

고저항 아크 지락에 의한 송전선로 과도회복전압 계산과 고장전류 파형 분석

심응보*

한국전력공사 전력연구원*

Calculation of Transient Recovery Voltage on the Transmission Line due to High Impedance Arc Fault and Analysis of it's waveform

Shim-Eung Bo*

Korea Electric Power Research Institute*

Abstract - 송전선로에서 발생하는 고장의 대부분은 낙뢰에 의한 상-대지간 섬락이나 외물접촉, 혹은 애자련의 오손에 의한 절연과피 등이 대부분이다. 그리고 대분의 고장은 큰 고장전류를 흘리게 되어 보호계전기가 동작하여 고장구간을 신속하게 분리하게 된다. 그러나, 본 고장사례는 매우 희귀한 고장 사례로서, 고저항 아크 지락에 의하여 발생하는 과도회복전압(TRV: Transient Recovery Voltage)이 애자련에 섬락을 일으킨 경우이다. 본 연구에서는 EMTP (Electro-Magnetic Transient Program)를 이용하여 고저항 지락시 아크의 단속에 의하여 과도회복전압이 발생할 가능성이 있음을 보였으며, 고장기록장치(Fault Recorder)에 나타난 파형 기록과의 유사성을 확인하였다. 또한, 고저항 지락에 의하여 직류분이 초기에 방전됨으로써 고장전류 파형에 직류분 오프셋이 나타나지 않게 됨을 밝혔다.

1. 서 론

중성점 접지방식을 사용하는 국내 전력계통에서 대부분의 송전선로 고장은 큰 고장전류를 동반하게 되고, 고장 후 수 사이클 이내에 보호계전기가 이를 감지하여 고장을 건전계통으로부터 분리함으로써 고장이 복구되는 것이 일반적이다. 그러나, 특수한 경우로서 본 고장사례는 크레인 이 전력선에 직접 닿지 않고 일정한 거리 내에 있음으로 인하여 아크에 의한 고저항 지락이 발생함으로써, 고장 전류가 매우 작아 보호계전기에서 신속하게 고장이 감지되지 않고 파급된 사례이다. 여기서는 고장기록계의 출력 파형을 EMTP로 재현함으로써 고장의 발생 원인과 고장의 진전 상황을 분석하였다.

2. 본 론

2.1 고장의 개요

154 kV 송전선로에 크레인 접촉에 의하여 고저항 아크가 발생하고, 이 때 송전선로에는 고장전류가 적게 흐르므로 보호계전기는 동작하지 않았다. 이어서 지락시 아크 저항의 흐름과 끊김이 반복되어 송전선로에는 과도회복전압이 발생하였다. 이 과도회복전압은 154 kV 송전선로의 절연 이격거리 산정에 반영된 과전압보다 크게 발생하여 송전선로 애자련의 섬락을 유발하였다. 이 때, 1선 지락 전류를 즉시 차단하였으면 고장이 파급되지 않았을 것이나, 보호계전기의 부동작으로 인하여 3상 지락-단락 고장으로 진전된 사례이다.

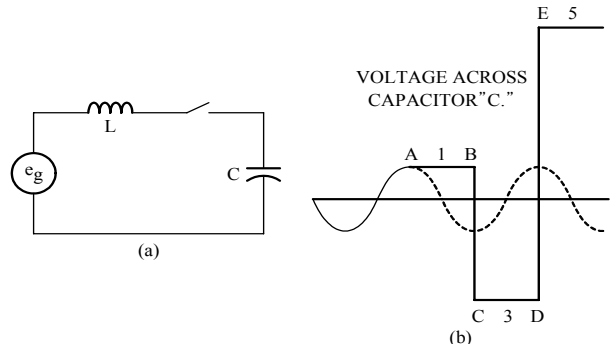
2.1.1 고장 해석 방법의 개요

고장현상의 모의 계산은 고장기록계(Fault Recorder)에 나타난 파형을 근거로 고장의 시간 경과에 따른 차단기의 동작을 재현하였다. 송전선로 모델은 매 기별 자료를 산술 평균하여 기하학적 평균 모델 사용하였으며, 철탑의 탑각 접지저항은 고장지점에서 가까운 4기의 철탑에서 워너 4 전극법을 이용하여 실측한 결과를 이용하여 그림 1과 같이 해석 모델을 만들었다. 고저항 지락 모델은 “직접접지계통 송전선로 고저항 지락 보호대책 연구”의 모델을 이용하였다[1]. 계통의 등가 임피던스는 PSS/E의 고장계산 결과를 이용하여 등가화하였다.

2.1.2 고저항 지락시의 과도회복전압 계산

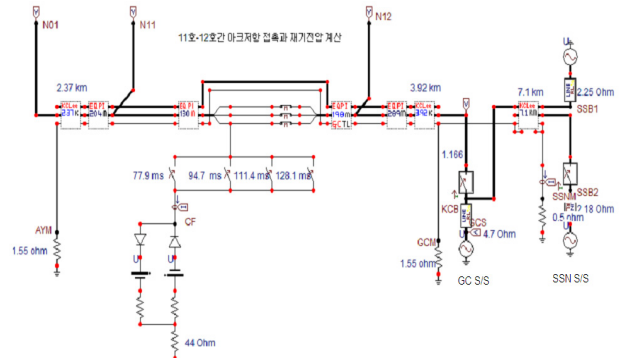
무부하로 충전된 선로에서 계동성분이 없는 그림 1(a)와 같은 회로에서 차단기가 차단 동작을 하는 경우 그림 1(b)과 같이 1, 3, 5, 7, 9...배의 과도회복전압이 발생 할 수 있다[2]. 본 해석 사례에서 고저항 지락시 저항값은 약 44 ohm을 가정하였으며, 고저항의 지락이 발생하였다가 제거되는 strike, re-strike 현상을 임의의 시간제어 스위치를 이용하여 차단시의 전압이 증폭되도록 모의하였다. 본 사례에서 과도회복전압은 그림 3과 같이 약 425 kV로 나타났으며, 이 값은 154 kV 계통 대지간 피크치인 125.7 kV의 3.4 배가 되어 송전선로 공기절연거리를 결정한 개폐과전압배수 2.8 p.u.를 넘는 값이다. 따라서, 아크의 strike 및 re-strike에 의하여 발생한 과도회복전압이 송전선로 아크온 간의 공기

절연과피를 일으키기에 충분한 값을 알 수 있다. 이 때 고저항 아크지락전류는 약 792 A_peak로 나타났으며 그 파형은 그림 4와 같다.

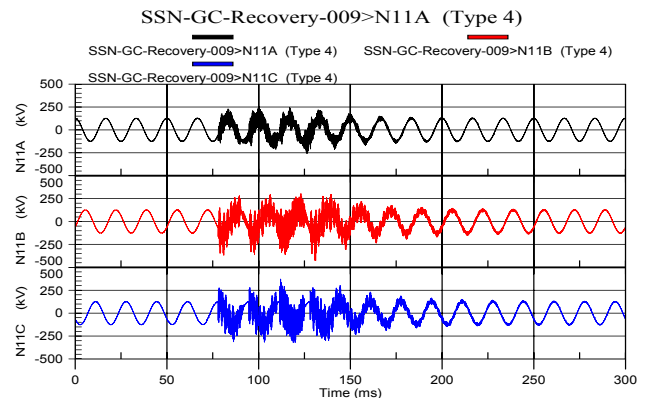


주) 차단기의 차단은 A, C, E에서 이루어짐
차단기의 투입은 B, D에서 이루어짐

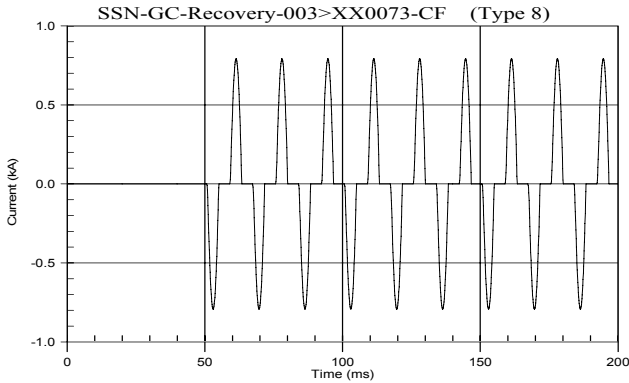
〈그림 1〉 무부하선로 차단시 과도회복전압의 발생



〈그림 2〉 고저항 지락에 의한 과도회복전압 계산 모델



〈그림 3〉 아크저항 단속에 의한 과도회복전압 계산 파형(EMTP)



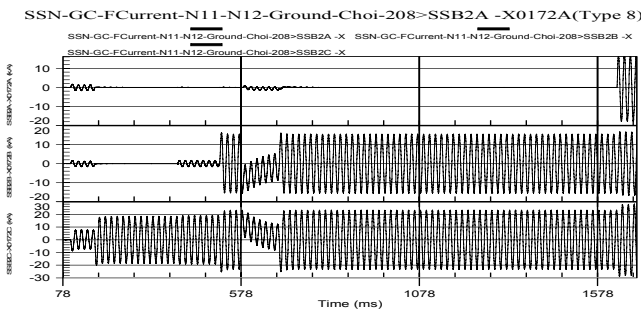
〈그림 4〉 아크저항 44[Ω] 접촉시 고장전류 계산 파형(EMTP)

2.2 고저항 아크저항에 의한 고장전류의 직류분 방전 현상

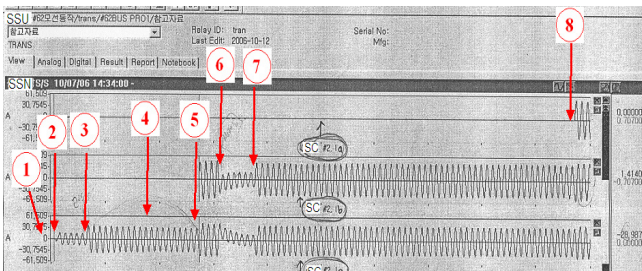
일반적으로 송전선로의 고장전류는 고장 초기에 직류분을 포함하고 있어 전류가 일정 시간이 경과 한 후에 교류분 고장전류만 남게 된다. 그림 5의 파형을 보면 고장 진전시점 ⑤에서 통상적으로 나타나는 직류분 오프셋이 나타나지 않고 있다.

2.2.1 고장의 진전 상황 및 모의계산

고장의 발생과 고장의 진전상황에 대한 고장기록장치의 파형과 EMTP로 재현 한 파형은 그림 5와 같다. 송전선로 SC #2 B상의 파형을 보면 고장기록장치에는 잘 나타나 있지 않으나, EMTP 모의계산 파형에는 고장 진전시점 ④에서 큰 고장전류가 흐르기 이전에 고저항 지락에 의한 지락전류가 흐르고 있음을 잘 알 수 있다.



(a) 송전선로 고저항지락 고장 진전상황의 재현 사례(EMTP)



(b) 송전선로 고저항지락 고장 진전상황의 출력파형(F/R)

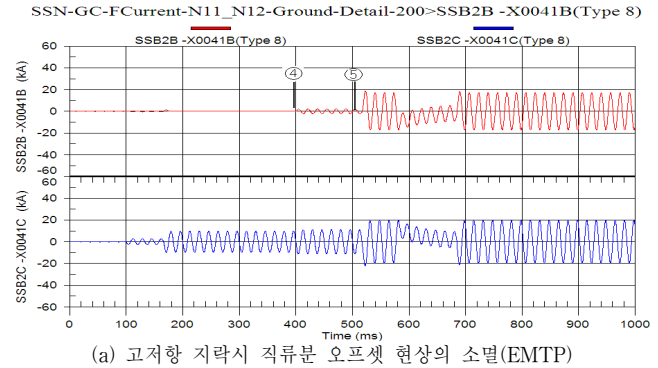
〈그림 5〉 송전선로 고저항 지락 고장 진전상황 기록 및 모의계산

2.2.2 고저항 아크 지락시 고장전류의 직류성분 방전 현상

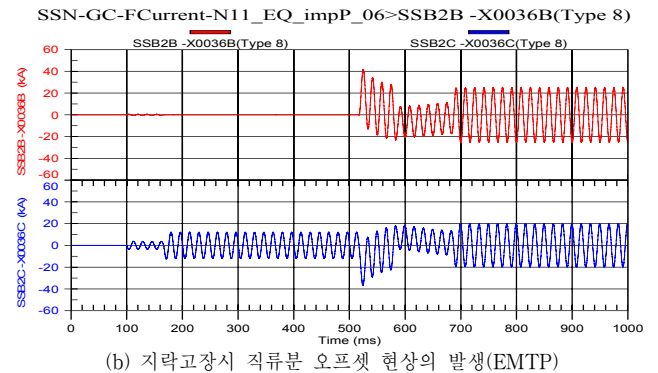
그림 6(a)는 송전선로 SC #2 B 상 고장전류의 고장 진전시점 ⑤의 직전에 고저항 지락이 발생하여 고장전류의 직류분 OFF-SET이 제거된 파형을 보여주고 있으며, 이것은 그림 5(b)의 고장기록계의 파형에 나타난 파형과 일치하고 있다. 만일, 고장 진전 시나리오의 시간 축 ④에서 고저항 지락현상이 없이 시간축 ⑤에서 지락고장이 발생하면 고장전류의 직류분 오프셋 현상이 일어나고 있음을 그림 6(b)에서 확실하게 알 수 있다.

그림 6(b)에 나타난 바와 같이 일반적으로 송전선로의 고장은, 송전선로에 충전된 전하가 고장초기에 방전을 하게 됨에 따라 직류분의 오프셋을 보이다가, 직류분의 크기가 지수 함수적으로 감소한 후에 교류분의 파형만 남아, 그 파형이 상하로 대칭이 되게 나타나는 것이 일반적인 현상이다.

그러나, 본 고장사례에서는 그림 6(a)와 같이 고장 초기에 직류분이 포함되지 않은 고장전류의 파형을 나타내고 있다. 따라서, 고장전류의 파형을 보고 고장의 종류를 판단하여야 하는 경우에, 고저항 지락 고장이 선행으로 발생한 경우에는 DC OFF-SET이 없는 파형이 나타나게 되므로 고저항 지락 고장의 유무를 즉시 판별 할 수 있다. 즉, 송전선로에 크레인이 직접 접촉하지 않더라도 아크의 발생이 가능한 범위 내에 근접하여 있으면, 송전선로에 섬락 고장을 일으킬 수 있다는 것이다.



(a) 고저항 지락시 직류분 오프셋 현상의 소멸(EMTP)



(b) 지락고장시 직류분 오프셋 현상의 발생(EMTP)

〈그림 6〉 고저항 지락 유무에 따른 DC OFF-SET 현상의 유무

3. 결 론

송전선로에 크레인의 아크접촉 등과 같은 고저항 지락이 발생하는 경우에는 아크의 통전 및 차단시에 나타나는 과도회복전압에 의하여 높은 과전압이 발생할 수 있으며, 이로 인하여 송전선로 애자련의 섬락을 발생시키기에 충분한 과전압이 발생한다. 또한, 고저항 지락에 따라 송전선로에 포함된 직류분의 고장전류가 방전되어 고장전류의 오프셋이 나타나지 않는 고장전류가 흐를 수 있다. 본 논문에서는 크레인 등이 직접 송전선로에 접촉되지 않았으나, 근접하여 아크를 발생시킨 경우에도 송전선로에 절연과파고장을 일으킬 수 있음을 고장사례 파형과 EMTP 모의계산을 통하여 확인할 수 있었다.

[참 고 문 헌]

- [1] 김일동 외, “직접접지계통 송전선로 고저항 지락보호대책 연구”, 보고서, pp.1 ~ pp.33, 1997
- [2] Westinghouse, “Electrical Transmission and Distribution Reference Book”, pp. 512 ~ pp.513,
- [3] ATP, “Electro-Magnetic Transient Program Rule Book”, 1987