

4회선 인입철구 구조를 가진 154 kV 변전소의 뇌과전압 해석

우정욱*, 심응보*, 곽주식*, 최병준**
 * 한전 전력연구원, ** 한전 창원전력

Lightning Surge Analysis in 154 kV S/S
 due to Flashover on the 4 Circuits Tower

J.W.Woo*, E.B.Shim*, J.S.Kwak*, B.J.Choi**
 * KEPCO 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 about 1,500 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.

심으로 차폐실패의 경우는 60 kA까지, 역섬락의 경우는 약 100 kA까지 몇 단계를 나누어서 침입한다고 가정하였다.

1. 서 론

154 kV급의 변전소는 인입부에 피뢰기의 설치를 생략하고 변압기 보호용 피뢰기만을 이용하여 보호하는 경우가 많으며, 부지문제에 인하여 4회선 인입철구의 구조로 운용되고 있는 변전소가 다수 있다. 4회선 인입철구의 경우는 낙뢰에 대해서 차폐실패나 직격에 의해 선로나 가공지선에 뇌격이 내습할 가능성이 충분히 높다. 그중낙뢰에 의한 사고가 보고된 건 중에서 한 예를 기준으로 낙뢰에 의해 변전소 내부에 발생하는 과전압의 크기를 조사하고, 기기보호를 위한 피뢰기 설치위치와 보호범위를 검토하였다.

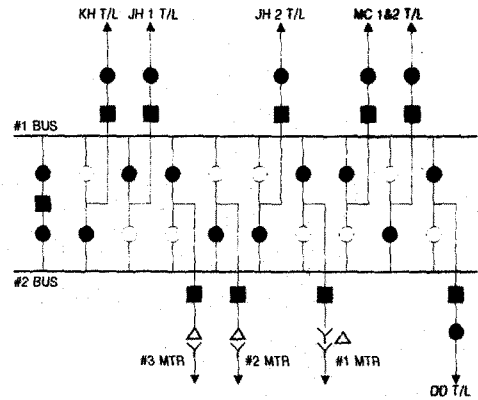


그림 1. 해석대상 변전소 구내 개략도

보고된 사고중 하나로써 154 kV MC #1 송전선로가 4회선 철탑으로 변전소로부터 4경간 후에 있는 철탑의 A상에서 낙뢰로 인하여 섬락이 발생하였으며, 변전소에도 섬락이 발생하였다. 해당 JH 변전소 154 kV 모선 보호반이 동작하여 #1 BUS가 Trip되었으며, 변전소 모선 장간에서 A상이 Flashover되었다.

2.2 해석결과

2.2.1 LPATS의 분석결과

LPATS(낙뢰위치 표정시스템)에 의한 낙뢰자료 검토 결과, 발생당시의 낙뢰는 -52.3 kA의 뇌격이 선로에 맞은 것으로 판단되며, 4회선철탑의 4번째 상이 맞은 것으로 보아 역섬락에 의한 사고가 아니라 차폐 실패로 판단된다.

이를 근거로 LPATS(낙뢰위치표정시스템)에 의한 낙뢰자료 검토결과, 발생당시의 낙뢰로는 -52 kA의 뇌격이 선로에 맞은 것으로 판단되며, 4회선철탑의 4번째 상이 맞은 것으로 보아 역섬락에 의한 사고가 아니라 차폐 실패로 판단되어, EMTP(전자과도현상 해석프로그램)에 의한 과전압 계산을 하였으며, 모든 가능한 경우에 대하여 모델링하였다.

2.2.2 차폐실패에 의한 과전압 검토

EMTP(전자과도현상 해석프로그램)에 의한 과전압 계산에는 모든 가능한 경우에 대하여 모델링하였으며, 차폐실패의 경우는 사고 조건과 동일하게 MC #1 송전선로의 A상에 뇌격이 맞은 경우를 상정하였다. 또한 모선의 송전선로와 변압기의 연결상태는 사고 당시의 경우를 그대로 상정하였다.

2. 본 론

2.1 해석대상 계통 및 해석조건

그림 1과 같이 구성된 JH 변전소 구내에 송전선로를 통하여 낙뢰가 침입하였을 때 발생하는 과전압에 의하여 기기 파손 가능성의 여부(BIL 초과여부)를 EMTP를 이용하여 계산하였다.

차폐실패에 의하여 직격뢰가 상도체에 맞았을 경우에는 조건에 따라 차이는 있었지만, 20 kA 정도의 뇌격이 침입하여도 변전소 구내에서는 1,000 kV에 가까운 과전압이 선로 인입부에서 가장 먼쪽인 곳에서 발생하여 기기의 파손 및 섬락의 가능성은 충분히 있었다.

사고 발생시에는 인입부에 피뢰기는 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 kA의 이상 값을 중

그림 2는 60 kA의 뇌격이 발생하여, 가공지선이 차폐 실패되어 직격뢰가 상도체에 맞았을 경우로 인입부에서 가장 먼쪽인 BUS 가장 끝쪽에서 1,500 kV 이상의 과전압이 발생하여 기기의 파손 및 섬락이 충분히 가능한 범위이다. 따라서, 직격뢰에 의한 뇌과전압의 침입시 인입부에 피뢰기가 없는 경우는 거의 모든 경우에 섬락이 발생할 가능성을 지니고 있다.

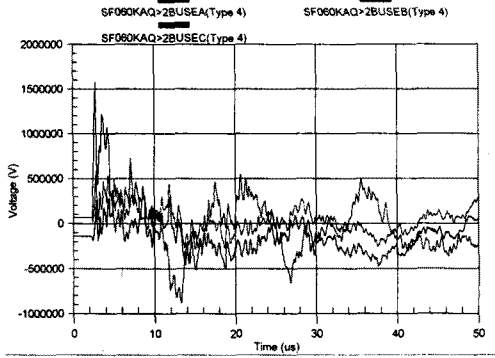


그림 2. 차폐실폐시 변전소 내의 발생과전압, 60 kA 뇌격

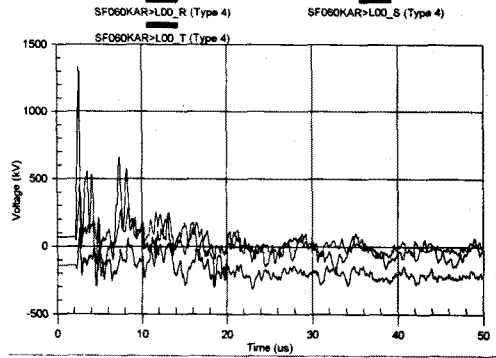


그림 5. BUS 양쪽 피뢰기 설치시, 60 kA 뇌격, 선로입입부 R, S, T 상

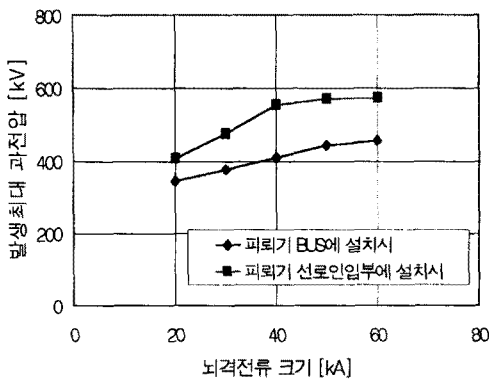


그림 3. 차폐실폐시 S/S내 최대발생과전압 분포 (피뢰기 설치시)

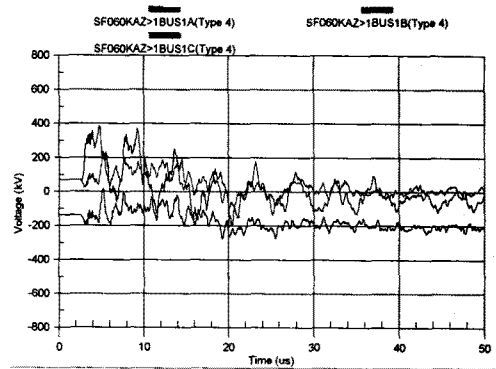


그림 6. 선로인입부 피뢰기 설치시, 60 kA 뇌격, #1 BUS 왼쪽 지점

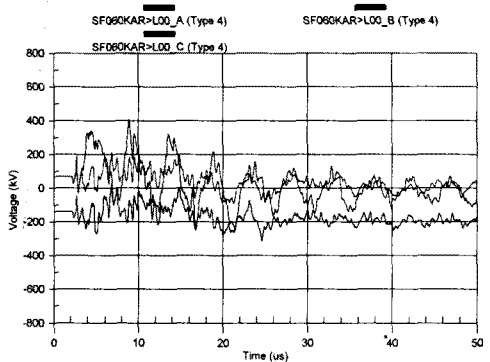


그림 4. BUS 양쪽 피뢰기 설치시, 60 kA 뇌격, 선로입입부 A, B, C 상

따라서, 그림 3은 앞에서의 차폐실폐와 같은 경우에 피뢰기 설치시의 효과를 검토한 경우이다. 피뢰기의 설치 위치는 BUS 양단에 설치시와 선로인입부에 설치시의 두 가지 경우에 대해 검토한 결과로, 변전소 구내의 선로 인입부를 제외한 BUS와 변압기단에서의 발생과전압 특성이다. 이 경우 60 kA의 뇌격인 경우에도 BIL(750 kV)에 대하여 20%의 마진을 고려한 600 kV보다 적은 값의 과전압이 발생하여 기기 및 모선 보호가 가능함을 알 수 있다.

그러나, 그림 4, 5에서 나타난 것처럼 BUS에만 피뢰기를 설치한 경우는 낙뢰찌꺼기가 타고 들어오는 상(R, S, T 상, 그림 5)의 선로인입부에서 1,332 kV의 과전압이 발생하여, 모선 양쪽의 피뢰기만으로는 모든 선로인입부 쪽의 과전압 발생 억제가 어려움을 알았다.

반면, 그림 6에서는 선로인입부에 피뢰기를 설치한 경우로 인입부에서 과전압이 억제되어 버림으로 변전소 구내에서는 과전압 발생을 억제시킬 수가 있었다. 따라서 선로인입부에 피뢰기가 설치된 경우는 모선을 포함 모든 변전소 구내 기기의 앞단에서 600 kV 이하로 억제할 수 있었다.

2.2.3 역섬락에 의한 과전압 검토

낙뢰에 의한 사고는 앞 절에서 검토된 차폐실폐에 의한 사고 외에도 가공지선 등에 의해 뇌격에 대해 차폐가 잘 이루어진 경우에도, 입력된 뇌격전류의 크기가 특정 값을 넘는 큰 뇌격전류이어서 탐각저항이나 접지저항의 조합에 의해 철탑암에 걸리는 전압이 애자의 섬락내전압치를 넘어서는 경우, 상과 암간에 역섬락이 발생하여 이로 인한 뇌찌꺼지의 유입으로 변전소의 기기 파손 등을 유발할 수 있다.

역섬락에 의한 사고의 모의 조건으로는 MC 송전선로의 탐정에 뇌격이 맞았을 경우를 검토하였다. 뇌격전류의 크기를 가변시켜 가면서 최상단암에서 역섬락이 발생하는 경우를 찾아 냈으며, 그로 인한 찌꺼기가 변전소에 침입하였을 경우에 대하여 검토하였다.

실제 검토시에는 뇌격전류의 크기를 약 5 kA의 단위

로 세분하여 약 100 kA 이상까지 검토하였다. 그러나 앞에서 LPATS에서 얻어진 실제 뇌격의 크기가 약 52 kA인 것을 감안하여, LPATS가 그 크기면에서 실측치보다 약 30 % 적은 값으로 낙뢰를 표시한다는 점을 감안하고, 역섬락이 나기 시작하는 뇌격전류치에 중점을 두었다. 실제로는 약 80 kA 정도의 뇌격이 맞을 가능성을 상정할 수 있었으며, 이러한 경우를 중심으로 고려하였다.

뇌격전류의 크기가 50 kA 정도나 그 이하에서는 역섬락이 발생하지 않았으며, 60 kA 부터는 최상단암에서 역섬락이 발생하였다. 이때, 60 kA 뇌격에 의한 역섬락으로 변전소 구내에서 발생하는 과전압은 602 kV로, BIL보다는 적지만 마진 20 %를 고려한 600 kV를 약간 넘어서는 애매한 값을 보여주고 있으며, 80 kA의 경우는 800 kV 가까운 과전압이 발생하고 있었다.

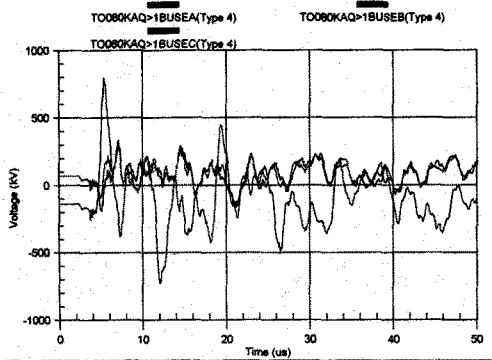


그림 7. 역섬락시, 80 kA 뇌격,
#1 BUS 오른쪽 끝

특히, 그림 7은 80 kA의 뇌격시 BUS의 한쪽 끝에서 약 800 kV의 과전압이 발생되고 있음을 보여준다. 앞에서처럼 LPATS 자료에 근거를 하면, 실제로는 약 80 kA 정도의 뇌격이 맞을 가능성이 상정할 수 있다. 따라서, 이러한 경우는 피뢰기 등에 의한 기기보호 설비가 필수적이다.

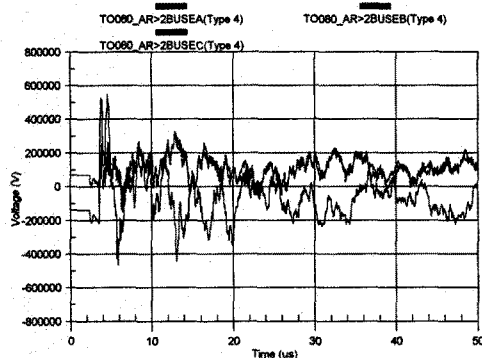


그림 8. 80 kA 역섬락시, #2 BUS 오른쪽 끝
(피뢰기 선로인입부 설치시)

따라서, 기기 보호를 위해서는 피뢰기를 적절한 위치에 설치할 필요가 있으며, 이를 위하여 각 조건에서 피뢰기의 설치위치에 대하여 검토하여야 한다. 앞에서 차폐실패에 의한 과전압을 억제하기 위하여 피뢰기 설치 위치가 선로 인입부가 되어야 함을 알았다. 따라서, 역

섬락시에도 선로인입부에서의 피뢰기 설치위치 효과를 검증하기 위하여 검토하였다.

그림 8에서 보듯이 선로인입부에 피뢰기를 단 경우는 변전소 구내의 어떠한 위치에서도 과전압 범위를 550 kV 이하로 줄일 수 있었다. 따라서, 과전압치를 600 kV 이하로 억제 가능하게 하기 위하여는 인입부에 피뢰기를 설치하는 것이 바람직하다.

3. 결 론

154 kV 변전소에 침입한 낙뢰에 의한 기기 파손 원인을 분석하고 대책을 수립하기 위하여 뇌격 침입에 의한 전위상승 계산을 검토한 결과이다.

1. LPATS에 의한 낙뢰자료 검토결과, 발생당시의 낙뢰로는 -52 kA의 뇌격이 선로에 맞은 것으로 판단되며, 4회선철탑의 4번째 상이 맞은 것으로 보아 역섬락에 의한 사고가 아니라 차폐 실패로 판단된다.
2. EMTP에 의한 과전압 계산결과는 다음과 같다.

○ 차폐실패 :

- 약 60 kA의 뇌격이 송전선에 침입하면 변전소 구내의 특정 지점의 상 대지간에 섬락이 발생가능한 과전압인 기준절연강도(BIL 750 kV) 및 적정마진(20 %)을 초과하는 과전압이 발생함을 확인하였다.
- 반면, 피뢰기가 인입부에 설치될 경우에는 60 kA 정도의 뇌격이 차폐 실패되어 침입하여도 600 kV 이하의 과전압이 발생하여, 변전소의 인입부에 피뢰기를 설치하면 과전압 억제가 가능하였다.
- 그러나, 모선에만 피뢰기를 설치한 경우는 해당 선로 인입부에서 BIL을 초과하는 과전압이 발생하여 사고의 가능성이 있다.
- 따라서, 4회선 철탑의 경우는 지형과 철탑의 높이에 따라 가공지선의 차폐각 보강이 필요하며, 변전소 구내에는 과전압 억제 대책으로 선로인입부에 피뢰기 설치가 필수적이다.

○ 역섬락 :

- 뇌격전류의 크기가 50 kA 정도에서는 역섬락이 발생하지 않았다.
- 60 kA부터는 최상단암에서 역섬락이 발생하였다.
- 60 kA 뇌격의 경우 변전소 구내에서 발생하는 과전압은 602 kV로, BIL보다는 적지만 마진 20 %를 고려한 600 kV를 넘어서고 있으며,
- 80 kA의 경우는 800 kV 가까운 과전압이 발생하고 있었다.
- 선로인입부에 피뢰기를 단 경우는 변전소 구내의 과전압 범위를 550 kV 이하로 줄일 수 있었다.

(참 고 문 헌)

- [1] EMTP Rule Book, ATP Salford Version, I, II, 1987
- [2] EMTP Primer, EPRI EL-4202, Project 2149-1, Final Report, September 1985
- [3] EMTP Workbook II, Switching Surge, The University of Wisconsin March, 1987
- [4] EMTP Case Study Workbook I ~ IV, Electrotek Concept, Inc, January 1997
- [5] 765 kV 계통 절연협조연구(최종보고서), 전력연구원, 1995. 12
- [6] UHV 送電系統の絶縁(絶縁部會報告書), 電力中央研究所, 1982