

초전도한류기의 최적 적용위치 선정 프로그램 개발

최흥관*, 윤재영*, 김종율*, 이승렬*, 이병준**
한국전기연구원*, 고려대학교**

Development of HTS-FCL Location Selection Program in Power System

Choi,HeungKwan* Yoon,JaeYoung* Kim,JongYeul* Lee,SeungRyul* Lee,ByongJun**
Korea Electrotechnology Research Institute*, Korea University**

hkchoi@keri.re.kr

Abstract - Maximum short circuit current of modern power system is becoming so large that the current should transmission capability. Although there are various kinds of method to solve this, approached from super conductivity Fault Current Limiter application viewpoint among them. High Temperature Superconductor-Fault Current Limiter (HTS-FCL) development is progressing according to HTS technology development, and system application is tried. For actual system application of such super conductivity FCL, an efficient method to find FCL locations suitable for reduction of short circuit currents of more than one fault location is developed.

1. 서 론

계통에서 고장으로 인한 사고 파급영향을 미연에 방지하고 전력계통의 안정적인 운영을 도모하기 위해서는 고장전류의 크기를 억제해야 한다. 이를 해결하기 위한 다양한 방안이 제시되고 있으며, 최근에는 국내의 고온초전도 기술발전에 따라 고온초전도 한류기(HTS-FCL : High Temperature Superconductor-Fault Current Limiter) 개발이 진행 중이며 계통 적용이 시도되고 있다. 이와 같은 초전도한류기의 계통적용을 위해서는 다양한 조건 하에서 고장전류 억제효과가 검증되어야 하며, 실제 계통적용을 위해서는 수많은 사례분석을 통해 적용효과를 검토해야 한다. 본 논문에서는 초전도한류기의 실 계통 적용시의 최적위치선정에 대한 계산 프로그램을 개발하였다.

2. 본 론

2.1 초전도 한류기의 계통 적용

2.1.1 초전도 한류기의 적용 대상

초전도 한류기의 계통적용을 위해 먼저 고려해야 할 사항은 전압계급과 적용위치이다. 계통은 서로 상이한 여러 단계로 구성된 전압계급으로 구성되며, 위치별로 발전단측, 모선측, 선로측, Feeder측, 변압기단 및 기타 다양한 위치로 적용될 수 있다. 이러한 다양한 전압계급과 구성형태에서 제작상의 문제를 배제할 경우 어느 전압계급, 어느 위치에 FCL을 적용하느냐는 세밀한 검토를 요하는 사항이라고 할 수 있다. 본 논문에서 고려한 주요 적용 위치별 그림은 그림 1에서처럼 345/154kV 변압기 bank 2차측, 154kV 선로, 모선분리 지점인 [A], [B], [C]와 같은 위치들이다.

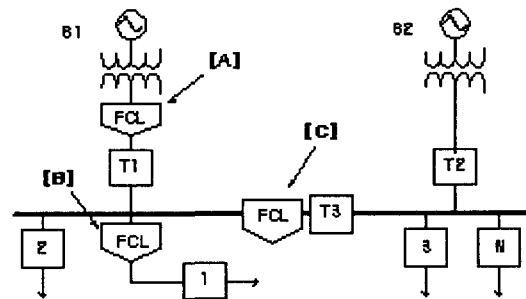


Fig. 1. HTS-FCL Location

따라서 초전도한류기의 개발시점과 비슷한 2010년의 한전 실계통을 대상으로 하고 전압계급은 154kV급을 선정하였다.

2.1.2 계통 적용을 위한 고장전류 분석

초전도한류기의 적용전에 먼저 계통에 대한 분석이 필요하다. 가장 문제가 되는 고장전류의 크기를 저감하기 위한 분석을 선행하였다. 여기서 사용된 분석프로그램은 실효치 해석 프로그램인 PSS/E(Power System Simulator for Engineering, PTI, 미국)이다.

대상 실계통의 고장전류 해석 결과는 다음과 같이 정리할 수 있다. 여러 결과 중에서 154kV급 실계통에서 문제가 되는 고장전류의 크기는 보통

50kA를 기준으로 하기 때문에 이 기준을 상회하는 결과만을 정리한 것이다.

Table 1. Short-Circuit Current and Bus

모선번호	모선명	고장전류(kA)	비고
1610	[성동1 154]	53.43	
1611	[왕십리 154]	52.68	
1670	[마장 154]	52.37	
1710	[미금1 154]	50.76	
1711	[미금1S 154]	50.76	
1745	[휘경 154]	50.70	
41710	[D미금1 154]	50.76	

이러한 결과를 바탕으로 고장전류 문제가 발생한 모선을 포함하는 실계통의 계통단선도는 다음 그림과 같다. 그림 2는 성동 154kV 모선을 기준으로 한 단선도이며, 그림 3은 미금 154kV 모선을 기준으로 한 계통단선도를 나타내고 있다.

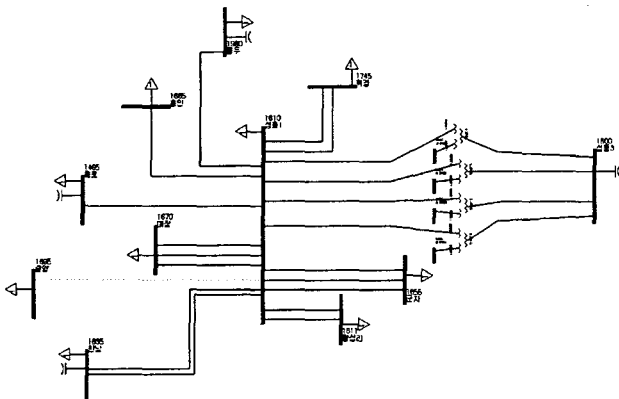


Fig. 2. System Diagram(SeongDong 154 kV environs)

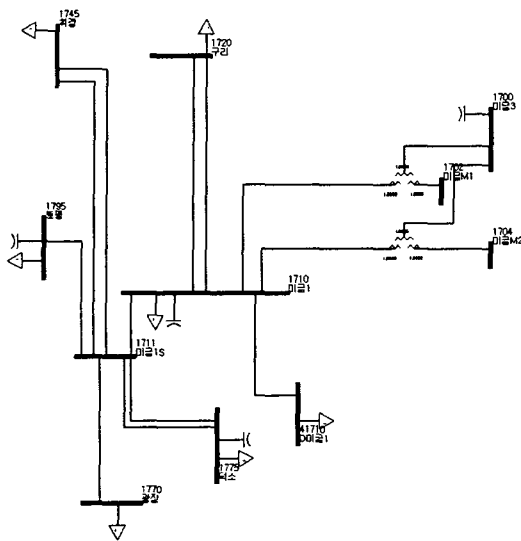


Fig. 3. System Diagram(MiGum 154 kV environs)

2.1.3 초전도 한류기의 기존 적용 방법

초전도 한류기를 계통에 적용하기 위한 일반적인 방법은 고장해석을 통하여 고장전류 문제가 되는 모선을 선정하여 그 모선에서의 고장전류 기여분을 계산하여 기여도가 가장 큰 선로를 대상으로 하여 초전도한류기를 적용하여 고장전류 저감효과를 판단하여 최종 적용위치를 판단하는 방법이다. 이러한 방법은 계통해석 경험과 계통 토폴로지에 대한 충분한 이해를 바탕으로 여러 사례를 상정하여 시행착오를 반복함으로써 최종 결론을 얻게 된다. 표 2는 이러한 분석을 위한 중요한 자료인 고장전류 기여도를 예시(성동 154kV 모선)한 것이다.

Table 2. Short-Circuit Current (Seong-Dong 154kV) Contribution

고장발생 모선	인근 모선번호	모선명	고장전류
1610 성동 154	1465	[종로 154]	0.0
	1611	[왕십리 154]	0.0
	1635	[한남 154]	0.0
	1655	[군자 154]	2.88
	1670	[마장 154]	0.0
	1685	[홍인 154]	0.0
	1745	[휘경 154]	15.3
	1980	[용두 154]	0.0
	1600	[성동3 345]	35.25
계			53.43

또한 표 3에서 처럼 초전도 한류기의 설치모선에 대해 확인하는 절차를 거쳐 고장전류 저감효과를 최종적으로 검증하게 된다.

Table 3. Short-Circuit Current of Circuit

고장발생 모선 번호	설치예정 모선 모선명	고장전류(kA)	회선별 고장전류
1610	성동1 154	35.08	8.77kA * 4
1611	왕십리154	34.64	8.66kA * 4
1670	마장 154	34.4	8.6kA * 4
1710	미금1 154	17.57	4.4kA * 4
1711	미금1S154	26.48	6.62kA * 4
1745	휘경 154	29.44	7.36kA * 4
41710	D미금1 154	17.67	4.42kA * 4

그러나 위와 같은 방법은 몇 가지 문제점을 가지고 있다. 첫째로 해석결과가 경험에 좌우되고 다양한 사례분석이 뒷받침되어야 한다는 것이다. 고장전류문제가 발생한 모든 모선에 대해 만족할 만한 결과를 얻기 위해서는 다양한 사례분석이 필수적이다. 물론 대상계통에 대한 정확한 이해와 다양한 해석 경험이 있다면 훨씬 적은 사례분석으로 만족할 만한 결과를 얻어낼 수 있을 것이다. 두 번째는 정형화된 루틴이 없기 때문에 해석 및 분석에 많은 시간이 소요되는 점이다. 고장전류를 저감하기 위한 방법은 여러 가지가 존

재하고 이러한 방법들도 어떠한 방법이 가장 적합한 방법인지 알 수가 없다는 점이다. 세 번째는 결과에 대해 최적의 결과임을 입증하기 힘들다는 점이다. 앞의 고장전류 해석결과에서처럼 문제가 되는 모선은 7개 모선이다. 즉 고장전류가 대폭 개선되는 방법보다 경제성에 입각하여 가장 적은 한류기 투입대수를 가지고 7개모선 모두의 고장전류가 고장전류 한계치 이하로만 저감되면 되는 것이다. 이러한 이유로 고장전류 기여도를 바탕으로 적용한 결과가 과연 최적의 선택이었는지는 단언하기 힘들다.

이러한 문제점들을 해결하기 위해 비약적으로 발달한 컴퓨터 연산능력을 이용하여 고려할 수 있는 모든 사례를 사전에 계산하여 그 결과 중에서 최적의 결과를 얻을 수 있도록 프로그램을 개발하였다.

2.2 초전도 한류기 위치 선정 프로그램

2.2.1 위치 선정을 위한 기본조건

FCL 적용 위치(154kV급 모선에 우선 적용)는 345/154kV 변압기가 있는 경우 2차측에 FCL을 적용하며 인근 선로 및 345/154kV 수전 모선을 모선 분리하여 분리된 지점에 FCL을 적용한다. 모선 분리 방법은 선로의 회선분리는 하지 않으며 조합할 수 있는 경우의 수를 모두 고려하여 적용한다.

PSS/E에서 ASCC의 경우와 SCMU로 계산한 경우의 모선의 3상 고장전류값 차이가 발생하기 때문에 다음과 같이 적용하였다.

○ SCMU는 복잡한 3상불평형 고장계산을 기본으로 하고 있으나 ASCC는 좀 더 간략화된 수식을 사용하기 때문에 고장해석결과에서 차이가 발생하게 된다. 자세한 수식은 생략한다.

○ 미래 계통 데이터와 같이 Zero impedance가 없는 경우 좀 더 객관적이고 정확한 해석결과를 얻기 위해서 ASCC로 계산한 결과를 적용한다.

○ IPLAN 프로그래밍은 SCMU로 계산한 결과를 소환하는 CALL문 사용을 배제하고 ASCC 계산 결과를 임시 파일 저장하여 읽어 들여 최적 위치를 선정하는 process를 적용한다.

2.2.2 위치 선정 프로그램

위치 선정 프로그램은 최신 버전의 IPLAN 프로그램을 사용하여 개발하였다. 개발된 프로그램의 알고리즘과 순서도는 다음과 같다.

- CASE 입력
- 적용 대상 지정 및 초기화(154kV, Area 적용)
- 각종 초기값(대상모선 및 선로데이터 정보, 고장전류 판단기준값, 적용위치 등) 구성
- 고장해석 및 고장전류 문제 모선 파악 및 저장
- 한류기 적용 위치 CASE(모든 경우 고려) 지정 및 고장해석
- 고장전류 계산 및 결과 임시 저장

- 고장전류 저감 확인 및 저장
- 고장해석을 초기화하고 Base Case file을 재로드하여 고장해석
- 한류기 적용 위치 지정에 따른 위 절차 Loop 반복하여 실행
- 적용 위치 및 고장전류 저감 결과 file 저장
- 지정된 조건으로 결과를 정리하여 file 저장

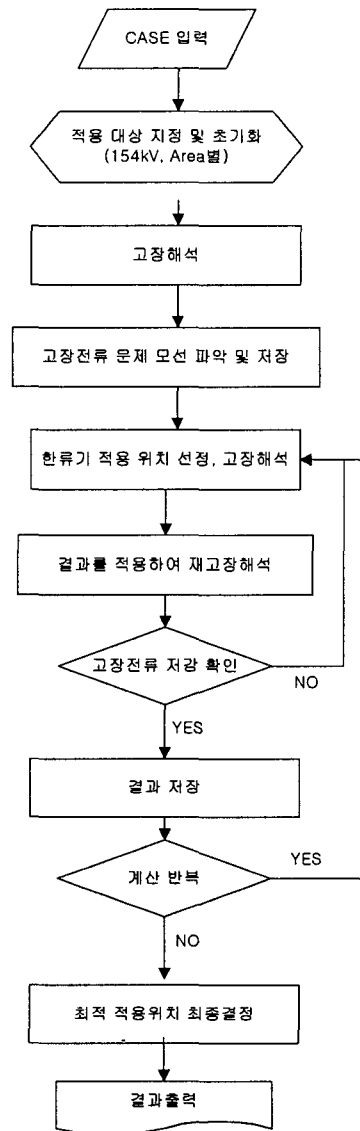


Fig. 4. Flowchart of HTS-FCL Location Selection Program

2.3 개발 프로그램의 결과 검토

2.3.1 위치선정 프로그램 결과

이미 기술한 바와 같은 알고리즘 및 순서도를 바탕으로 개발한 프로그램의 결과는 다음과 같다. 여기서 표 4의 결과는 모선분리를 하지 않은 상황에서 고려할 수 있는 모든 위치에 대해 계산한 결과를 나타내고 있으며 표 5는 모선분리를 하고 분리된 위치에 초전도한류기를 적용할 때의 결과를 나타낸 것이다.

Table 4. Results of Program Output

문제 모선	적용전 고장전류	적용후 고장전류	누적 저감율	FCL 적용위치	FCL 갯수
1610	53431.3	47333.6	0.114122	1710-1700	2
1611	52676.2	46738.4	0.113422		
1670	52367.2	46496.0	0.112987		
1710	50764.6	40201.6	0.13676		
1711	50764.6	40201.6	0.151023		
1745	50702.6	42434.3	0.153032		
41710	50764.6	40201.6	0.160896		

2.3.2 모선분리시의 검토 결과

모선분리시의 최적의 정보는 표 5와 같다. 각 모선에 대해 분리 정보(1의 값이 분리되는 모선으로 이동함을 의미)를 나타내고 있다.

Table 5. Split information of Target Bus

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
모선	1465	1611	1635	1655	1670	1685	1695	1745	1980	1602	1604	1606	1608
정보	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0

아래 표 6은 모선 분리하여 적용한 결과를 나타내며 결국 한 개의 초전도한류기로 모두 고장전류 허용범위내에서 모든 문제모선들을 만족하고 있음을 알 수 있다.

Table 6. Final Results through Bus-Split

문제 모선	모선분리전 고장전류	모선분리후 고장전류	저감율	누적 저감율
1610	53431.3	28588.1	0.464956	0.464956
1611	52676.2	28371.5	0.461398	0.463177
1670	52367.2	28283.1	0.459908	0.462087
1710	50764.6	45332.4	0.107008	0.373317
1711	50764.6	45332.4	0.107008	0.320056
1745	50702.6	44124.6	0.129737	0.288336
41710	50764.6	45332.4	0.107008	0.262432

위와 같은 결과를 바탕으로 모선분리(1610성동 154kV 모선)시의 최종 해석 결과를 요약하면 다음과 같다.

○ 모선분리시 루트선로의 회선을 나누는 경우는 저감 효과가 미미하다.

○ 345kV 선로에서 유입되는 고장전류와 고장전류 문제가 되는 모선의 고장전류가 연결되는 선로를 차단하는 모선분리가 가장 효과적(결국 345/154변압기 2차측에 초전도한류기를 설치하는 것과 동일한 형태가 되며 적용 개수만 줄어드는 결과를 보임)이지만 계통운영상 현실적이지 못하다.

○ 현실적인 대안으로 위 표에서처럼 분리된 모선에 변압기 bank를 고르게 분배시키는 경우를 선정하여 적용하는 것이 타당하다.

○ 변전소내 실제 Bus bar의 구조상 모선분리 지점에 적용되는 한류기의 개수를 1개가 아닌 2

개로 선정하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

3. 결 론

본 연구에서는 초전도한류기를 실계통에 적용하기 위한 위치선정 프로그램을 개발하였다. 이에 앞서 기존의 해석방법과 문제점을 고찰하고 이를 해결할 수 있도록 하였다. 연구결과를 종합하여 기술하면 다음과 같다.

○ 초전도 한류기를 실계통에 적용하기 위해 고장전류 해석 방법과 과정을 답사하여 문제점을 도출하고 해결할 수 알고리즘을 마련하였다.

○ 개발된 프로그램에 대하여 실계통에 적용하여 고장전류 저감특성과 적용개수 등의 결과를 통하여 그 효용성을 검증하였다.

○ 실제적인 초전도 한류기 적용을 위한 기본 자료와 계통계획의 참고 자료로 활용될 수 있다.

○ 향후 더 많은 고장전류 문제모선의 고려를 위해 좀 더 효율적인 알고리즘이 필요할 것으로 사료된다.

“본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 차세대초전도응용기술개발 사업단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.”
 “This research was supported by a grant from Center for Applied Superconductivity Technology of the 21st Century Frontier R&D Program funded by the Ministry of Science and Technology, Republic of Korea”

[참 고 문 헌]

- [1] Korea Electric Power Corporation power supply plan office, "A system characteristic improvement equipment setup propriety examination report", 1995. 11
- [2] Korea Electrotechnology Research Institute, "Extra-high voltage bulk DC transmission technical development", 1996. 12
- [3] Korea Electrotechnology Research Institute, "HTS-FCL Characteristic comparison and examination", 2002. 6
- [4] John Cerulli, "Requirements for a Superconducting Fault Current Limiter in the Utility Bus-Tie Location", 1999, IEEE
- [5] M. Noe, B. R. Oswald, "Technical and economical benefits of superconducting fault current limiters in power systems" IEEE Transactions on applied superconductivity, June 1999.