

154 kV 변전설비의 낙뢰사고 원인해석과 차폐검토

우정욱*, 심응보*, 곽주식*, 구분목**, 노영조**, 주준영**
한전 전력연구원*, 한국전력공사**

A analysis result on the lightning outage and the lightning shield at 154 kV substation

J.W.Woo*, E.B.Shim*, J.H.Kim**, B.J.Kim**
KEPRI*, KEPCO**

Abstract - This paper describes the analysis results for the protection of lightning surge at 154 kV substation.

We found that the surge arrester is needed at the inlet structure. The maximum overvoltage is 975 kV at the circuit breaker without the surge arrester at the inlet structure. This value can be lower than 600 kV by installing the surge arrester at the inlet structure.

In addition to the incoming surge from transmission line, the shield wire should be considered to prevent the shielding failure by the direct lightning stroke.

한 완전차폐 이론에 근거하면, 뇌격의 크기가 차폐 보호 범위를 벗어나서 가운데로 침입할 수 있어야 하기 때문에 비교적 작은 크기의 뇌격이었을 것으로 추측된다. 따라서, 현재의 차폐범위로는 차단기 차폐가 불가능하였기 때문에 차폐실패를 방지하기 위해서는 추가의 가공지선 설치하는 방법을 제안하였다.

2. 본 론

2.1 EMTP 해석대상 계통 및 해석조건

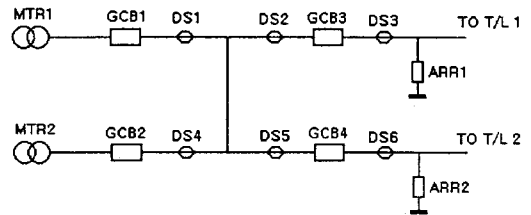


그림 1. 해석대상 계통

1. 서 론

이 논문은 한전 154 kV 변전소의 차단기가 뇌격의 침입에 의해 97년과 98년 두 번에 걸쳐 소손된 고장과 관련하여 뇌격 침입에 의한 전위상승 및 차폐에 대해 검토한 결과이다.

154 kV급의 변전소는 인입부에 피뢰기의 설치를 생략하고 변압기 보호용 피뢰기만을 이용하여 보호하는 경우가 많으며, 이 변전소 역시 인입부에는 피뢰기가 설치되어 있지 않았으며, 97년과 98년에 각각 1회씩의 사고가 발생하였다. 97년의 경우는 송전선로를 통하여 낙뢰가 침입하였으며, 고장이 발생한 차단기는 개방하고 단로기는 투입 상태로 운전중이었다.

계산 결과, 약 30 kA 정도의 뇌격이 송전선에 침입하여도 차단기의 상 대지간에 섬락이 발생가능한 과전압인 기준절연장도(BIL 750 kV) 및 적정마진(20%)을 초과함을 확인하였다. 반면 피뢰기가 인입부에 설치될 경우에는 50 kA 정도의 뇌격이 차폐 실패되어 침입하여도 600 kV 이하의 과전압이 발생하였다. 따라서, 변전소의 인입부에 피뢰기를 설치하면 과전압 억제 가능하였다.

98년 사고의 경우는 구내에 가공지선이 설치되어 있는 경우이었지만, 해당 차단기에 뇌격이 직접 침입함을 근무자가 육안으로 목격하였다. 일반적인 가공지선에 의

그림 1과 같이 구성된 합천수력 구내변전소에서 각 송전선로에 낙뢰가 침입하였을 때 발생하는 과전압에 의하여 그림 1의 GCB1이 파손 가능한지의 여부를 EMTP를 이용하여 계산하였다. 사고 발생시에는 인입부에 피뢰기(ARR1, ARR2)는 설치되어 있지 않았으며, 사고 발생후 과전압 억제 대책으로 피뢰기를 설치할 예정이어서 피뢰기 설치시의 과전압 발생크기도 검토하였다.

침입 뇌격은 2/70 μ sec파를 기준으로, 크기는 한반도 뇌격의 평균 크기인 20 kA를 중심으로 보다 높은 값까지 몇 단계를 나누어서 침입한다고 가정하였다. 차폐실패의 경우 제 2철탐에 뇌격이 맞았음을 가정하고 검토하였다.

2.2 해석결과

그림 2는 크기가 20 ~ 50 kA(2/70 μ sec)인 뇌격이 차폐실패 되었을 경우에 파손된 차단기(GCB1)에 발

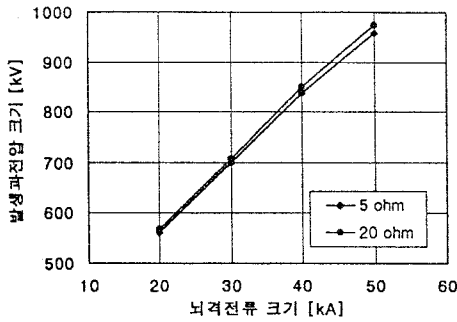


그림 2. 뇌격전류별 발생과전압 특성
(인입부 파괴가 없음)

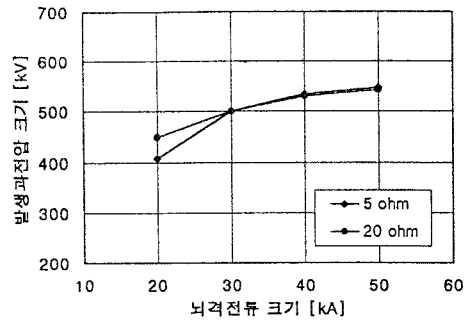


그림 4. 뇌격전류별 발생과전압 특성
(인입부 파괴가 있음)

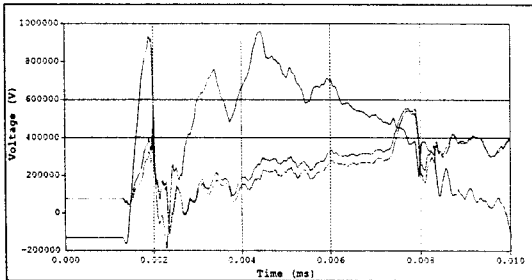


그림 3. 발생과전압 파형
(50 kA / 인입부 파괴가 없음)

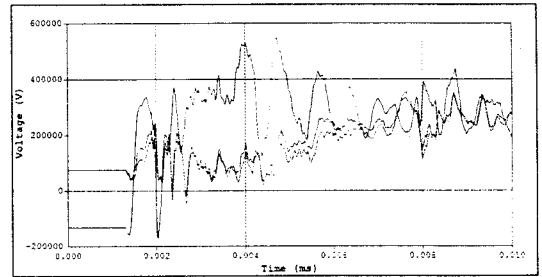


그림 5. 발생과전압 파형
(50 kA / 인입부 파괴가 있음)

생하는 과전압을 나타내고 있다. 인입철구의 접지저항이 5 Ω일때와 20 Ω일때의 각각에 대해서 살펴 본 것이다.

뇌격전류가 40 kA 이상일때는 800 kV 이상의 과전압이 발생하여 정격 BIL(750 kV)을 초과하였으며, 30 kA의 뇌격전류에도 약 700 kV의 과전압으로 적정 마진이 20 %인 600 kV보다는 큰 값을 나타내기 때문에 해당차단기가 파손 가능한 과전압 범위임을 확인하였다.

그림 3은 50 kA의 뇌격이 침입하였을 때, 5 Ω의 인입 철구 저항의 경우로 최대 959 kV의 발생과전압 크기를 보여주고 있다.

그림 4, 5는 인입부에 파괴가 설치될 경우로, 크기가 20 ~ 50 kA(2/70 μsec)인 뇌격이 차폐실패 되었을 경우에 파손된 차단기(GCB1)에 발생하는 과전압을 나타내고 있다. 인입철구의 접지저항이 5 Ω일 때와 20 Ω일 때의 각각에 대해서 살펴 본 것이다.

뇌격전류가 50 kA일 때도 600 kV 이상의 과전압이 발생하지 않았으며, 따라서 정격 BIL(750 kV)뿐만 아니라 적정 마진이 20 %인 600 kV보다 적은 큰 값을 나타내기 때문에 해당차단기 보호가 가능함을 확인하였다.

2.3 변전소 구내 차폐실패(직격뇌)에 대한 검토

먼저 한전에서 운용중인 LPATS(낙뢰위치표정시스템)에 의하여 97년과 98년 사고 당일에 감지된 낙뢰의 자료를 분석해 본 결과, 정확히 보고된 시각과 일치된 낙뢰는 찾을 수 없었고, 당일 사고 시간대에 가장 비슷한 위치에 떨어진 낙뢰데이터는 아래와 같다.

- (1) 97년 5월 04일 : 54.7 kA
- (2) 98년 4월 17일 : 160.5 kA

그러나, 위의 두 데이터는 몇가지의 특이한 점이 있다. 우선 일반적인 낙뢰통계에 의하면 80 %이상이 부극성인 점을 감안하면 두 경우 모두 정극성이라는 점이 특이하며, 근본적으로 위치와 시간이 정확히 일치하지 않아서 직접적인 해당 낙뢰이었던지는 확신할 수 없어서 다만 가능성만 지닌 상태이다.

98년 사고의 경우는 구내에 가공지선이 설치되어 있는 경우이었지만, 해당 차단기에 뇌격이 직접 침입함을 근무자가 육안으로 목격하였다. 일반적으로 가공지선에 의한 차폐는 기본적으로 뇌격전류의 크기와 이의 입사각에 따라 가능성이 달라진다.

가공지선에 의한 완전차폐 이론을 간략히 소개하면 뇌의 선행방전이 뇌운에 포함된 전하량에 크게 영향을 받아 선행방전의 전류밀도로 정해지는 뇌격거리가 되면 차폐선, 도체, 대지중 어느 한 곳이라도 뇌격을 가하게 된다. 뇌격은 침입각도를 가지며 뇌격의 흡수 범위는 뇌격거리를 반경으로 하는 원호가 되는데, 뇌격의 흡인 반경은 뇌격전류의 크기에 따라 달라진다. 뇌격거리는 제안

한 사람에 따라 여러 가지 수식으로 제안되고 있으나 기본적인 원리는 동일하다.

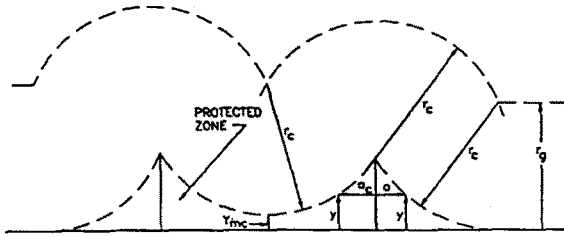


그림 6. 2조의 차폐선이 근접했을 때

그림 6은 2조의 차폐선에 의한 보호영역의 개념을 보여주는 것으로 2조의 차폐선이 멀리 떨어져 있다면, 보호영역은 같은 거리 a에서는 각각의 차폐선으로부터 그 크기가 같게 된다.

$$a = \sqrt{r_c^2 - (r_g - h)^2} - \sqrt{r_c^2 - (r_g - y)^2} \quad \text{--- (1)}$$

이때 차폐선을 더 가깝게 가져오면 뇌격 거리로 정의된 r_c 인 두개의 호는 서로 결합되어 교차점의 높이는 r_g 보다 높게 된다. 그러므로, 차폐선사이의 보호 영역은 그림에서와 같이 교차점으로부터 반경이 r_c 인 호로 나타내어진다. 그러므로 수평거리 a_c 는 보호될 장비의 같은 높이 y에서 a보다 더 크게 된다. 여기에서 2조의 차폐선 사이에서 최소로 보호되어야 할 높이 y_{mc} 를 구할 수 있다.

즉, 해당차단기의 높이보다 y_{mc} 가 높ی 되도록 차폐선의 범위를 설정하여야 한다.

따라서, 98년의 사고시 뇌격이 차단기에 직접 맞았다면, 뇌격의 크기가 차폐 보호범위를 벗어나서 가운데로 침입할 수 있어야 하기 때문에 비교적 작은 크기의 뇌격이었을 것으로 추측된다. 따라서, 현재의 차폐범위로는 차단기 차폐가 불가능하였기 때문에 차폐실패를 방지하기 위해서는 현재의 가공지선 구조상 아래 그림과 같이 가공지선을 cross 시키는 방법도 강구해 볼 수 있다.

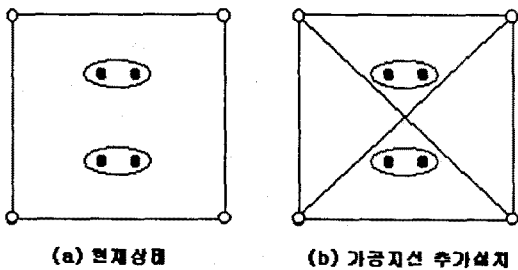


그림 7. 가공지선 위치 (위에서 내려다 본 그림)

3. 결 론

이 논문은 한전 154 kV 변전소의 차단기가 뇌격의 침입에 의해 97년과 98년 두 번에 걸쳐 소손된 고장과 관련하여 뇌격 침입에 의한 전위상승 및 차폐에 대해 검토한 결과이다.

약 30 kA 정도의 뇌격이 송전선에 침입하여도 차단기의 상 대지간에 섬락이 발생가능한 과전압인 기준절연강도(BIL 750 kV) 및 적정마진(20%)를 초과함을 확인하였다. 반면 피뢰기가 인입부에 설치될 경우에는 50 kA 정도의 뇌격이 차폐 실패되어 침입하여도 600 kV 이하의 과전압이 발생하였다. 따라서, 변전소의 인입부에 피뢰기를 설치하면 과전압 억제가 가능하였다.

98년 사고의 경우는 구내에 가공지선이 설치되어 있는 경우이었지만, 해당 차단기에 뇌격이 직접 침입함을 근무자가 육안으로 목격하였다. 일반적인 가공지선에 의한 완전차폐 이론에 근거하면, 뇌격의 크기가 차폐 보호범위를 벗어나서 가운데로 침입할 수 있어야 하기 때문에 비교적 작은 크기의 뇌격이었을 것으로 추측된다. 따라서, 현재의 차폐범위로는 차단기 차폐가 불가능하였기 때문에 차폐실패를 방지하기 위해서는 추가의 가공지선 설치하는 방법도 제한할 수 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] EMTF Rule Book, ATP Salford Version, I, II, 1987
- [2] EMTF Primer, EPRI EL-4202, Project 2149-1, Final Report, September 1985
- [3] EMTF Workbook II, Switching Surge, The University of Wisconsin March, 1987
- [4] EMTF Case Study Workbook I ~ IV, Electrotek Concept, Inc, January 1997
- [5] 765 kV 계통 절연협조연구(최종보고서), 전력연구원, 1995. 12
- [6] 765 kV 송전선로 공기절연거리 실증연구(최종보고서), 전력연구원, 1996. 11
- [7] AEP 765-kV System Operating Guidelines, June 1975
- [8] UHV 送電系統の絶縁(絶縁部會報告書), 電力中央研究所, 1982
- [9] UHV送電特別委員會系統部會報告書(UHV交流送電系統の特性), 電力中央研究所, 1982
- [10] UHV送電特別委員會中間報告書(UHV交流送電に関する研究), 電力中央研究所, 1982
- [11] "송배전선로 재폐로방식의 최적화 연구"(TR.95YJ 18.J1998.12)(1998.3.전력연구원)
- [12] Yutaka Goda, Shoji Matsuda, Tsuginori, Yuzo Ozaki, "Forced Extinction Characteristics of Secondary Arc on UHV(1000 kV Class) Transmission Lines", IEEE transaction on Power Delivery, vol. 8, pp. 1322~1330, July 1993.