

배전보호협조를 고려한 초전도 한류임피던스 제한에 필요성 연구

안재민, 김진석, 문종필, 임성훈, 김재철  
 숭실대학교

Study on the Necessity for Limiting Impedance of Superconducting Fault Current Limiter  
 Considering Protective Coordination of power distribution

Jae-Min Ahn, Jin-Seok Kim, Jong-Fil Moon, Sung-Hun Lim, Jae-Chul Kim  
 Soongsil University

**Abstract** - In this paper, we study on the necessity for limiting impedance of Superconducting Fault Current Limiter(SFCL) considering protective coordination. Several countermeasures have been proposed to protect the power system effectively from the larger fault current. Among them, the SFCL has been expected as one of the most effective solutions. However, the application of SFCL into power system can cause some problems, such as non-operation of instantaneous elements, of protective coordination because of limiting fault current. So we suggest that impedance of SFCL is must limited for operation of instantaneous elements. This method is essential to introduce application of SFCL into power distribution system.

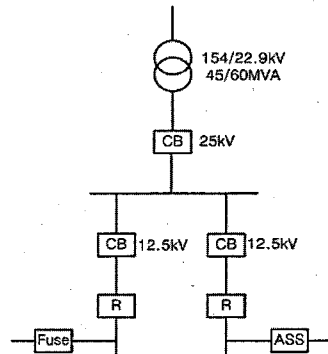
배전계통에 적용하기 위한 기초자료로 활용될 것으로 사료된다.

2. 배전보호 협조

배전계통은 발전소에서 생산된 전기에너지를 최종 소비자인 수용가(기업, 가정, 정부기관 등)에게 전달하기 위해 구성된 전력계통의 가장 마지막 단계에 위치하고 있다. 배전계통은 단순히 전기에너지를 전달하는 수단으로서의 기술적 성격뿐만 아니라 고품질의 전기에너지를 정전없이 공급하기 위하여 보호협조 시스템을 갖는다. 배전계통에는 발생한 고장이 파급되는 것을 방지하기 위해서 그림 1과 같이 변전소 보호기기를 포함하여 적어도 1대 이상의 보호기기가 설치되어 있다. 보호기기의 가장 중요한 역할은 자기 부하 측에서 고장이 발생하면 스스로 개방되어 건전구간을 고장구간으로부터 분리시킴으로써 고장으로 인한 피해를 축소시키는 것이다. 이러한 보호기기가 미리 설정된 동작 순서에 따라 선로와 장치로부터 고장을 제거하기 위하여 일정한 시간-전류 설정치를 갖는 과전류 보호장치의 선정과 배전선로를 따라 연속하여 과전류 보호장치들의 적절한 배치 과정을 보호협조라 한다.

1. 서 론

산업이 발전함에 따라 소비자들은 전력이 질적, 양적으로 향상된 고품질의 전력을 요구하고, 요구치는 계속적으로 향상되고 있다. 공급자인 전력회사는 이를 충족시키기 위해 발전설비 용량 증설, 계통연계, 변전소 용량 증설 등 소비자의 요구를 충족시키기 위해 제동운용 체계를 변화하여 계통을 운용하고 있다. 하지만 제동운용 체계의 변화에 따라 고장전류의 증가라는 새로운 문제점이 발생되었다. 여기에 더하여, 최근 증가하고 있는 신재생에너지의 계통연계는 고장전류 증가를 가속화하고 있는 실정이다. 고장전류의 증가는 계통의 안정도를 저해시킬 뿐만 아니라 전력설비에 큰 부담을 주고 있고, 계통 고장시 고장전류가 차단기 용량을 넘어서는 경우가 발생할 수 있어 보다 용량이 큰 차단기로의 교체가 불가피하다[1]. 이러한 차단기의 교체는 많은 비용이 발생하므로 보다 저렴한 방안으로 초전도 전류 제한기의 도입을 적극적으로 검토하고 있고 경제성을 가진 초전도 전류 제한기의 개발로 제동적용 연구가 가속되고 있다[2]. 초전도 전류 제한기의 계통 적용은 평상시 전력손실 없이 전력을 공급하다가 고장시 신속하게 고장전류를 제한함으로써 고장전류 용량 초과에 따른 기존 차단기의 교체비용을 감소시킬 수 있으며 계통 설비들이 받는 충격을 완화시킬 수 있다. 그러나 전력계통에 초전도 전류 제한기를 적용하게 되면 초전도 전류 제한기의 상전도 임피던스에 따른 고장전류 값의 변화로 기존에 정정되었던 보호계전기의 동작특성이 변하여 보호협조 문제점 발생할 수 있다[3].



<그림 1> 일반배전 계통

2.1 배전 보호기기

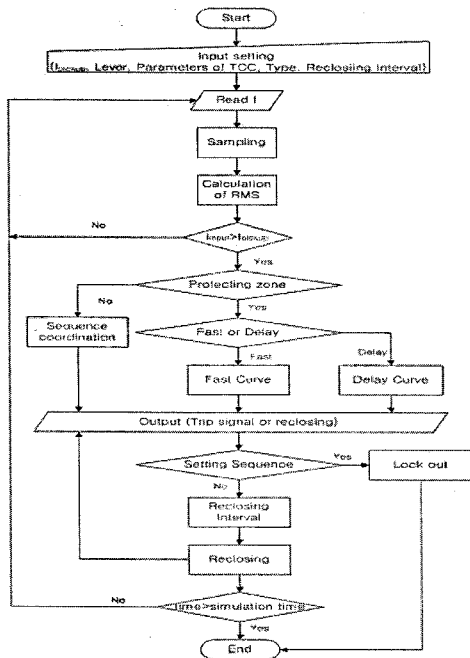
배전계통은 일반적으로 과전류 보호계전 방식을 사용한다. 배전계통 보호기기로서 과전류 계전기를 이용한 차단기와 리클로저가 이용된다. 기존 연구에서 과전류 계전기의 모델링을 연구하여 보호협조 관계를 분석하였고[3], 본 논문에서는 리클로저를 추가하여 배전계통 보호협조를 분석하였다. 과전류 계전기(OCR)는 입력전류(Input)가 정정치(Ipickup)보다 크면 시간-전류 곡선(Time-Current Curve)에 의해서 동작한다. 과전류 계전기의 시간-전류 곡선은 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

따라서, 본 논문에서는 과전류 계전기의 순시요소 부동작을 해결하기 위해 초전도 전류제한기의 상전도 임피던스를 계통의 특성을 고려하여 제한해야하는 필요성에 대하여 연구하였다. 연구를 위하여 본 논문에서는 배전 보호시스템 및 초전도 전류제한기를 모델링 하여 사례연구를 수행하였다. 이러한 연구는 초전도 전류제한기를

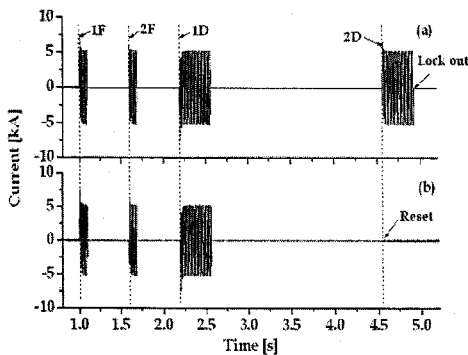
$$t_{trip}(I) = TD \left( \frac{A}{M^p - 1} + B \right) + K \quad (1)$$

여기서,  $t_{trip}(I)$ 는 과전류 계전기의 입력전류에 대한 트립 시간을 말하고 TD는 time dial(레버), M은 입력전류/정정치의 비를 의미한다. 상수 A, B, p, K는 특성상수이며 규격 및 제조사별로 값이 다르다[4].

리클로저는 배전계통 고장중 약 70 [%]의 순시고장을 제거하는 중요기로 배전계통에 꼭 필요한 보호기기이다. 동작흐름도는 그림 2와 같고 PSCAD/EMTDC를 이용하여 모델링한 결과 파형은 그림 3과 같다. 그림 3의 (a)파형은 영구고장으로 2번의 순시곡선(Fast Curve)과 2번의 지연곡선(Delay Curve)에 의해 동작한 후 개방(Lock Out)되는 특성을 나타내며 그림 3의 (b)파형은 2F 1D 동작 후 고장이 제거되어 재폐로(Reclosing) 후 부하에 정상적으로 전력을 공급하는 특성을 나타낸다. 본 논문에서 모델링한 리클로저는 nF nD 형태의 동작을 모델링 할 수 있으며 원하는 곡선의 특성 상수를 적용함으로써 원하는 곡선을 적용할 수 있다.



<그림 2> 리클로저 동작 흐름도



<그림 3> 리클로저 결과 파형

## 2.2 배전계통 모델링

그림 4는 배전계통에 초전도 전류제한기 적용시 보호협조 분석을 위한 일반 배전계통을 나타낸다. 초전도 전류제한기는 변압기 2차측, 연계선로, 피더보호용 등에 적용할 수 있으며 적용되는 위치에 따라 효과가 다르다[1]. 본 논문에서는 초전도 전류 제한기를 변압기 2차측에 적용하였다. 배전계통의 전체 부하용량은 변압기 용량을 고려하여 45 [MVA]로 설정하였고 피더 1에 10 [MVA], 피더 2에 10 [MVA], 피더 3에는 나머지 피더의 부하를 집중하여 25 [MVA]를 적용하였다. 피더보호용 차단기에는 과전류 계전기(50, 51) 및 지락과전류 계전기(50N, 51N)를 모델링하여 적용하였고 순시요소의 정정치를 정하기 위해 부하용량의 50 [%] 위치에 자동 재폐로 차단기(2F 2D)를 적용하였다. 배전계통에 적용한 전원임피던스, 변압기 임피던스 및 선로 임피던스는 표 1과 같다. 또한 보호협조 문제점을 분석하기 위하여 case 1과 case 2에서 고장을 모의하였다.

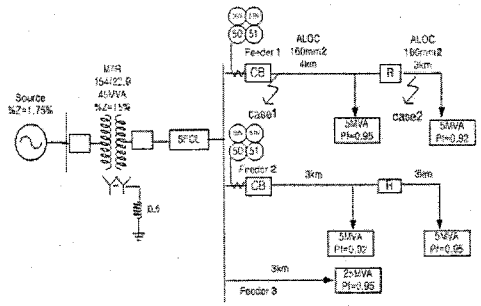


그림 4 배전계통 모델링

표 1 배전계통 임피던스

구분	임피던스 값
base	100MVA, 22.9kV
전원 임피던스	1.778 [%]
변압기 임피던스	j15 [%]
선로 임피던스	3.48+j7.44 [%/m](정상)
	10.8+j23.6 [%/m](영상)

## 3. 한류임피던스 제한의 필요성

한류임피던스 제한의 필요성을 분석하기 위하여 초전도 전류제한기의 상전도 임피던스를 저항형과 리액티브형으로 분류한 후 저항과 리액티브를 1~20 [Ω], j1~j20 [Ω]까지 각각 가변하여 변압기 2차 측에 적용하였다. 또한 보호협조 정정 지침에 따라 본 논문에서 모델링한 배전계통에 대하여 보호협조 정정을 하였고 보호협조 정정은 표 2와 같다. Case 1, Case 2에서 고장을 모의하여 초전도 전류제한기 적용시 발생하는 보호협조 문제점을 분석하였다. case 1 시뮬레이션의 목적은 지락과전류 계전기의 보호협조를 분석하기 위함이고 case 2 시뮬레이션의 목적은 지락과전류 계전기와 자동 재폐로 차단기의 보호협조를 분석하기 위함이다.

표 2 정정지침에 따른 보호협조 정정

항목	과전류 계전기		리클로저	
	상	지락	상	지락
최대부하 전류	252 [A(rms)]	252 [A(rms)]	121 [A(rms)]	121 [A(rms)]
CT ratio	600/5	600/5	600/5	600/5
한시협 전류	3[A]	0.7[A]	3[A]	0.7[A]
순시협 전류	50[A]	25[A]	-	-
TD(Time Dial)	4	4	Fast: 0.5 Delay: 2	Fast: 0.5 Delay: 2

case 1에서 3상 단락고장이 발생한 경우 고장전류 파형은 그림 5와 같다. 이 파형은 초전도 전류제한기로 인해 고장전류가 순시요소 정정치보다 작게 제한되어 자기영역 고장임에도 부동작하는 것을 알 수 있고, 또한 정정지침에서 변전소 인출점 3상 단락전류에서 0.5 [s] 이내에 동작하여야 하는데 정정기준을 벗어나는 것을 의미한다. 시뮬레이션을 통하여 확인할 수 있듯이 초전도 전류제한기의 임피던스에 따라 순시요소가 부동작 할 우려가 있다. 즉, 계통에 적용 가능한 초전도 전류 제한기의 임피던스는 한정된다는 것이다. 본 논문에서는 초전도 전류제한기의 임피던스에 따른 순시보호협조에 대하여 분석하였고 표 3과 같다. 이 결과는 본 논문에서 제시한 배전계통에서의 결과지만 일반적인 배전계통을 모의하였기 때문에 모든 배전계통에서 동일한 경향을 가질 것으로 사료된다.

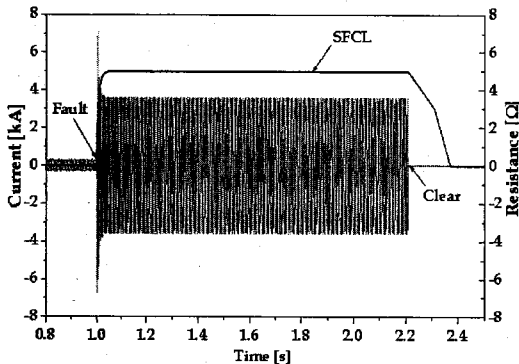


그림 5 초전도 전류제한기 적용시 case 1 고장전류

표 3 초전도 전류제한기 임피던스에 따른 순시 보호협조

구분	case1 (OCR)		case2 (Recloser)		순시 보호협조 정정		순시 보호협조		
	단락 [kA]	지락 [kA]	단락 [kA]	지락 [kA]	상 [kA]	지락 [kA]	상	지락	
Without SFCL	7.18	6.74	3.78	2.78	5.68	3.90	o	o	
with SFCL	1[Ω]	6.31	6.00	3.46	2.59	5.19	3.63	o	o
	5[Ω]	2.48	2.46	1.96	1.71	2.94	2.39	x	o
	10[Ω]	1.29	1.29	1.16	1.09	1.75	1.52	x	x
	20[Ω]	0.65	0.65	0.62	0.60	0.94	0.85	x	x
	5[Ω]	1.93	1.89	1.56	1.36	2.35	1.91	x	x
	10[Ω]	1.11	1.10	0.98	0.90	1.47	1.26	x	x
20[Ω]	0.60	0.60	0.56	0.53	0.84	0.75	x	x	

case 2 고장시에는 지락과전류 계전기와 자동 재폐로 차단기의 동작특성 변화에 대하여 분석하기 위하여 결과 파형은 그림 6과 같다. 그림 6의 (a)를 보면 초전도 전류 제한기로 인해 고장전류가 감소하여 고장제거 시간이 증가함을 알 수 있고 그림 3의 (a)와 비교해 보면 고장제거 시간이 약 1.5 [s] 증가했음을 알 수 있다. 하지만 지락과전류 계전기와 자동 재폐로 차단기의 보호협조는 이루어지는 것을 확인할 수 있다.

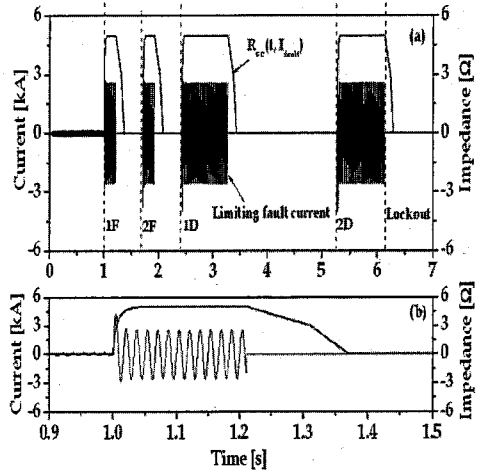


그림 6 초전도 전류제한기 적용시 case 2 고장전류

### 3. 결 론

본 논문에서는 초전도 전류제한기 적용시 보호협조를 고려하여 초전도 전류제한기의 한류 임피던스를 제하의 필요성에 대하여 연구하였다. 초전도 전류제한기를 배전계통에 적용하면 순시요소가 부동작할 우려가 있고 이는 자기영역 고장에 대하여 문제점을 갖는다. 그러므로 계통특성을 고려하여 초전도 전류제한기의 한류임피던스를 제한해야 할 필요성이 있다.

#### 감사의 글

본 연구는 21세기프론티어 연구개발사업인 차세대초전도 응용 기술개발 사업단의 연구비지원에 의해 수행되었습니다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] 김준환, 이강완, "전력계통 고장전류 증대와 대응방안", 전기저널, pp.19-31, April 1998
- [2] B. W. Lee, J. Sim, K. B. Park, I. S. Oh, S. W. Yim, H. R. Kim, O. B. Hyun, "Fabrication and Tests of the 24kV class Hybrid Superconducting Fault Current Limiter," Journal of the Korea Institute of Applied Superconductivity and Cryogenics, vol. 9, no. 4, pp. 32-36, 2007
- [3] 안재민, 김진석, 문종필, 임성훈, 김재철, 김철환, 현우배, "배전계통에 초전도 전류 제한기 적용시 보호협조 분석", 전기학회 논문지, 제 57권, 5호, pp. 755-760, 2008.
- [4] H. Kameda, and H. Taniguchi, "Setting Method of Specific Parameter of a Superconducting Fault Current Limiter Considering the Operation of Power System Protection," IEEE Tran. Appl. Superconduct, vol. 9, no. 2, June 1999.