

## 22.9kV 다중접지 배전선로 지락고장으로 인한 과전압 유입사고 분석연구

박상만\*, 노황래, 조성수, 이흥호  
한전 전력연구원, 충남대학교

### An Analysis Study on the Over-voltages by the Earth Fault in 22.9kV-Y Distribution Line

Sangman Park<sup>\*</sup>, Hwangnai Roh, Seongsoo Cho, Heungho Lee  
Korea Electric Power Corporation KEPRI, Chungnam National University

**Abstract** - In 22.9kV-Y overhead lines, if there is an earth fault, high fault current causes surge type over-voltages around this place. There are generally two types of earth faults. One is an earth fault which occurs when a voltage line falls to earth line. The other occurs when a voltage line directly falls to the earth. This study presents an analysis method on the earth fault.



그림 1. 절연전선의 트래킹 (LP에자 상단)

## 1. 서 론

22.9kV-Y 다중접지계통인 배전선로에서 절연전선 단선으로 인한 1선지락 사고 시, 또는 이물질 등의 접촉으로 인한 전압선과 중성선의 접촉 사고 시 큰 고장전류가 발생한다. 이 고장전류는 중성선과 접지선을 통하여 흐르게 되며, 대지로 흐르는 고장전류는 지락점의 대지 저항 값에 따라 지락점 주변에 높은 대지전위를 발생시킨다. 이 결과 지락점 주변에서 사용중인 전기설비에 과전압이 유입되어 기기 절연을 파괴시키는 경우도 있다. 본 논문에서는 특고압 절연전선 1선지락시 과전압 현상 해석을 배전계통 설비운영 담당자의 측면에서 검토하는 내용을 기술한다.

## 2. 본 론

### 2.1 절연전선 배전선로의 1선지락고장

국내 배전선로의 1차전압과 공급방식은 1998년 말 기준으로 99.4%가 22.9kV-Y 다중접지방식이며, 나머지는 제주도와 서울 일부지역이 6.6kV-Δ 비접지 방식으로 되어있다. 이러한 배전선로는 대부분 경과지가 인가지역인 수용 중심지를 경유하기 때문에 보안 및 사고 예방의 목적으로 절연전선을 사용하고 있다.

특고압 절연전선은 경년 변화에 따라 그림 1과 같은 트래킹현상 등이 발생하여 정상적인 선로운영 중에도 1선지락 고장이 발생할 수 있으며, 특히, 까치와 같은 조류 또는 이물질 등이 전압선과 중성선에 접촉되어 1선지락 고장을 발생시키는 경우가 있다.

1선지락 고장이 발생한 경우 배전선로 운영담당자는 고장개소의 추가적인 파급 사고를 방지하고, 고장의 현상과 과전압 경로를 분석하게된다. 과전압을 해석하는 프로그램은 EMTF, EMTDC 등 다양하지만, 현재 한전 배전사업소에서는 %인퍼턴스 방법을 기준으로 한 KEDPRO 프로그램을 사용하고 있다.

### 2.1.1 1선지락고장 형태

3상 4선식 다중접지 계통에서 1선지락고장 형태는 다음과 같은 2가지 형태를 갖게된다.

#### 2.1.1.1 전압선과 중성선이 접촉된 1선지락

22.9kV 가공선로(架空線路)에서 특고압선이 단선되어 중성선에 연결되어 있는 철구류(완금접지, 톱핀금구, 기타 접지선에 연결된 금구 등)와 직접 접촉하거나, 전력선 부근의 절연파괴로 공기 중에 아크방전이 발생하여 접지된 금구 및 접지선을 통하여 지락전류가 흐르게 된다. 이와 같은 1선지락고장 형태는 그림 2와 같다.

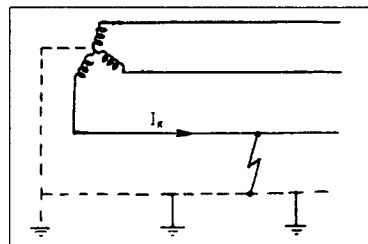


그림2 전압선과 중성선의 접촉으로 인한 1선지락고장

이러한 고장은 가공 배전선로에 있어 발생 빈도가 높으며, 풍우, 눈, 염해 등으로 절연물(라인포스트에자, 현수에자, 핀에자, 파괴기 등)의 절연내력이 감소되면, 대기 중 아크(arc) 발생 후 기기 파손으로 이어져 1선지락고장으로 나타난다. 특히, 강풍으로 인하여 특고압 전력선에 풍압하중이 증가하거나 진동으로 전력선이 지지에자 바인드 부분에서 이탈되어 접지된 완금류에 걸리는 경우도 자주 발생하는 1선지락고장이다.

### 2.1.1.2 전압선과 대지가 직접 접촉된 1선지락

가공선로에서 특고압선이 대지와 직접접촉 되는 경우 고장전류가 대지와 지락점에 가까운 접지개소를 통하여 흐르게 된다. 이와 같은 형태는 그림 3과 같다.

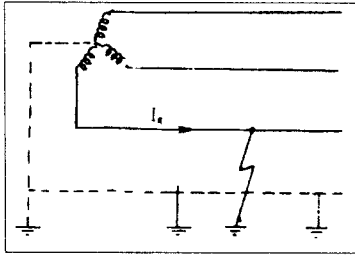


그림 3. 전압선이 직접 대지와 접촉된 경우

이러한 고장은 특고압 전력선이 단선 되어 지상에 떨어진 경우 발생되거나, 수목(樹木)등 이물질이 전력선과 근접된 경우 전력선과 대지와 등전위를 갖는 이물질 사이에 절연이 파괴되어 지락이 발생하는 경우이다. 특히, 지락고장에 있어 아크 발생시 고장상황에 따라 지락전류의 형태 및 크기가 다양한 것이 특징이며, 지락점의 초기 지락전류는 고저항 상태에서 미소(微少) 전류가 점차 저저항(低抵抗)에서 대전류로 증가되는 특징이 있다.

특고압 절연전선이 단선되어 지락 된 경우, 변전소 계전기 등 보호장치를 동작하는 정정 값에 도달할 때까지 지락점을 여러 개소에 만들게 된다.

### 2.2 1선지락고장전류 및 대지전위 상승전압

1선지락고장전류는 지락점 또는 지락점에서 가까운 접지개소(지시물 접지개소 등)를 통하여 흐르게 된다. 정확한 1선지락전류 값을 계산하는 것은 어려우나 일반적으로 %임피던스 방법을 사용하여 계산한다.

계산된 1선지락전류 값은 지락점 주변에 접지개소의 저항값과 함께 대지전위 상승전압을 산정 할 수 있다.

#### 2.2.1 1선지락전류 계산

1선지락고장전류는 배전선로 %임피던스를 사용하여 다음과 같이 식으로 계산할 수 있다.

$$I_g = 3 \times \frac{100}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + Z_f} \times \text{기준전류(A)}$$

$$= 3 \times \frac{100}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3R_f} \times \frac{100,000}{\sqrt{3} \cdot V}$$

$I_g$  : 1선지락전류 [A]

$V$  : 전선로의 선간전압 22.9 [kV]

$Z_1, Z_2, Z_0$  : 배전선로 정상, 역상, 정상 % 임피던스 (100MVA 기준)

$$Z_1 = Z_s + Z_t + Z_{L1}$$

$$Z_2 = Z_1$$

$$Z_0 = Z_t + Z_{L0}$$

$Z_s$  : 전원계통의 %임피던스(100MVA 기준)

$Z_t$  : 주변압기의 %임피던스(100MVA 기준)

$Z_{L1}$  : 배전선로의 정상 %임피던스(100MVA 기준)

$Z_{L0}$  : 배전선로의 영상 %임피던스(100MVA 기준)

$R_f$  : 고장점의 고장저항 (100MVA 기준)

상기 식에서 1선 지락점의 접지저항  $R_f$ 의 최소 값을

$0[\Omega]$ 으로 하면 완전 지락상태를 표시하며, 최대의 1선 지락전류가 흐르는 조건이 된다. 전력선이 수목접촉 또는 절연전선 지락시 초기에는 불완전한 1선지락이 발생하며,  $R_f$ 는 접촉재질에 따라 상당히 높은 값을 갖게된다. 특히, 이러한 고저항 값으로 인하여 지락전류가 제한되어 초기 1선지락전류는 적으나, 점차 고장 진행에 따라 급격하게 전류 값이 증가되며, 배전선로의 보호 기기(변전소 Relay, Recloser 등)를 동작시켜 사고과급을 방지하고 있다. 표 1은 고창 배전실증시험장내에서 실 계통 22.9kV 배전선로를 대상으로 인공 고저항지락 시험을 한 결과로 1선지락 실증 시험을 통하여 계산된 고장 저항값( $R_f$ )을 나타낸다.

표 1 1선지락 실증 시험을 통하여 계산된 고장저항 값

| 피시험시료  | 시험조건      | 고장전류 (A) | 고장저항 ( $\Omega$ ) | 비고                                   |                |
|--------|-----------|----------|-------------------|--------------------------------------|----------------|
| 보도블록   | 건조        | 8        | 1,622             | · 고장 전류 값은 1선 지락고장 실증 시험시 전류 계 지시 값임 |                |
| 보도블록   | 습기        | 32       | 378               |                                      |                |
| 모래     | 반습기       | 32       | 378               |                                      |                |
| 갠 자갈   | 두께 5cm    | 44       | 265               |                                      |                |
| 강 자갈   | 두께 3cm    | 32       | 378               |                                      |                |
| 자동차    | 지면과 1.5cm | 38       | 313               |                                      |                |
| 자동차    | 작크 설치     | 50       | 229               |                                      | · 고장 저항 값은 측정된 |
| 보도블록   | 재래식       | 20       | 627               |                                      | 고장 전류를         |
| 작은 소나무 | 높이 2M     | 극히 미소    | >10,000           |                                      | 1선지락전류         |
| 미루나무   | 높이 2.5M   | 2.1      | 6,282             |                                      | 계산 식을          |
| 말뚝     | 높이 1M     | 2.1      | 6,282             | 역산하여 구                               |                |
| 큰 소나무  | 높이 7.3M   | 3.8      | 3,255             | 한 값임.                                |                |

현재 한전에서 사용중인 배전선로 보호기기정정 프로그램인 KEDPRO1.0을 사용하여 1선지락전류를 계산한 예는 그림 4와 같다. 여기서  $R_f$ 의 지락점 저항값 최소를  $0[\Omega]$ 으로, 최대를  $30[\Omega]$ 으로 하여 1선지락전류를 계산한다.

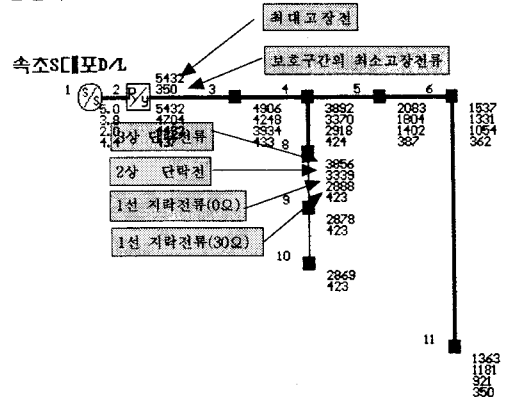


그림 4 KEDPRO1.0를 이용한 1선지락전류 계산

### 2.2.2 통신선 접지개소의 대지전위 상승

1선지락고장전류의 일부가 지락점 인근의 통신설비 접지부분으로도 흐르게 된다. 그 결과 통신설비의 대지전위를 상승시켜 통신케이블 및 통신기기 등에 높은 전압이 인가될 수 있다. 1선지락전류에 의한 대지전위 상승 전압은 다음 식으로 계산한다.

$$V_e = \frac{K_e \cdot \rho \cdot I_g}{2\pi D}$$

$V_e$  : 지락고장시 통신케이블의 대지전위 상승전압 [V]  
 $K_e$  : 지락전류 분산계수 (배전선로의 경우 0.5)  
 $D$  : 지락점과 통신케이블 금속 접지체간의 거리 [m]

### 2.2.3 1선지락시 건전상의 전압 상승

3상 4선식 특고압 배전선로에 있어 전압선중 1선이 지락 되는 경우 건전상의 전압은 정상상태의 상전압 보다 1.38 ~ 1.39[pu] 높은 일시과전압이 나타난다. 건전상의 일시과전압은 다음 식과 같이 계산하면 약 19kV를 넘지 않는 것으로 추정할 수 있으나, 실제의 과전압은 주변 상황에 따라 적용계수들이 변화되어 정확한 계산은 어려우나, 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$V_t = K_t \times V_n$$

$V_t$  : 1선지락전류에 의한 일시과전압  
 $K_t$  : 1선지락 일시과전압 배수 ( $K_{it} \times K_{tr}$ )  
 $V_n$  : 공칭 상 대지간 전압  
 $K_{it}$  : 계통최고전압을 고려한 일선지락 일시과전압 배수

### 2.2.4 접지극 부근의 최대전위 상승

1선지락시 발생하는 고장전류 대부분은 중성선을 통하여 전원측 변전소로 귀로하고, 일부는 각 전주의 접지개소를 통하여 대지로 흐른다. 만일 고장전류가 흐르는 중성선이 단선된 경우 1선지락전류 대부분이 지락점 발생된 개소에서 가깝고 접지저항이 낮은 전주 접지개소 및 기타 접지개소로 흐르게 된다. 지지물 접지개소 고장전류가 흐르게 되면, 그림 5와 같이 지지물 접지개소에 높은 전위상승을 발생시킨다.

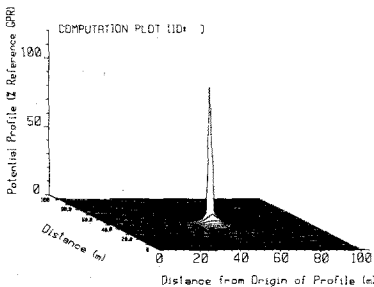


그림 5 지지물 접지개소 전위상승 분포

배전선로에서 지지물 접지극은 주로 동봉(14φ × 1,000mm)을 사용하며, 1선지락전류에 의한 지지물 접지개소의 전위 상승은 다음과 같이 2가지 경우를 계산한다.

- ①  $x \geq L$  (접지봉 길이) 인 경우  
 · 접지극 전위  $U_0$ 는

$$U_0 = 0.366 \rho \cdot \frac{I}{L} \cdot \log \frac{4L}{d} \text{ [V]}$$

$I$  : 접지선에 흐르는 고장전류 [A]  
 (∵ 1선지락전류 중 일부분임)

$\rho$  : 대지고유저항 [ $\Omega$ -cm]

$L$  : 접지극 길이 [m]

$d$  : 접지동봉의 직경 0.014 [m]

· 접지극에서  $x$  [m] 지점의 전위  $U_x$

$$U_x = 0.366 \rho \cdot \frac{I}{L} \cdot \log \frac{2L}{x} \text{ [V]}$$

- ②  $x < L$  (접지봉 길이) 인 경우

$$U_x = 0.366 \rho \cdot \frac{I}{L} \cdot \log \left( \frac{L}{x} + \sqrt{1 + \frac{L^2}{x^2}} \right) \text{ [V]}$$

## 3. 결 론

특고압 절연전선 지락고장은 선로보호 차단기가 동작하기까지 반복성 서지(surge) 과전압 형태로 배전설비와 고객설비에 영향을 준다. 배전설비를 관리하는 한편의 각 지점이나 고객 구내설비로 특고압을 선로를 운전 중인 설비운영 담당자는 지락고장 예방에 대한 정기적인 점검과 예방활동이 중요시되고 있다.

1선지락고장 후 설비피해 양상을 조사하고, 분석하는 방법은 다음과 같이 요약할 수 있다.

- ① 지락개소의 확인
- ② 설비 피해 현황 조사(상별 고장 내역)
- ③ 지지물 및 일반접지개소 저항 측정
- ④ 중성선 접속 개소 확인(고장전류 경로 및 정도)
- ⑤ 보호 정정치 조사, 선로 %임피던스 계산
- ⑥ 1선지락전류 계산
- ⑦ 대지전위 상승 계산(지지물 접지, 통신선 접지, 기타 접지)
- ⑧ 고장 계산 값과 유입경로와 현장의 일치성 확인

상기 고장계산 값은 대지저항의 영향에 따라나 합리적인 값을 제시하여야 할 것이다. 현재 이론적인 접근 방법으로 시뮬레이션 프로그램이 현장 여건을 고려하여 계산한 값과 어느 정도 일치하는가 보다는 1선지락고장의 현장에서 측정값과 산술적으로 계산한 값을 비교하여 실험 보정계수를 제시하는 것이 필요하다. 향후, 이러한 목적을 달성하고자 현재 한전 전력연구원에서 연구중인 "배전계통 이상전압 측정시스템 개발 및 연구"를 통하여 1선지락에 대한 측정값이 일부 제시될 것으로 판단되며, 배전선로의 이상전압 등 서지 현상에 대하여, 실측된 값을 제공할 수 있을 것으로 기대한다.

### (참 고 문 헌)

- [1] 한국전력공사, "보호협조 프로그램 사용자 설명서", 한전 배전처, p89, 1994
- [2] 한국전력공사 배전처, "배전실무 교육교재", p7, 1999
- [3] Lucus M. Faulkenberry Walter Coffey, "Electrical Power Distribution and Transmission", p157-p225, 1996
- [4] 박상만, "속초지점 대포D/L 절연전선 단선으로 인한 지락 고장전류 유입사고 분석보고서", 한전 전력연구원 TM, p13, 1998
- [5] 배전규정전문위원회, "배전규정", 대한전기협회, p463-p475, 1998