

고장전류 저감을 위한 초전도 한류기 적용

김학만, 김종을, 최성봉, 문영환, 성기철
한국전기연구원

SCFL Application for Reducing Fault Current

Hak-Man Kim, Jong-Yul Kim, Sang-Bong Choi, Young-Hwan Moon, Ki-Chul Sung
KERI

Abstract - The transmission system is designed to be protected by 40 kA rate of circuit breaker for 345 kV system and 31.5 kA and 50 kA rate of circuit breaker for 154 kV system. The short circuit current shows the tendency of exceeding circuit breaker duty for some substations and the tendency will continue if an appropriate countermeasure will not be applied to. In order to solve this problem from the viewpoint of system operation, the 154 kV system is under reconfiguration to be radial systems. This paper presents application effect of resistive and inductive SCFL (Superconducting Fault Current Limiter to Korea power systems. An algorithm of SCFL site decision is suggested.

1. 서론

우리계통은 급속한 경제 성장으로 부하가 계속 증가 추세에 있으며, 대규모 발전단지가 형성되어 있는 해안 지역에서 부하 밀집 지역인 수도권 지역으로 전력을 송전하며, 또한 2회선 송전 및 복잡한 루프계통으로 구성되어 있는 등의 계통 특성으로 인해 다양한 계통 문제가 내재되어 있다. 대표적인 계통 운용상의 문제로는 수도권 지역의 전압 문제, 복상 조류량의 조절, 과도안정도, 과부하, 단락 전류 등을 들 수 있다. 특히, 단락 전류는 특히 부하 밀집 지역에서는 중요한 현안 문제로 이를 위해 선로 개방, 모선 분리, 변전소 차단 용량 상향 등으로 대응하고 있다.

최근 초전도체의 특성을 이용한 한류기에 대해서 미국, 유럽, 일본 등의 선진국을 중심으로 계통 적용 연구 [1-4] 및 기기 개발 연구 [5-7]가 진행 중에 있는데, 현재 스위스 ABB에서는 10MVA 급 prototype, 독일 Siemens에서는 1MVA급, 일본 Toshiba, Mitsubishi, Sumitomo 컨소시엄으로 6.6 kV/1 kA급등을 개발하고 있다. 국내에서도 연구소와 대학을 중심으로 연구실 규모의 고온 초전도 한류기 개발 연구를 진행하여 왔으며, 현재 2010년 이후 154kV 계통의 적용을 위한 고온형 한류기의 개발이 차세대 초전도 응용기술개발 사업의 일환으로 추진되고 있다.

본 논문은 초전도 한류기의 계통 적용 연구로 초전도 한류기에 의한 고장 전류 저감효과를 우리계통의 수도권 지역에 적용하여 그 효과를 검토하였다. 본 논문에서는 정상상태 해석을 수행한 것으로, 이를 위해서 초전도 한류기의 위치선정 알고리즘을 제시하였으며 저항형과 유도형 초전도 한류기의 적용 효과를 소개하였다.

한형과 유도형의 조합형으로 구분된다. 본 논문에서는 저항형 및 유도형에 대해서 검토하였다.

저항형의 경우는 초전도체가 전류, 온도, 자장의 임계점을 초과하는 조건에서 퀸치가 발생하여 초전도성이 깨어지고 그 결과 일반도체와 같이 저항을 가지는 특성을 이용하는 것으로, 그림 1은 전류와 저항값의 관계를 나타낸 것이다. 저항형 초전도 한류기는 설정된 전류값 이상이 흐르면 전류량에 따라 저항값이 증가하다 최대 저항값으로 도달하는 메카니즘을 가진다.

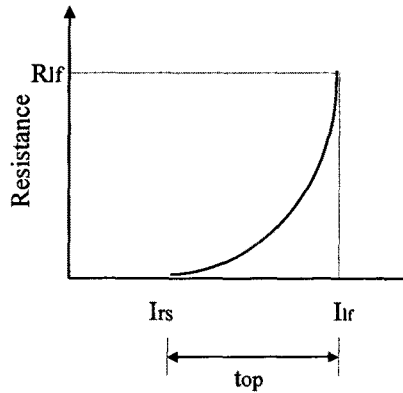


그림 1 저항형 초전도 한류기의 전류-저항 특성

그림 1의 기호의 의미는 다음과 같다.

- I_{rs} : 동작 개시 고장 전류
- I_{rr} : 최종 고장 전류
- R_{if} : 최종 저항

유도형의 경우는 그림 2와 같이 변압기 2차 측의 저항형 제한기로 개념적으로 설명될 수 있다. 이 때 1차 측은 선로에 직렬로 연결된다. 그림 2에서 알 수 있듯이 변압기의 원리에 의해서 2차 측의 저항발생으로 1차 측 선로에 흐르는 전류량을 제어하는 원리로 동작된다.

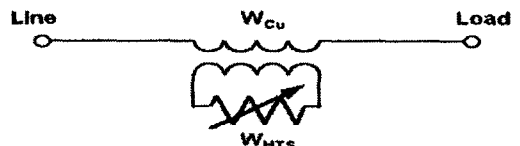


그림 2 유도형 초전도 한류기

2. 초전도 한류기 적용 효과

2.1 초전도 한류기

초전도 한류기는 초전도체의 특성을 이용하여 계통의 사고시 고장전류를 억제하는 것으로 저항형, 유도형, 저

2.2 적용 대상 계통

본 논문에서는 검토한 계통은 중장기의 최대수요 예측치와 발전설비 건설 계획 및 송변전 설비 계획에 따라 작성된 2004년 Peak 계통으로 그림 3의 검토지역은 수도권 지역의 일부 계통이다.

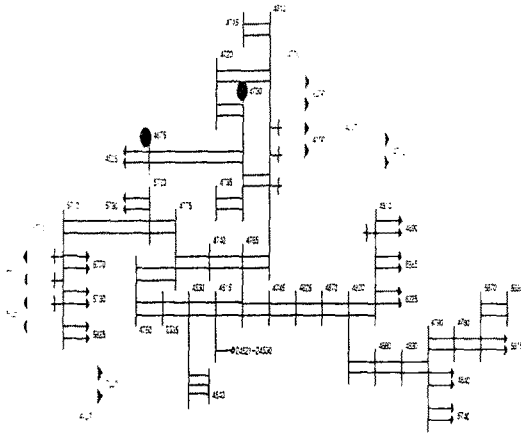


그림 3 적용 대상 지역 계통

고장 해석은 각 모선의 3상 고장을 인가하였고, 각 모선 전압은 1.0PU로 하여 검토하였다. 그리고 이 계통 데이터는 계획데이터이므로 실제와 차이는 발생할 수 있으나, 여기서는 계통 데이터에 의거하여 해석하였다. 그림 2에서 ●표시된 모선은 고장 해석 시 차단기의 정격을 초과하는 모선이다. 이 모선의 차단기 정격과 고장 전류는 표 1과 같다.

표 1. 차단기 정격 및 고장 전류

모선명	차단기 정격용량	고장전류
4675	31.5 kA	34.9 kA
4730	31.5 kA	37.6 kA

2.3 초전도 한류기 적용 위치 선정

초전도 한류기의 적용 효과 검토를 위한 적용 위치 선정은 다음 과정에 의해서 이루어진다.

- 단계 1 : 차단기 정격 초과 모선 검색
- 단계 2 : 연계 모선을 중심으로 한 적용 후보 모선 선정
- 단계 3 : 후보 모선별 적용 효과 검토
- 단계 4 : 차단 정격 이하로 고장 전류가 만족되는 후보 모선 선별

단계 4의 과정에서 선별된 후보 모선이 복수개의 경우는 다음 과정이 추가로 이루어진다.

- 단계 5 : 초전도 한류기 설치에 의해서 투입되는 임피던스의 증분에 대한 전류 감소 증분 계산($\Delta I/\Delta Z$)
- 단계 6 : 증분이 큰 즉, 적용 효과가 가장 큰 모선을 적용 모선으로 최종 선정

본 대상 계통에서는 선정된 후보 모선은 다음과 같다.

- 4675, 4710, 4730

2.4 적용 효과

적용 효과 검토를 위해서 켄치 이후의 최종 임피던스는 0.05PU로 가정하였다. 저항형 및 유도형 초전도 한류기를 적용하였을 때 차단기 정격을 초과하는 모선 4675, 4730의 고장 전류는 표 2, 3과 같다.

표 2. 저항형 초전도 차단기 적용 효과

설치 모선	연계 모선	4675 모선 고장전류[kA]	4730 모선 고장전류[kA]
4710	4720	34.4	36.8
4730	4720	33.5	35.4
4730	4710	30.5	30.7
4675	4730	24.4	32.3
4675	4535	27.5	32.5

표 3. 유도형 초전도 차단기 적용 효과

설치 모선	연계 모선	4675 모선 고장전류[kA]	4730 모선 고장전류[kA]
4710	4720	33.6	35.6
4730	4720	33.6	35.6
4730	4710	31.1	31.7
4675	4730	25.0	32.2
4675	4535	27.5	32.3

표 2, 3에서 확인할 수 있듯이 저항형 및 유도형 초전도 한류기 모두 4710 모선 방향으로 4730 모선에 설치하는 것이 4675 모선 및 4730 모선의 고장전류를 차단기 정격 안으로 제한할 수 있다. 이 결과는 또한 설치 모선에서의 고장전류에 대한 연계 선로 방향의 고장전류 기여분의 결과인 표 4에서 고장전류 기여분의 최대값을 보이는 것과 동일한 결과를 보인다. 즉, 고장전류 기여분이 가장 큰 연계 모선방향으로 초전도 한류기를 설치하는 것이 고장 전류 저감에 가장 효과적임을 나타낸다. 그리고 표 4에서 연계모선 4735의 기여분이 0 kA인 것은 4735 모선이 가장 말단 모선이기 때문이다.

표 4. 고장전류 기여

차단기 정격초과 모선	연계모선	고장전류
4730	4675	6.4 kA
	4710	8.1 kA
	4720	4.3 kA
	4735	0.0 kA

2.5 검토 결과

수도권 일부 지역계통에 초전도 한류기를 적용한 결과 차단기 정격(31.5 kA)을 초과하는 고장 전류가 발생하는 두 모선(4675, 4730)에 대해서 한 모선(4730)에 초전도 한류기를 적용하여 두 모선 모두 차단기 정격 이하로 고장 전류를 저감할 수 있었다. 이는 고장 전류 저감을 위해서 차단기의 정격을 격상해야하는 경우에는 차단기의 정격 격상 없이 초전도 한류기의 적용으로 대체할 수 있음을 나타낸다. 본 논문에서는 경제성 검토를 수행하지는 않았지만 비용 측면에서 상당히 효과적임을 예상할 수 있다.

그리고 초전도 한류기의 타입 결정에 대해서는 단순히 효과에 의존할 것이 아니라 변전소의 부지, 한류기 비용 등 다양한 검토가 이루어져야 한다. 특히 위치 선정에서도 초전도 한류기의 설치할 여유 부지나 환경이 추가로 고려되어야 한다. 본 논문에서는 이에 대해서는 검토하지 않았다.

3. 결 론

본 논문에서는 고장 전류 저감을 위한 대책으로 초전도 한류기에 대한 적용 효과를 검토하였다. 특히, 우리계통에 적용하여 비교적 고장 전류 문제가 있는 수도권 일부 지역에서 그 효과를 검토하였다. 이를 위해서 초전도 한류기 위치 선정 알고리즘을 제시하였으며, 저항형 및 유도형의 적용 효과를 보였다.

연구 결과 초전도 한류기의 설치 시 차단기 정격의 격상을 최소화할 수 있으므로 경제적인 측면에서도 초전도 한류기의 잠재적인 효용가치를 예상할 수 있었다.

또한 실 계통 적용을 위한 상세 계통해석에서 추가로 고려해야 부분들을 소개함으로써 실 계통 적용 계통 검토의 개략적인 가이드라인을 제시하였다.

추후 초전도 한류기에 대한 경제성 검토 및 동특성 해석에 대한 연구를 수행할 계획이다.

[참 고 문 헌]

- [1] M. Tsuda, Y. Mitani, K. Tsuji, K. Kakihana, "Application of Resistor Based Superconducting Fault Current Limiter to Enhancement of Power System Transient Stability", IEEE Trans. on Applied Superconductivity, Vol. 11, No. 1, March 2001.
- [2] N. Hayakawa, H. Kagawa, and H. Okubo, "A System Study on Superconducting Fault Current Limiting Transformer(SFCLT) with the Functions of Fault Current Suppression and System Stability Improvement", IEEE Trans. on Applied Superconductivity, Vol. 11, No. 1, March 2001.
- [3] M. Noe, B.R. Oswald, "Technical and Economical Benefits of Superconducting Fault Current Limiters in Power Systems", IEEE Trans. on Applied Superconductivity, Vol. 9, No. 2, June 1999.
- [4] H. Kameda and H. Taniguchi, "Setting Method of Specific Parameters of a Superconducting Fault Current Limiter Considering the Operation of Power System Protection -Resistance-type and Rectifier-type SFCLs in Overhead Transmission Systems-", IEEE Trans. on Applied Superconductivity, Vol. 9, No. 2, June 1999.
- [5] K. Tekletsadik and M.P. Saravolac, "Development of a 7.5 MVA Superconducting Fault Current Limiter", IEEE Trans. on Applied Superconductivity, Vol. 9, No. 2, June 1999.
- [6] T. Yazawa, E. Yoneda, J. Matsuzaki, M. Shimada, T. Kuriyama, S. Nomura, T. Ohkuma, Y. Sato and Y. Takahashi, "Design and Test Results of 6.6 kV High-Tc Superconducting Fault Current Limiter" IEEE Trans. on Applied Superconductivity, Vol. 11, No. 1, March 2001.
- [7] E.M. Leung, A. Rodriguez, G.W. Albert et al, "High Temperature Superconducting Fault Current Limiter Development", IEEE Trans. on Applied Superconductivity, Vol. 7, No. 2, June 1997.