옥배, “배전계통에 초전도 한류기 적용시 전류제한 특성”, 08년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집. pp. 21~22, 2008.
- [6] 김진석, 김명후, 류일경, 문종필, 임성훈, 김재철, “배전변전소에 대응량변압기로 교체 적용시 보호협조를 위한 초

전도 한류기의 임피던스 분석”, 대한전기학회 논문집, vol. 58, no8. pp. 1479-1484, 2009.

- [7] 조승식, “최신 배전시스템 공학”, 북스힐, 2006.
- [8] 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 Supercond., vol. 9, no. 2, pp. 1355~1360 June 1999.
- [9] S. H. Lim, H. S. Choi, and B. S. Han, “Fault Current Limiting Characteristics due to Winding Direction between Coil 1 and Coil 2 in a flux-lock type SFCL”, Phys. C, vol. 416, pp. 34-42, Nov. 2004.

◇ 저자소개 ◇



김명현 (金銘炫)
1986년 9월 23일생. 2011년 안양대 전기 전자공학과 졸업. 현재 숭실대학교 대학원 전기공학과 석사과정.
E-mail : surflead@ssu.ac.kr



김진석 (金辰碩)
1983년 1월 26일생. 2007년 서울산업대 전기공학과 졸업. 2009년 숭실대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2009년~현재 숭실대학교 대학원 전기공학과 박사수료.
E-mail : redwolf832@ssu.ac.kr



임성훈 (林成勳)
1973년 11월 1일생. 1996년 전북대 전기공학과 졸업, 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2003년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 숭실대 전기공학부 교수.
E-mail : superlsh73@ssu.ac.kr



김재철 (金載哲)
1955년 7월 12일생. 1979년 숭실대 전기공학과 졸업, 1983년 서울대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1988년~현재 숭실대 전기공학과 교수. 본 학회 감사.
E-mail : jckim@ssu.ac.kr