

Fault Recorder 파형 분석을 통한 송전선로 고장 진전상황 분석

심응보*

한국전력공사 전력연구원*

Analysis of Progression of Transmission Line Fault by Fault Recorder Oscillograph

Shim Eung-Bo*

Korea Electric Power Research Institute*

Abstract - 전력계통에서 발생하는 고장 중에는 고장 후의 결과만을 가지고는 어떻게 고장이 초기에 발생하여 진전되었는지를 추정하기가 어려운 고장이 간혹 발생한다. 본 고장 분석사례는 보호계전기의 동작 상황과 고장기록장치의 파형을 이용하여 송전선로에서 고저항 지락에 의한 최초의 고장이 발생 할 수 있는 가능성과, 그 고장으로 인한 파급 고장 사례를 예시하였다. 과도현상 분석 프로그램인 EMTP (Electro-Magnetic Transient Program)를 이용하여 고장 사례를 재현하여 Fault Recorder 기록과의 유사성을 확인하였다.

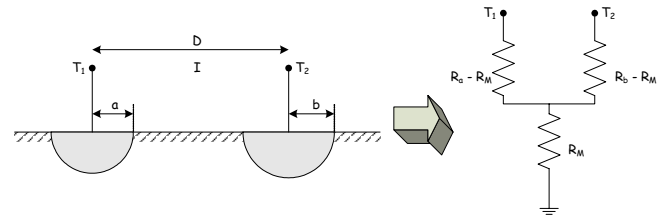
근거로 고장의 시간 경과에 따른 차단기의 동작을 재현하였다. 송전선로 모델은 매 기별 자료를 산술 평균하여 기하학적 평균 모델로 사용하였으며, 철탁의 탐각 접지저항은 고장지점에서 가까운 4기의 철탁에서 위너 4 전극법을 이용하여 실측한 결과를 이용하여 해석 모델을 만들었다. 고저항 지락 모델은 “직접접지계통 송전선로 고저항 지락 보호대책 연구”의 모델을 이용하였다[1]. 계통의 등가 임피던스는 PSS/E의 고장계산 결과를 이용하여 등가화 하였다.

1. 서 론

송전계통에서 발생하는 고장의 종류에는 낙뢰 등 외부 요인에 의한 것이 대부분이며, 고장 발생 후 보호계전기의 동작으로 고장 구간을 분리시키고 송전되는 경우가 대부분이다. 그러나, 어떤 이유로 보호계전기의 오부동작 등에 의하여 고장 구간을 신속하게 분리하지 못한 경우에는, 그 고장의 범위와 고장 구간이 확대되고 복잡한 동작 상황이 발생하여 고장의 원인을 파악하는데 어려운 경우도 발생한다. 본 분석 사례는 크레인 등 외물접촉에 의하여 고저항 지락이 발생하고, 보호계전기에서는 고저항 지락에 의해 고장전류가 매우 적게 흐르게 됨에 따라 해당 고장 구간을 감지하여 차단할 수 없는 상황에서, 반복되는 간헐적 아크에 의하여 과도회복전압이 발생하여 송전선로 애자련에서 섬락이 일어날 수 있는 가능성과 고장이 발생하여 진전된 상황을 보호계전기 동작 상황에 따라 분석하였다.

2.1.2 EMTP에 사용된 접지계 해석 모델

그림 2는 접지전극간 저항성 간섭을 모의하기 위한 반구전극 모델과 이에 등가인 회로모델을 보인 것이다. 변전소 접지망과 철탁의 탐각접지를 등가의 반구전극으로 가정하여 그림 2의 회로모델의 전기적 파라미터를 산정한다.

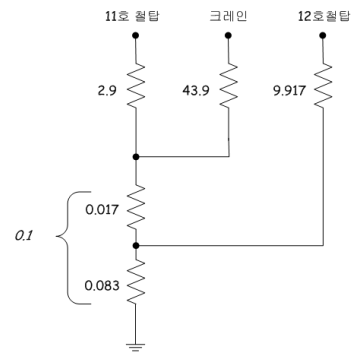


<그림 2> 두 전극간 간섭을 고려한 회로모델

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[1]. 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.



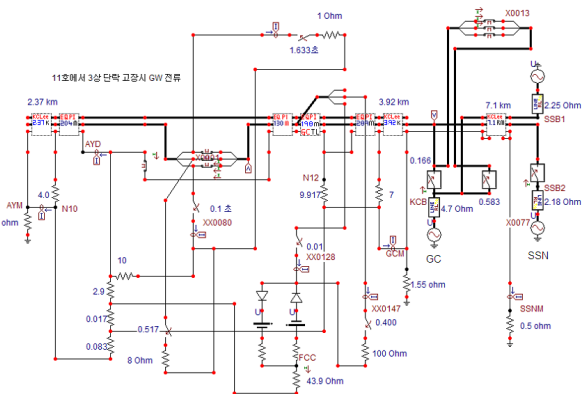
<그림 3> 철탁-크레인 접지간 전위간섭 회로모델

각 구전극의 접지저항은 식 (1)과 같으며, 두 반구전극의 직렬저항은 식 (2)와 같이 유도되는데 이를 식 (1)의 R_A, R_B 로 정리하고 식 (3)과 같이 두 전극간 간섭저항 R_M 을 도입하면 그림 1의 오른쪽과 같은 회로모델의 저항값을 얻을 수 있다.

$$R_a = \frac{\rho}{2\pi a}, R_b = \frac{\rho}{2\pi b} \quad (1)$$

$$R_{a+b} = \frac{V_a - V_b}{I} = \frac{\left(\frac{\rho I}{2\pi a} - \frac{\rho I}{2\pi D}\right) - \left(\frac{-\rho I}{2\pi b} + \frac{\rho I}{2\pi D}\right)}{I} \quad (2)$$

$$= \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} - \frac{2}{D}\right) = R_a + R_b - 2R_M$$



<그림 1> 송전선로 및 가공지선 고장전류 해석 모델(EMTP)

2.1.1 고장 해석 방법의 개요

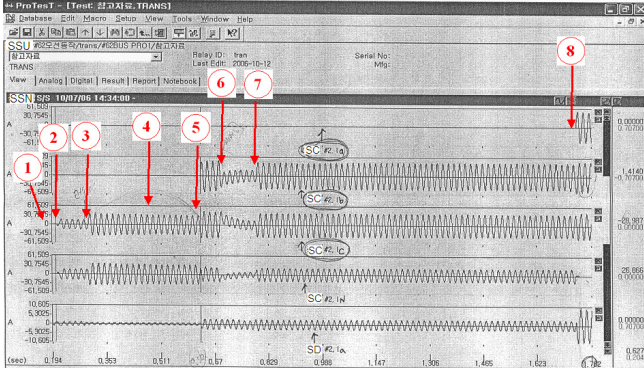
고장현상의 모의 계산은 고장기록계(Fault Recorder)에 나타난 파형을

$$\text{단, } R_M = \frac{\rho}{2\pi D} \quad (3)$$

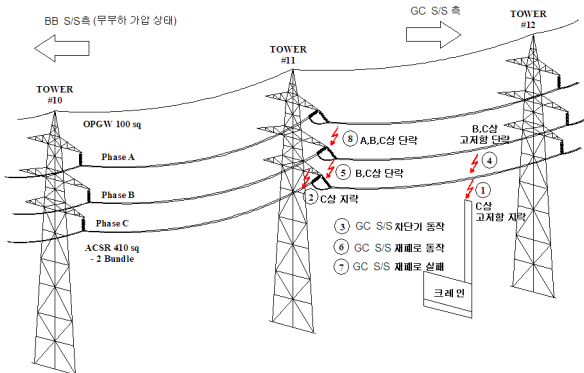
11호 철탁의 저항 3 ohm, 12호 철탁의 저항 10 ohm 및 크레인의 지락저항 44 ohm을 이용하여 구한 전위간섭 회로모델은 그림 3과 같다.

2.1.3 동작시간별 Fault Recorder 파형

그림 1의 변전소 SSN에 설치된 Fault Recorder의 파형은 그림 4와 같으며, 동작 시간별 고장의 분석은 그림 5와 같다.



〈그림 4〉 고장기록계의 출력 파형(SSN 변전소, SC T/L)



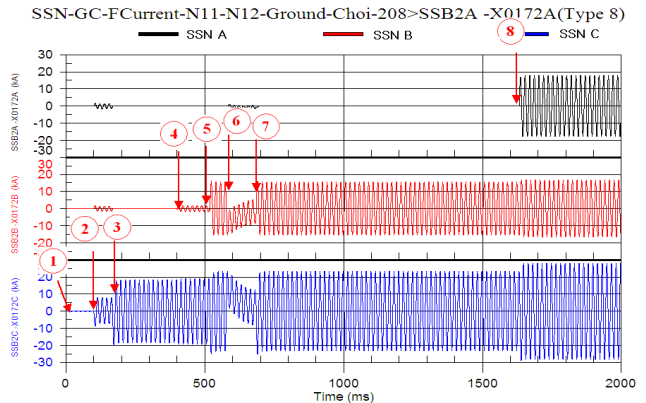
〈그림 5〉 송전선로 고장의 진전 시나리오

그림 4, 5 및 그림 6에서 시간대별 동작 시나리오는 다음과 같다.

- 동작시간 ① : 0.01 초
- 송전선로 11호 ~ 12호간에 고저항 지락 발생(크레인 접촉)
- 동작시간 ② : 0.1 초
- 송전선로 11호에서 C 상 지락고장 발생(하단상)
- 동작시간 ③ : 0.166 초(지락고장 발생 후 약 4 사이클)
- GC변전소의 SC #2 송전선로 차단기 차단동작(편단만 차단됨)
- 동작시간 ④ : 0.400 초(지속적인 고장전류가 흐름)
- 송전철탁 12호 부근 크레인 접촉부에서 초기의 C상 지락 고장이 B-C상 단락 고장으로 진전됨
- 동작시간 ⑤ : 0.517 초(지락고장 발생 25 사이클 후)
- 송전철탁 11호에서 초기의 C상 지락 고장이 B-C상 단락 고장으로 진전됨
- 동작시간 ⑥ : 0.583 초(지락고장 발생 29 사이클 후)
- GC변전소의 SC #2 송전선로 차단기 재투입 동작
- 이 때에도 고장은 지속되고 있는 상태임
- 동작시간 ⑦ : 0.683 초(지락고장 발생 35 사이클 후)
- 차단기 재투입 후 6 사이클 후
- GC변전소의 SC #2 송전선로 차단기 차단 동작함

- 이 때에도 고장은 지속되고 있는 상태임

- 동작시간 ⑧ : 1.633초(지락고장 발생 92 사이클 후)
- 송전철탁 11호 에서 B-C상 단락 고장이 A-B-C상 지락-단락 고장으로 진전됨



2.2 고장의 원인에 대한 분석과 모의 계산 결과

본 고장 사례에서 최초로 고장을 발생시킨 현상에 대한 원인 분석이 필요하며, 고장지점이 전원단인 12호 철탁이 아닌 11호 철탁에서 먼저 고장이 발생할 수 있는지에 대한 분석이 필요하다

2.2.1 최초의 고장 원인에 대한 의견

최초의 고장 발생시 크레인이 위치한 12호 철탁쪽이 전원단이므로 그 후단인 11호 철탁에서 지락고장전류가 흐를 수 있는지에 대한 의문이 있을 수 있다. 이 현상은 최초에 크레인을 통하여 흐르는 지락전류의 크기가 매우 적어서 보호계전기가 부동작 하였다고 유추할 수 있으며, 아크저항의 단속에 의한 과도회복전압에 의하여 발생한 과전압으로 인하여 11호 철탁에서 지락고장이 발생 할 수 있는 가능성이 생긴다. 애자가 오손되어 절연이 취약하여졌다가 지락이 발생하였다는 의견도 있었으나, 고장 발생 시각이 맑은 날 오후였다다는 점으로 인하여 원인에서 배제되었다.

2.2.2 모의계산 파형 분석

크레인 접촉에 의한 아크 지락저항을 참고 문헌[1]과 같이 44 ohm으로 한 경우 전류의 최대값이 790 A_{peak}로 나타났다. 이와 같이 작은 전류로는 보호계전기의 동작이 불가능하며, 과도회복전압에 의한 과전압이 발생하여 지락고장이 발생하였다고 보는 것이 더욱 타당하다. 그림 6에 EMTP를 이용한 모의 계산 파형을 나타내었으며, 이는 고장기록장치의 파형 그림 4와 거의 일치하는 것을 알 수 있다.

3. 결 론

크레인의 접촉 등 고저항 아크지락에 의한 고장전류는 매우 작아서 보호계전기가 동작하기 어렵다. 이 경우 아크저항의 단속에 의하여 과도회복전압이 발생하고, 그 결과 지락 고장을 유발하기에 충분한 과도전압이 발생할 수 있음을 모의계산을 통하여 확인하였다. 또한, 고장의 진전 상황을 유추하여, 고장기록장치가 설치되지 않은 선로의 고장전류 크기 도 개략적으로 파악할 수 있었다. 철탁의 탐각접지저항 부분을 실측하고 상세하게 모의하였으나, 계산 결과에는 크게 영향을 미치지 않았다.

[참 고 문 헌]

- [1] 김일동 외, “직접접지계통 송전선로 고저항 지락보호대책 연구”,보고서,pp.1 ~ pp.33, 1997
- [2] ATP, “Electro-Magnetic Transient Program Rule Book”, 1987