

배전계통에 초전도 전류제한기 적용 시 Recloser-Fuse 협조 분석

(Analysis of Recloser-Fuse Coordination
in Distribution System with SFCL)

김명후* · 김진석* · 유일경* · 문종필* · 임성훈* · 김재철* · 안재민**

(*송실대학교, **전기안전공사)

(Myoung-Hoo Kim · Jin-Seok Kim · il-Kyoung You · Jong-Fil Moon · Sung-Hun Lim · Jae-Chul Kim · Jae-Min Ahn)

Abstract

This paper shows us the basic protective devices to protect against fault current such as recloser and fuse. Also recloser has been coordinated with fuse in distribution system to protect against fault current efficiently. However, in distribution system with SFCL, recloser-fuse coordination could be different to now and fault current couldn't be clear, if occurred. Therefore, this paper analysed recloser-fuse coordination in distribution system with SFCL using PSCAD/EMTDC

1. 서론

우리나라는 지역적 특성상 산업이 발전함에 따라 제약된 공간에서 수용가의 증가, 그에 따라 전력수요도 밀집되어 증가 되는 특징을 보이고 있다. 이러한 제약된 공간의 전력 수요의 증가는 배전계통에 전력공급의 증가로 인한 예상치 못한 부담을 줄 수 있다[1]. 그 중 대표적인 예로 이상 과전류 현상을 들 수 있다. 물론 지금의 배전계통에는 과전류를 보호 할 수 있는 보호 장치들이 마련되어 있다. 가장 대표적인 예로 Recloser, Circuit Breaker, Fuse 등이 있으며 이 기기들은 각각 단독으로 사용 할 수 있다. 그러나 상호 협조를 통해 보다 효과적으로 사용할 수 있다. 이러한 과전류 보호 장치는 기기 자체의 정정 지침과 시간-전류 특성에 따라 과전류를 검출하여 차단하게 되는데, 수용가의 증가에 따른 전력흐름의 변화로 고장전류가 기존보다 크게 흐를 가능성이 있다. 이러한 문제에 대해 제시된 대안으로 초전도 전류제한기(SFCL)를 적용하는 방안이 마련되고 있고, 보호기기 전체를 교체하는 비용보다 저렴하며 효율적이다[2]. 이런 초전도 전류제한기의 특징은 고장 전의 상태, 즉 초전도 상태에서는 계통에 부담을 주지 않고, 고장이 발생하면 저항이 발생하여 고장전류를 제한하는 특징을 갖고 있다. 그러나 이 초전도 전류제한기에 의해 저감된 고장전류는 현재 설치되어 보호 기기사이의 상호 협조를 무너뜨릴 가능성이 있다[3].

따라서 본 논문에서는 기본적인 과전류 보호장치인 Fuse와 Recloser 간의 상호 협조가 초전도 전류제한기를 적용한 후, 어떠한 변화가 있는지를 알아보았다. 이 연구를 위하여 PSCAD/EMTDC를 이용하여 초전도 전류제한기, Fuse, Recloser, 배전계통을 모델링 하여 고장 발생시 Fuse와 Recloser 사이의 협조관계에 대하여 분석하였다.

2. 보호기기 모델링

2.1. Recloser 모델링

Recloser는 순간고장 혹은 영구고장을 구분 하여 고장구간을 최소화 시키는 자동 재폐로 장치로서 배전선로의 대표적인 보호장치이다. Recloser는 과전류 계전기를 통하여 입력전류가 정정치보다 크면 설정된 시간-전류 특성 곡선에 의하여 작동한다. 미리 설정되어 있는 동작 순서는 본 논문에서는 2F1D로 설정하였으며, <그림 1>은 설정된 Recloser의 동작 파형을 보여준다. 여기서 2F는 2번의 순시동작을 의미하며 1D는 1번의 지연동작을 의미한다. 순시동작은 말 그대로 고장전류에 대해 짧은 시간에 동작하며, 지연동작은 고장전류를 잠시 허용하는 동작으로 순시는 3~5 [cycle], 지연은 10~15 [cycle]내에 동작한다. 기기의 재폐로 시간은 순시동작 사이 0.3초 순시와 지연 동작사이 0.5초로 시뮬레이션을 설정하였다[4].

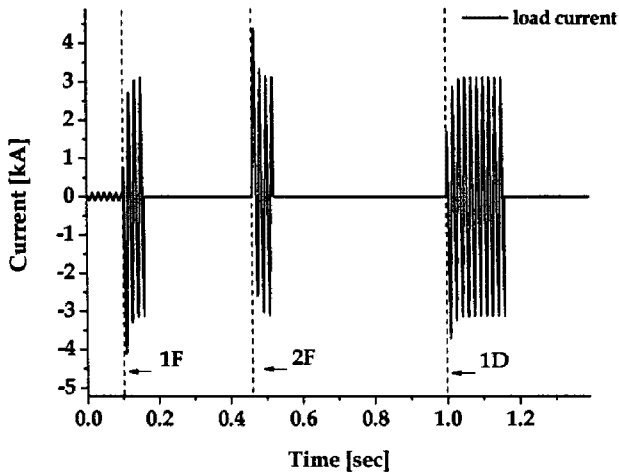


그림 1. Recloser 동작 파형
Fig. 1. Waveform of Recloser

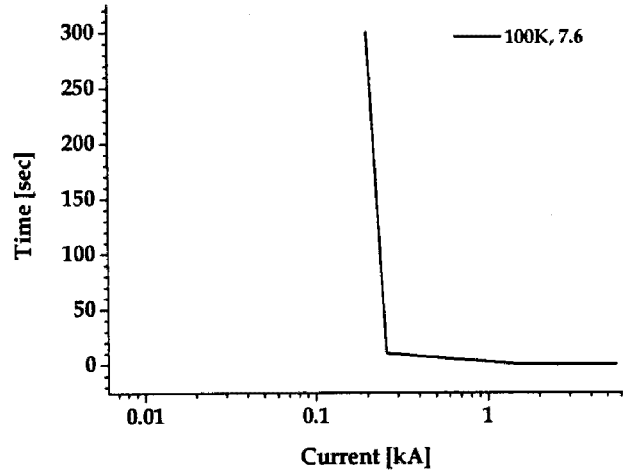


그림 2. Fuse의 시간-전류 특성(TCC) 곡선(100K)
Fig. 2. Time Current Characteristic curve of fuse (100K)

2.2. Fuse 모델링

Fuse는 과전류 보호 장치 중 가장 일반적인 것으로 그 종류도 다양하며 성능도 날로 발전하고 있다. 본 논문에서 모델링된 fuse는 22.9 [kV] 단상 분기회로 배전계통에 사용되는 선로용 fuse(line fuse)로서 흔히 COS(Cut Out Switch)이다. Fuse는 과전류가 흐르면 I^2R 열에 의해 용융되어, 전류를 차단하는 동작 특성을 갖고 있다[5]. 그러나 fuse가 녹는다고 해서 바로 전류가 차단되는 것이 아니기 때문에 녹는점과 차단되는 시점은 약간의 시간적 차이를 갖고 있다. Fuse는 어떠한 이상 전류가 다른 기기를 통하여 녹는 시점을 정하는 것이 아니라 fuse자체의 물질의 특성에 따라 녹는점이 결정되는 것이다. 그 녹는점은 어떠한 전류에 대해 0.1, 10, 300초에 녹는 실험결과에 의해 결정되며, 이 결과에 대해 fuse의 차단 용량이 결정된다. <표 1>은 이러한 결과를 바탕으로 결정된 fuse의 정격이다[6]. 이러한 fuse의 녹는점을 확인하여 보간법을 이용, 배전계통에서 사용되는 fuse정격 100K, 속도비 7.6 fuse link(element)를 모델링 하였다. 여기서 K는 속도비에 따른 분류로 fuse의 일반적 형태이며, 속도비는 0.1초일 때의 용융전류와 300초 때의 용융전류의 비이다. <그림 2>는 fuse를 모델링하여 시간-전류 특성곡선을 나타냈다.

표 1. Fuse link 정격 (100K)
Table 1. Rating of fuse link (100K)

정격전류	300초 용융전류	10초 용융전류	0.1초 용융전류
100 [A]	200 [A]	253 [A]	1520 [A]

3. 배전계통의 Recloser-Fuse 협조

3.1 배전계통의 구성

<그림 3>은 본 논문에서 사용한 배전계통을 보여준다. 일반적인 배전계통에 초전도 전류제한기를 적용했으며, 하나의 MTR에 3개의 피더로 구성하였으며, 부하는 8 [MVA], 9 [MVA], 28 [MVA]를 각각 적용하였다. 28 [MVA]의 부하는 일반적인 부하구성을 하나의 부하처럼 등가화 시킨 것이다. Fuse는 첫 번째 피더의 단상 분기회로 앞단에 적용하였으며, 부하와 부하사이에 Recloser를 설치하였다. 또한 전원, 변압기, 선로의 임피던스는 <표 2>와 같이 적용하였다[7]. 초전도 전류제한기는 MTR 2차측에 설치하였다.

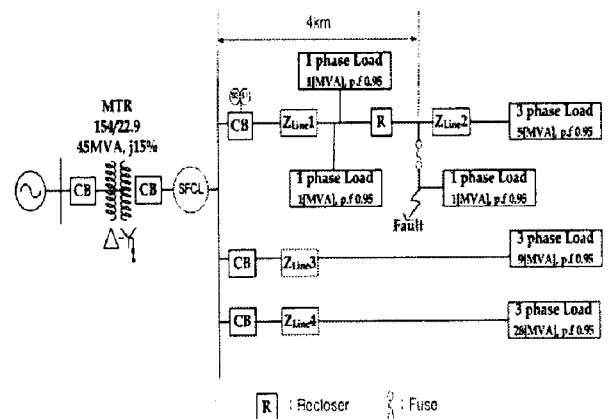


그림 3. 배전계통 단선도
Fig. 3. One-line diagram of distribution system

표 2. 배전계통 임피던스

Table 2. Impedance of distribution system

구분	임피던스 (Base 100 [MVA], 22.9 [kV])
전원	154 [kV], 1.778 [%]
변압기	154/22.9 [kV], j15 [%]
선로	3.48+j7.44 [%/km] (정상)
	10.8+j23.6 [%/km] (영상)

3.2. Recloser - Fuse 협조

Recloser와 Fuse 협조 시 fuses의 동작은 recloser의 두번의 순시동작 이후 한번의 지연동작 중간에 동작하도록 설정해야 한다[8]. <그림 4>는 <그림 3>에서 Fault 지점에 고장발생시 recloser, fuse에서 측정된 recloser-fuse의 동작파형을 보여주며, Fuse TCC 곡선의 x, y축은 시뮬레이션에서 fuse 동작 시점을 고장발생 순간부터 적용시키기 위하여 x축을 시간, y축을 전류로 변경하였다. 여기서 fuse는 recloser의 1D 시작 후 recloser가 차단하기 전에 melting point에서 fuse가 녹아 고장이 발생한 단상 분기회로를 차단 한 것을 보여주며, 그 후 단상분기회로의 부하전류를 제외한 정상적인 부하전류가 흐르는 것을 볼 수다. 또한 recloser가 지연 동작을 완료하지 못해서 고장구간에 대한 차단 범위를 좁힐 수 있다.

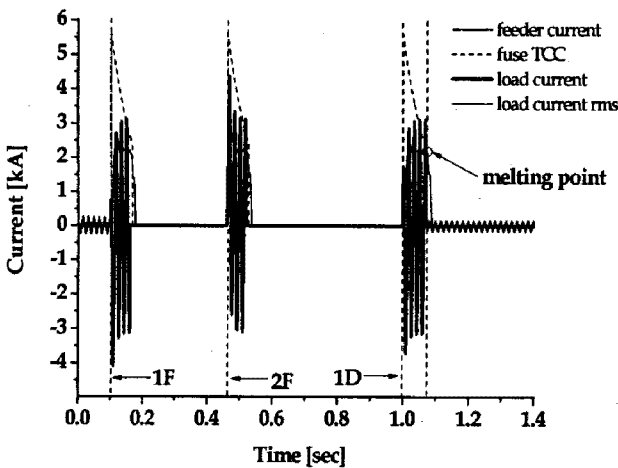


그림 4. Recloser-Fuse 동작 파형
Fig. 4. Waveform of Recloser with fuse

4. 초전도 전류제한기 적용 시 협조분석

<그림 5>에서는 초전도 전류제한기를 적용 하였을 경우 recloser와 fuse의 협조 파형에 대한 2F후의 1D 동작 파형을 보여주고 있다. 1D 동작에서 초전도 전류

제한기가 없을 때의 동작인 <그림 4>와 달리 초전도 전류제한기의 고장 전류 저감으로 인하여 고장 구간인 단상 분기회로의 fuse가 동작하지 않아서 recloser 지연동작이 완료하게 된다. <그림 6>은 Recloser-fuse-SFCL의 시간-전류 특성 곡선을 보여주며, fast-tcc곡선은 recloser의 순시 시간-전류 특성 곡선, delay-tcc곡선은 recloser의 지연 시간-전류 특성 곡선, fuse-tcc곡선은 fuse의 시간-전류 특성 곡선을 나타낸다. 또한 초전도 전류제한기를 적용하기 전 fuse의 녹는점 a와 적용 후 recloser의 동작점 b를 보여주며, 점 a와 b사이 t_a 는 초전도 전류제한기를 적용 전 고장 전류가 차단되는 fuse의 녹는점에서 부터 적용 후 fuse가 동작하지 않아 고장 전류가 계속 흘러 recloser의 1D동작 완료까지의 시간변화를 시간-전류 특성곡선으로 나타냈다. 이것은 초전도 전류제한기를 적용 전 고장전류 차단점이 a에서 적용 후 고장 차단점이 b점으로 이동한 것이다.

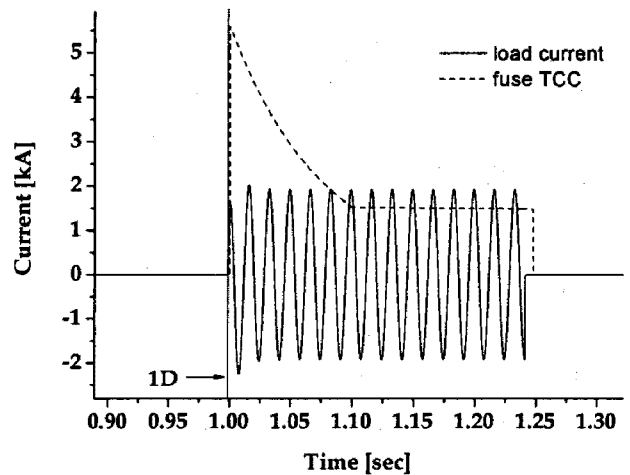


그림 5. Recloser-Fuse-SFCL의 동작 파형
Fig. 5. Waveform of Recloser with Fuse and SFCL

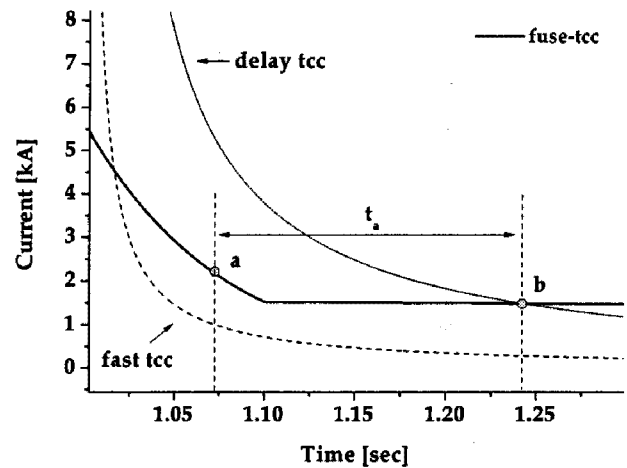


그림 6. Recloser-Fuse-SFCL의 시간-전류 특성(TCC) 곡선
Fig. 6. TCC curve of Recloser with Fuse and SFCL

3. 결 론

본 논문에서는 배전계통에서 초전도 전류제한기를 적용 전과 적용 후 Recloser-Fuse의 보호협조 관계를 PSCAD/EMTDC를 이용하여 분석하였다.

초전도 전류제한기 적용 전에는 Recloser-Fuse 협조가 잘 이루어 졌으나, 적용 후에는 고장전류의 저감 효과로 Fuse의 녹는 시간이 달라져 Recloser-Fuse의 협조가 이루어지지 않은 것을 볼 수 있었다. 즉 Recloser Delay trip 전에 Fuse가 녹아 고장구간을 분리시켜야 하나 초전도 전류제한기 적용으로 고장전류가 작아져 Fuse가 녹지 않아 결국 Delay trip 하게 되어 정전 구역이 증가하는 결과를 타나낸다. 따라서 초전도 전류제한기를 배전계통에 적용 할 때 Recloser-Fuse의 보호협조를 고려해야 할 필요가 있다. 향후 추가적인 연구가 필요하다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부의 지원에 의하여 기초전력연구원 (R-2008-38) 주관으로 수행된 과제임.

참 고 문 헌

- [1] 김준환, 이강완, “전력계통, 고장전류 증대와 대응방안”, 전기저널, pp. 19-31, 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 Superconduction Fault Current Limiter”, Journal of the Korea Insitute of Applied Superconductivity and Cryogenics, vol. 9, no. 4, p.32-36, 2007
- [3][7] 안재민, 김진석, 문종필, 임성훈, 김재철, “배전보호협조를 고려한 초전도 한류임피던스 제한에 필요성 연구”, 대한전기학회 추계학술대회 논문집, pp.34~36, 2008, 11.
- [4][8] 한국 전력 공사, “배전보호기술서”, pp157~167, 1995
- [5] Cooper Industries, “Electrical Distribution-System Protection 3rd ed.”, Cooper Power System, 1990.
- [6] 한전표준규격, “Fuse links for cut out switch”, 2006.