

고장전류 저감을 위한 초전도 한류기 Bus-Tie 적용에 관한 검토

김종율, 윤재영, 이승렬
한국전기연구원

Applying Superconduction Fault Current Limiter in the Bus-Tie Location

Jong Yul Kim, Jae Young Yoon, Seung Ryul Lee
Korea Electrotechnology Research Institute

jkim@keri.re.kr

Abstract - As the power system is more complex and power demands increase, the fault currents have the tendency of increasing gradually. In the near future, it will happen that the fault currents exceed circuit breaker rating for some substations. In this paper, the resistive SFCL (Superconducting Fault Current Limiter) is installed at Bus-Tie location to reduce the fault current in Korea power systems and evaluated technical and economical Impacts.

1. 서 론

우리나라 전력계통은 좁은 국토 면적과 밀집된 수요로 인하여 루프 계통으로 구성되어 있으며 이러한 계통 구성은 향후 2015년까지 매년 4-5%의 지속적인 전력수요 증가로 인해 더욱 복잡하게 될 것으로 예상된다. 따라서 이러한 계통 특성으로 인해 계통 등가 임피던스가 감소하여 고장전류가 차단기 정격을 상회하는 결과를 초래할 수 있는데 특히 부하 밀도가 높은 수도권에서는 중요한 현안 문제의 하나로 제기되고 있다. 기존에는 차단기 정격을 높이거나 선로 차단, 모선분리, 한류 리액터 등을 이용하여 고장전류를 제한하여 왔지만 이러한 방법들은 비용 측면이나 전력공급 신뢰도 및 계통 안정도 측면에서 문제점을 나타내고 있다. 이러한 상황에서 초전도 한류기의 적용은 고장전류 저감을 위한 좋은 대안 중의 하나로서 제시되고 있다.

초전도 한류기는 정상상태에서는 임피던스가 거의 zero 이나, 고장상태에서는 큰 값을 가지게 되어 고장전류를 크게 감소시킬 수 있다. 즉, 초전도 한류기를 적용함으로써 고장발생시 전력계통을 안전하게 보호할 수 있음은 물론이고, 고장용량이 초과되는 송변전 설비를 교체하지 않아도 되므로 경제적으로 큰 효과를 볼 수 있다[1-2].

초전도 한류기를 계통에 적용하는데 있어 설치

위치에 따라서 두 가지 적용방안으로 구분할 수 있다. 하나는 선로에 직렬로 초전도 한류기를 설치하는 방안이며 다른 하나는 하나의 모선을 두 개로 분리한 후 Bus-Tie 지점에 초전도 한류기를 설치하는 방안이다. 선로에 직렬로 설치하는 방안에 대하여는 현재까지 많은 연구가 진행되어 적용효과의 우수성이 확인되었으나 Bus-Tie 지점에 대한 적용방안에 대하여는 많은 검토가 이루어 지지 못하고 있다.

따라서 본 논문에서는 현재 개발중인 154kV 초전도 한류기의 Bus-Tie 적용방안에 대하여 사례검토를 통하여 기술적 적용효과를 확인하였으며 아울러 차단기 용량 증대 비용을 산정하여 초전도 한류기 적용에 따른 경제적 파급효과를 검토하였다.

2. 초전도 한류기 Bus-tie 적용 방안

초전도 한류기를 이용하여 전력계통내 고장전류를 효과적으로 제한할 수 있는데 그 적용지점에 따른 적용방안을 살펴보면 크게 다음과 같이 두 가지 적용방안으로 나눌 수 있다.

첫 번째 방안은 Fig. 1과 같이 초전도 한류기를 송전선로에 직렬로 설치하는 경우로서 고장시 초전도 한류기가 송전선로를 통해 유입되는 고장전류를 직접 제한하게 되어 고장전류 제한효과 측면에서는 매우 유용한 방안이다. 그러나 이와 같이 송전선로에 직렬로 설치하는 경우는 각 회선마다 초전도 한류기를 설치하여야 하는데 만약 초전도 한류기가 설치되어야 할 송전선로가 4회선이라면 총 4대의 초전도 한류기가 필요하게 되어 경제적인 측면에서는 다소 불리한 점을 가지게 된다.

이에 반해 Fig. 2와 같이 초전도 한류기를 Bus-Tie 지점에 설치하게 되면 1대의 초전도 한류기만을 필요로 하게 되어 경제적 측면에서 이점을 가진다. 초전도 한류기를 Bus-Tie 지점에 설치함으로써 정상상태에서는 모선분리를 하지 않은 것과 같아 모선분리 운전 방안의 단적인 공급신뢰도 및 동기화력 저하 문제를 보완 할 수

있으며 고장시에는 초전도 한류기가 동작하여 모선분리를 시행한 것과 같은 효과를 나타내어 고장전류를 효과적으로 제한할 수 있다.

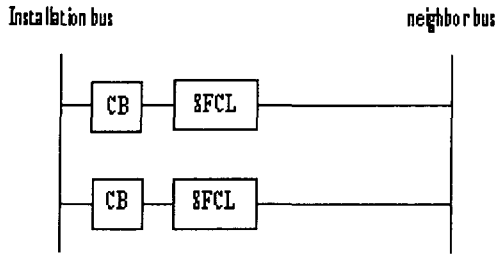


Fig. 1. SFCL in transmission line

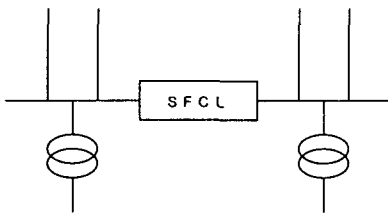


Fig. 2. SFCL in Bus-Tie

3. 초전도 한류기 적용 검토 대상 계통

먼저 초전도 한류기 적용을 위한 설치지점 선정을 위하여 수도권 154kV 모선을 대상으로 고장전류 검토를 수행하였다. 검토대상 계통은 154kV 초전도 한류기 개발 목표 시점이 2010년경인 점을 고려하여 2010년 피크부하 계통으로 하였고 우리나라 실 계통 해석에서 이용되고 있는 PTI사의 PSS/E를 이용하여 3상 단락 고장시 고장전류를 검토하였다. Fig. 3은 2010년 수도권 154kV 모선의 고장전류 분포를 나타내고 있다. Fig. 3에서 가로축은 각 모선을 나타내고 세로축은 해당 모선의 고장전류 크기를 나타내고 있으며 검토 결과 일부 모선의 고장전류가 154kV 차단기 최대 용량인 50kA를 초과하는 것으로 나타났다.

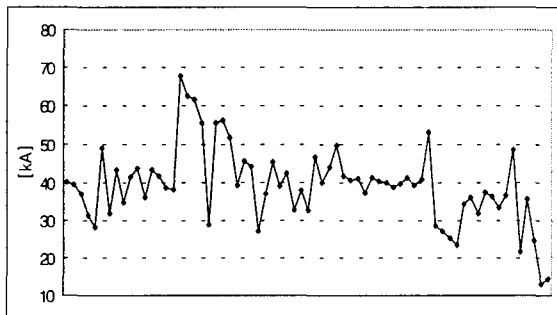


Fig. 3. Fault currents in seoul area in 2010

본 논문에서는 수도권 중에서도 특히 부하밀도가 다른 지역에 비해 상대적으로 높아 고장전류 문제가 발생할 개연성이 높은 서울 강남일대의 남서울 지역을 대상으로 초전도 한류기 적용 방안을 검토하였다. 여기서 차단기의 정격은 모

두 50kA인 것으로 가정하였다. 따라서 고장 전류가 50kA를 초과하는 모선을 차단기 정격 초과 모선으로 분류하였고 그 결과는 Table 1과 같으며 8개 모선에서 고장전류가 차단기 정격을 초과하고 있다.

Table 1 Result of the fault current analysis

모선번호	고장전류(kA)
2510	67.9
2520	62.5
2525	61.7
2530	55.6
2540	55.6
2570	56.1
2580	52.0
2845	53.2

4. 초전도 한류기 적용 효과 검토

4.1 초전도 한류기 Bus-Tie 적용

차단기 정격 초과 모선 중 고장전류 크기가 가장 크며 345/154kV 모선 및 인근 양수 발전소와 연결되어 있어 많은 전력 수수가 이루어지는 2510 모선을 초전도 한류기 설치 모선으로 선정하여 고장 전류 저감 효과를 검토 하였다. Fig. 4,5는 초전도 한류기 설치 전후의 2510 모선의 계통구성을 나타내고 있다.

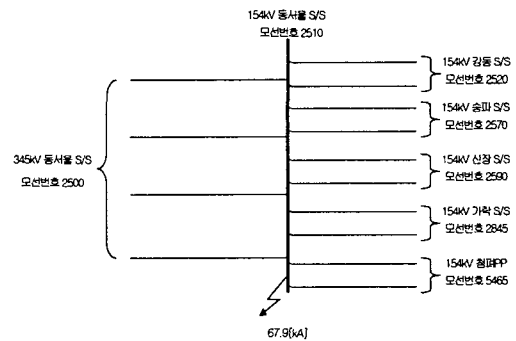


Fig. 4. Power system configuration before installing the SFCL

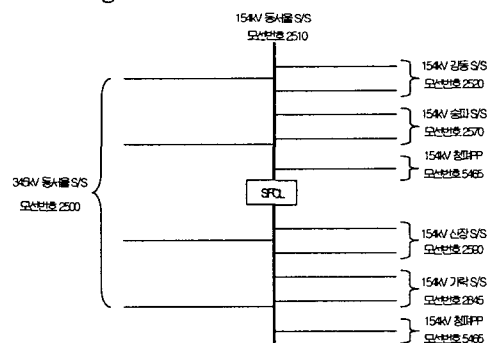


Fig. 5. Power system configuration after installing the SFCL

Fig. 5에서 알 수 있듯이 고장전류저감을 위하여 2510 모선을 2510 및 2511 두 개 모선으로 분리하고 Bus-Tie 지점에 저항형 초전도 한류기 1대를 설치하는 것으로 가정하였다. 이때 켄칭시 초전도 한류기의 임피던스는 100 [MVA] 기준으로 0.1[pu]로 모의하였다.

4.2 초전도 한류기 동작

위의 Fig. 5와 같이 Bus-Tie에 설치된 초전도 한류기는 정상상태에서 거의 영에 가까운 임피던스를 가지게 되어 2510모선은 Fig. 4와 같이 모선분리 전의 계통구성과 동일한 형태가 된다.

그러나 2510 모선 및 인근 모선에서 고장이 발생하게 되면 초전도 한류기가 동작하여 계통구성은 Fig. 6과 같이 모선 분리가 되어진 것과 같은 효과를 얻을 수 있다. 예를 들어 2510 모선에 3상 고장이 발생할 경우 2511 모선에서 2510 모선으로 유입되는 고장전류 I_{SFCL} 은 초전도 한류기에 의해 매우 적은 값으로 제한하게 되어 결국 2510 모선의 고장전류를 대폭 감소시키는 효과를 얻을 수 있다.

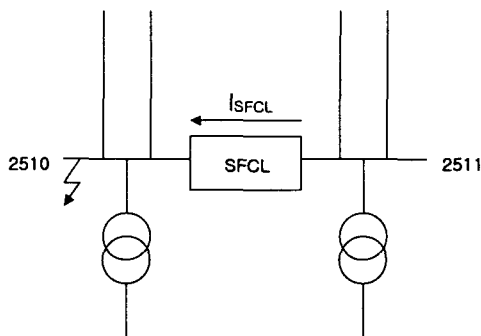


Fig. 6. Fault current reduction effect of SFCL

4.3 초전도 한류기 적용 결과

앞서 설명한 바와 같이 초전도 한류기를 2510 모선의 Bus-Tie 지점에 설치하여 고장전류 제한 효과를 살펴보았으며 초전도 한류기 적용 전후의 고장전류는 Table 2와 같다.

Table 2 Result of case study

모선번호	초전도 한류기 설치 전	초전도 한류기 설치 후
	고장전류[kA]	고장전류[kA]
2510	67.9	39.9
2511	-	46.6
2520	62.5	46.7
2525	61.7	46.9
2530	55.6	42.0
2540	55.6	41.6
2570	56.1	41.7
2580	52.0	35.9
2845	53.2	36.1

Table 2에서 알 수 있듯이 초전도 한류기 설치 전 차단기 정격 50kA를 초과하였던 8개 모선의 고장전류가 2510 모선에 초전도 한류기를 설치한 후 50kA 이하로 제한되는 효과를 나타내었다.

5. 초전도 한류기 적용에 따른 경제적 효과

5.1 차단기 교체 비용

앞선 검토에서 남서울 지역 154kV 모선중 8개 모선에서 고장전류가 기존 차단기 정격을 초과하였다. 따라서 안정적인 고장 차단을 위해서는 기존 차단기를 50kA 이상의 정격을 가지는 차단기로 교체하여야 하는데 이 경우 막대한 교체 비용이 소모될 뿐 아니라 차단기 교체 작업으로 인해 안정적인 전력공급이 어려울 수도 있다.

특히, 현재 진행 중인 전력사업 구조개편으로 인해 송/배전 사업자가 분리될 경우 이러한 전력공급 신뢰도 문제는 더욱 중요하게 부각될 것으로 예상된다.

따라서 초전도 한류기 적용을 통해 고장전류를 제한한다면 기존 차단기를 더 높은 정격을 가진 차단기로 교체하지 않고 계속 사용할 수 있게 되어 막대한 비용을 줄일 수 있게 된다.

Table 3에서는 앞서 검토한 사례의 차단기 교체 비용을 나타내고 있다.

Table 3 Upgrade cost of circuit breakers

모선 번호	154kV 연계선로 회선	M.Tr 차단기	교체 차단기	차단기 가격/대 (억원/대)	차단기 교체비용 (억원)
2510	14	2	16	1.5	24
2520	6	2	8	1.5	12
2525	4	2	6	1.5	9
2530	4	2	6	1.5	9
2540	6	2	8	1.5	12
2570	6	2	8	1.5	12
2580	4	2	6	1.5	9
2845	4	2	6	1.5	9
합계	48	16	64	-	96

연계선로 회선수는 각 모선과 연계되어 있는 154kV 선로의 회선수 합을 나타내고 M.Tr의 경우 각 모선마다 차이가 있지만 모두 2개 이상으로 구성되어 있으므로 여기서는 M.Tr측의 차단기 수를 최소 대수인 2대로 가정하였다. 따라서 차단기 정격을 초과하는 8개 모선에서 교체되어야 할 차단기 수는 최소 64대 이상이다.

현재 사용중인 154kV 차단기의 최고 정격이 50kA이므로 그 이상의 정격을 가지는 차단기의 가격은 현재로서 정확히 알 수 없다. 따라서 본 검토에서는 효성중공업의 기존 154kV/50kA 및 345kV/63kA 차단기 가격을 근거로 하여 약 1.5억원으로 산정하였다.

이를 바탕으로 차단기 교체 비용을 계산하면

총 96억원 정도이며 일부 모선의 경우는 단순히 차단기 정격뿐만 아니라 DS를 포함한 기존 설비도 함께 교체해야 하므로 그 비용은 96억원을 훨씬 넘을 것으로 예상된다.

6. 결 론

본 논문에서는 초전도 한류기 Bus-Tie 적용에 따른 기술적, 경제적 효과를 살펴보았다. 2010년 남서울 지역 154kV 모선의 고장 전류 문제를 해결하기 위해 하나의 모선을 모선분리하고 Bus-tie 지점에 초전도 한류기를 설치하였고 그 결과 모든 모선의 고장전류가 50kA 이하로 제한되는 효과를 확인 할 수 있었다. 또한 경제성 검토결과 기존 차단기를 보다 높은 정격으로 교체하는데 96억원 이상의 막대한 비용이 소요될 것으로 예측되었다. 따라서 초전도 한류기 적용을 통해 기존 차단기를 교체없이 계속 사용할 경우 그 경제적 효과는 매우 클 것으로 생각되며 향후 초전도 관련 기술의 발달에 따라 초전도 한류기의 경제적 가치는 더욱 커질 것으로 예상된다.

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 차세대 초전도응용기술개발 사업단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

[참 고 문 헌]

- [1] L.R.Lawrence,Jr and C.Cox and D.Broman, "High temperature superconductivity: The products and their benefits", Bob Lawrence & Associates,Inc., 2000.
- [2] M. Sjostrom and D. Politano, "Technical and Economical Impacts on a Power System by Introducing an HTS FCL", IEEE Trans on Applied Superconductivity Conference, Sept. 2000.
- [3] H. M. Kim and J. Y. Kim, "Feasibility Study of Superconducting Fault Current Limiter Application to Korean Power System", 한국초전도·저온공학회, Vol. 5, No. 1, June 2003.
- [4] J. Y. Kim and H. K. Choi and J. Y. Yoon, "A Study on the Application Impacts on Korean Power System by Introducing SFCL", KIEE International Trans on Power Engineering, Vol. 3, No. 1, March 2003.