

모의송전계통에서 고장전류 저감을 위한 초전도한류기 적용위치에 따른 동작특성 분석

이형진, 박한민, 김진석, 성인제, 임성훈, 김재철  
 숭실대

Analysis on Operating Characteristics according to Applied Location of SFCL in a Power Transmission System

Hyeng-Jin Lee, Han-Min Park, Jin-Seok Kim, In-Je Sung, Sung-Hun Lim, Jae-Chul Kim  
 Soongsil University

**Abstract** - Recently, electric power demand increase due to the rapid industrial development. As a result, a power system has been expanded and fault currents are raised. Fault current is detriment effect on protective equipment. Superconducting fault current limiter(SFCL) is one of the solution to solve the fault current reduction. This paper analyzed operating characteristics according to applied location of SFCL in a transmission power system through the PSCAD/EMTDC simulation

1. 서 론

최근 들어 전력수요의 증가로 인해 계통이 대용량화 되어가고 있다. 계통의 대용량화는 등가 임피던스를 감소시키게 되고, 이로 인해 고장전류가 증가하는 문제점이 발생하게 된다. 이러한 고장전류의 증가문제는 기존 시스템에 보호기와 협조에서 동작 특성을 변화시켜 보호기의 오동작이나 부동작 등 문제를 발생시키게 된다. 따라서 이러한 고장전류를 저감시키기 위한 방법 중 하나로 초전도한류기 연구가 진행 중이며, 기술적인 이유로 배전계통에서만 사용 할 수 있었던 초전도 한류기를 지속적인 연구, 개발을 통해 송전계통에 초전도 한류기가 적용할 수 있게 되었다[1-2].

초전도 한류기가 적용된 위치에 따라 고장점까지의 거리가 서로 다르기 때문에 고장전류의 크기는 서로 달라진다. 따라서 같은 사상의 초전도 한류기가 고장 선로 양측에 적용되어 있다면 오동작이나 부동작의 요소가 존재할 수 있다. 이러한 초전도 한류기의 동작 특성 문제는 보호기기와 협조에서 막대한 영향을 미칠 수 있기 때문에 송전계통에서 반드시 고려해야할 부분이 된다[3-4].

본 논문에서는 동일한 고장위치일지라도 초전도 한류기의 적용된 위치에 따라 고장전류의 크기가 달라지고, 이에 따른 초전도 한류기의 동작 특성을 검토하기 위해 PSCAD/EMTDC를 활용하여 송전계통을 모델링하고 특성을 분석하였다.

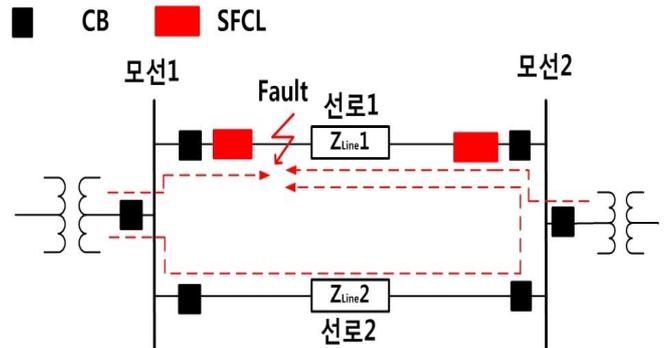
2. 본 론

2.1 모의 계통 구성

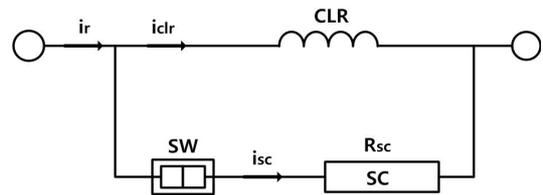
본 논문에서 구성한 송전계통의 경우 계통연계를 통해 신뢰도 등의 이점을 얻기 위해 폐회로로 구성하였으며, 고장전류 억제 효과를 얻기 위하여 초전도 한류기를 적용하였다. 그림 1은 폐회로로 구성된 2모선 2선로의 모의송전계통이다.

그림 1과 같이 양 모션에는 등가 구성된 변압기가 각각 연결되어 있다. 본 논문의 폐회로로 구성된 송전계통 모델링 회로에서는 선로 1의 모션 1측과 모션 2측에 초전도 한류기를 각각 설치하였다. 그림 2는 그림 1에 적용된 트리거형 초전도 한류기이다. 트리거형 초전도 한류기는 초전도 소자(SC)와 한류리액터(CLR)가 병렬로 구성되어 있다. 동작원리로 초전도 소자가 고장전류에 의하여 켜지면 고장을 인식하여 켜지 발생 3 cycle 이후 스위치(SW)를 동작시켜 한류리액터를 이용해 고장전류를 제한하게 된다. 그림 2의 트리거형 초전도 한류기는 초전도 소자의 상전도 저항은 0.6[Ω] 한류리액터는 2[Ω]을 적용하였다. 고장의 유형은 3상 단락 고장이고 고장위치는 선로 1의 모션 1측에서 발생하였다[5-6].

그림 1의 모의송전계통에 고장 발생시, 초전도 한류기가 적용된 위치별로 동작 특성을 분석하기 위해 두 가지 사례로 나누었다. 첫 번째 사례는 선로 1의 모션 1측과 2측에 동작특성이 동일한 초전도 한류기를 적용하여 각각의 동작특성을 확인하였다. 두 번째 사례는 첫 번째 사례와 동일한 위치에 초전도 한류기를 적용하였지만, 모션 2측에 초전도 한류기의 동작특성을 고려하여 적용하였다.



〈그림 1〉 2모선 2선로로 구성된 모의계통



〈그림 2〉 초전도 한류기 구성도

〈표 1〉 모델링 회로의 데이터

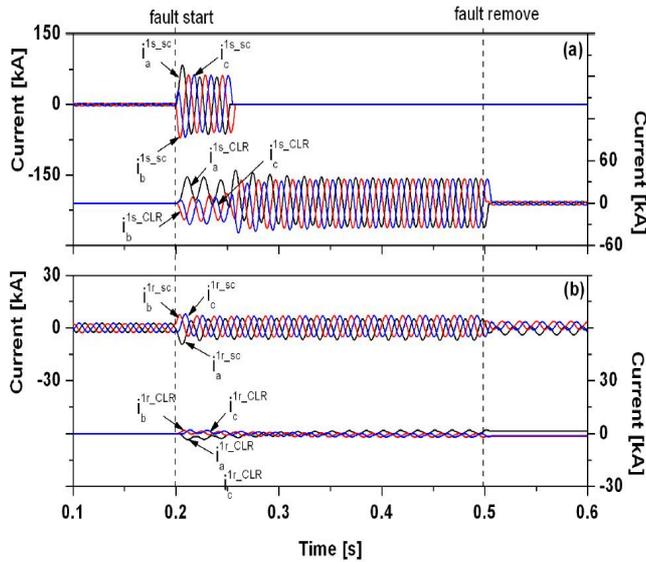
구분	입피던스
변압기	400 [MVA], 345/154 [kV], j11 [%]
선로	0.063 + j0.352 [pu/m] (영상)
	0.0036 + j0.076 [pu/m] (정상)
SFCL	임계전류 : 6[kA] 상전도 저항 : 0.6[Ω] 한류리액터 : 0.0052[Ω]

2.2 실험 결과 분석

2.2.1 모션 양측에 동일한 초전도 한류기 적용효과

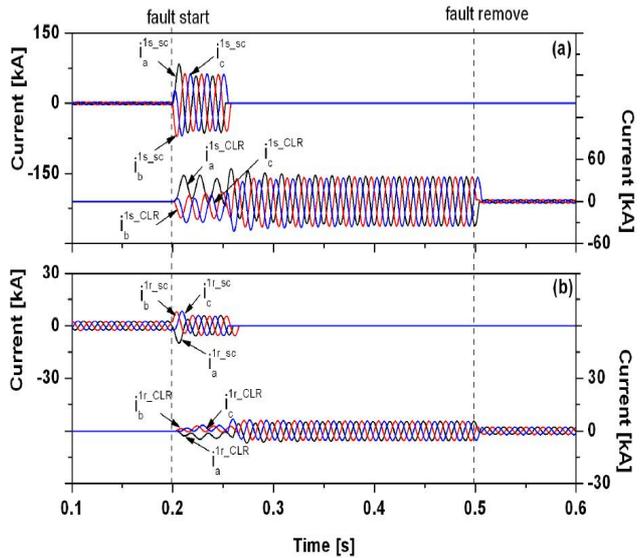
그림 3은 그림 1의 모델링 회로에서 선로 1의 모션 양측에 동일한 동작특성을 갖는 초전도 한류기를 적용한 경우, 모션 1측과 모션 2측에 적용된 초전도 한류기의 내부 전류를 보여준다. 그림 3(a)는 모션 1측의 초전도 한류기, 그림 3(b)는 모션 2측의 초전도 한류기의 내부 전류를 보여준다. 먼저 그림 3(a)의 경우, 고장전류에 의해서 초전도 소자는 켜지가 발생하여 고장을 인식하고 3 cycle 이후에 스위치가 동작하여 한류리액터를 이용해 고장전류가 제한됨을 알 수 있다. 그러나 그림 3(b)의 경우, 모션 1측에 적용된 초전도 한류기의 동작특성과 동일한 초전도 한류기를 모션 2측의 적용 결과 모션 2측에서 고장점으로 유입되는 고장전류의 크기가 모션 1측과 비교하면 매우 작아 한류기가 정상적으로 동작하지 못하는 결과를 나타낸다. 선로에 고장이 발생하여 모션 양측에서 동일한 고장전류가 유입되면, 동일한 동작특성의 초전도 한류기를 적용하여도 정상적으로 동작을 하겠지만 고장점에 위치에 따라서 고장전류에 크기가 다르므로 각 모션에서 초전도 한류기가 정상적으로 동작이

가능하도록 동작특성을 맞추어야 한다. 따라서 고장점에서 가까운 선로 1의 모선 1측과 달리 모선 2측의 초진도 한류기 즉, 그림 3(b)의 동작특성을 수정하여야 한다.



<그림 3> 초진도 한류기에 흐르는 전류 (a) 모선 1측 (b) 모선 2측

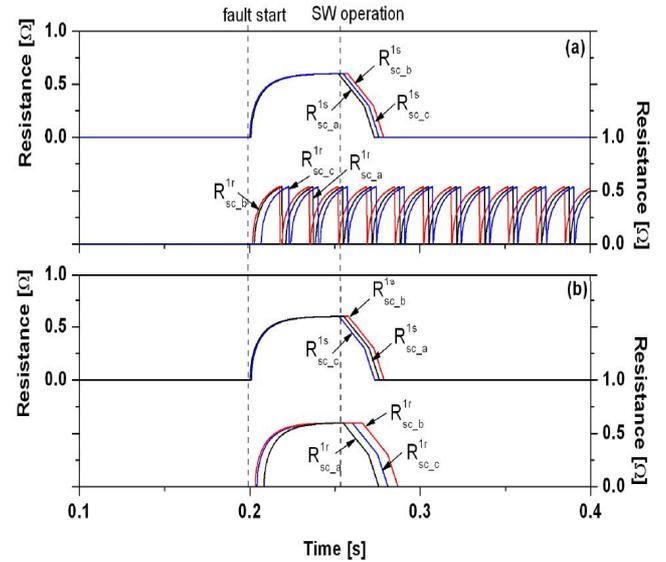
**2.2.2 모선 2측에 적합한 초진도 한류기로 동작특성 변경 시 적용효과**  
 그림 4는 선로 1의 모선 2측에 적용된 초진도 한류기를 모선 2측에서 정상적으로 동작이 가능하도록 동작특성을 수정하였을 경우 초진도 한류기 내부에 흐르는 전류를 보여준다. 그림 4(a)는 모선 1측의 초진도 한류기, 그림 4(b)는 모선 2측의 초진도 한류기의 내부 전류를 보여준다. 그림 4(a)와 (b) 모두 고장전류가 임계점을 넘은 후 초진도 소자의 켜치동작이 발생하고 3 cycle 이후에 스위치가 동작하여 한류리액터에 의하여 고장전류가 제한되며, 또한 모선 2측에 적용된 초진도 한류기가 정확히 동작을 하는 결과를 보인다.



<그림 4> 동작특성 변경시 초진도 한류기에 흐르는 전류 (a) 모선 1측 (b) 모선 2측

**2.2.3 선로 1의 모선 2측 초진도 한류기 동작특성 수정 전/후 동작비교**  
 그림 5는 초진도 한류기의 동작특성을 변경하기 전과 후의 초진도 소자의 저항 그래프를 각각 나타내었다. 그림 5(a)의 결과로써, 모선 1측에 적용된 초진도 한류기는 적합한 동작결과를 보이지만 모선 2측에 적용된 초진도 한류기의 동작이 다르게 나타난다. 즉, 모선 2측에 흐르는 고장전류의 크기가 모선 1측보다 작기 때문에 모선 2측에 적용한 초진도 한류기의 동작이 켜치와 회복을 순간적으로 반복하여 전체적인 동작에 문제가 일으킬 수 있는 점을 확인 할 수 있었다. 그림 5(b)는 모선 2측에 초진도 한류기의 동작특성을 적합하도록 수정하였을 경우 동작특성

이 모선 1측의 설치 된 초진도한류기와 같이 적합하게 동작하는 것을 확인 할 수 있다.



<그림 5> 초진도 한류기 동작특성 동작 비교 (a) 수정 전 (b) 수정 후

### 3. 결 론

각각의 초진도 한류기가 적용위치로부터 고장점까지 거리가 다르기 때문에 고장전류의 크기가 다르게 나타날 수 있다. 이로 인해, 초진도 한류기의 동작특성에 문제가 발생하는 결과를 확인하였다. 이를 해결하기 위하여 초진도 한류기의 설치 위치에 따라 동작특성을 변경하여 초진도 한류기가 모두 정상적으로 작동 하는 것을 확인하였다.

송전계통에서는 안정적인 전력공급과 신뢰도 향상을 위하여 보호기와의 협조는 필수적이다. 따라서 본 논문은 폐회로의 송전계통에 초진도 한류기를 적용하였을 경우 초진도 한류기의 적용위치에 따른 동작특성의 변화에 대하여 분석하였다. 초진도 한류기의 켜치현상 또는 스위치동작을 이용해 보호기와의 협조를 하는 경우 초진도 한류기가 정확한 동작을 하지 않아 송전계통에 주는 영향에 대한 결과로 사용할 수 있다.

### 감사의 글

본 연구는 지식경제부에 의해 투자된 전력산업융합원천기술개발사업과 2013년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원(No. 20134010200570)을 받아 수행한 연구 과제입니다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 김진석, "과전류계전기를 고려한 초진도 전류제한기 적용위치에 따른 임피던스 비교 분석", 2009 대한전기학회 전력기술분부회 추계학술대회 논문집, pp. 139-140, 2009.
- [2] 김명현, "초진도 한류기 적용을 통한 모의 송전계통의 고장 전류 저감 분석", 2011 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 718-719, 2011
- [3] 박한민, "모의송전계통에 선로고장 발생시 초진도 한류기 적용에 따른 차단기 부담 평가지표 분석", 한국조명·전기설비학회 2014 추계학술대회 논문집, pp. 125-125, 2014
- [4] 노신의, "송전계통에 초진도한류기 적용을 위한 거리계전기 동작 분석", 2013 대한전기학회 제44회 하계학술대회, pp. 552-5535, 2013
- [5] 조영선, "트리거형 초진도한류기가 적용된 루프계통에서 비유차동계전기와 과전류계전기의 동작특성 분석", 2012 대한전기학회 전력기술분부회 추계학술대회 논문집, pp. 129-130, 2012
- [6] 최중수, "트리거형 초진도한류기의 접점구성에 따른 전류제한 및 회복특성 분석", 2010 조명·전기설비학회논문지 제24권 제9호, pp. 159-164, 2010