

낙뢰침입에 의한 대지전위상승이 발전소 저압전원회로에 미치는 과전압 해석

양병모*, 정재기*, 민병욱**, 이종석**
*한전 전력연구원, **한국전력

Transient Voltage Analysis of Low-Voltage Source Circuit in Thermal Power Plant due to Grounding Potential Rise by Lightning

Yang, Byeong-Mo*, Jeong, Jae-Kee*, Min, Byeong-Wook**, Lee, Jong-Seok**
*KEPRI, **KEPCO

Abstract - High-Smokestacks have been the symbol of the thermal power plant. Those cause the thermal power plant to be damaged by lightning for reaching several hundreds meter. In this paper, we investigated the accident of low-voltage source circuit due to grounding potential rise by lightning via high-smokestack in practically driving power plant, described examination into the cause and the impulse analysis. We analysed the transient voltage by EMTP(ElectroMagnetic Transient Program) via modeling the grounding system of power plant. This theoretical results coincided with practical accidental state. Therefore, it was verified that we could apply the grounding system of power plant and substation with the distribution-circuit analysis(EMTP).

1. 서 론

화석연료를 연소시키는 화력발전소등의 공장은 일반적으로 높은 연돌이 그 상징으로 되어 있다. 이러한 연돌은 높이가 수백m에 달하므로 직격뢰에 노출되어 낙뢰피해의 원인이 된다. 실제로 영남화력 발전처의 조명설비에 전원을 공급하는 380V 조명판넬에서 부스가 아크에 의해 손상되는 문제점이 발생하였는데, 현장점검과 부스 점검결과 아래와 같은 이유로 연돌의 피뢰침으로 침입한 낙뢰에 의한 대지전위상승으로 판단되었다.

- 1). 연돌의 높이가 150m이상으로 낙뢰의 침입이 용이
- 2). 연돌의 피뢰침에서 연결된 접지선의 접지는 발전소의 주매쉬망과 직접 연결
- 3). 사고지점 패널과 연돌과의 거리는 평면거리로 30m 정도로 비교적 가까운 거리
- 4). 사고당시의 날씨가 낙뢰를 동반한 우천.
- 5). 송전선을 통한 써지의 유입 없음.
- 6). 발전소의 피뢰기 동작 없음.

본 논문에서는 실제로 운전중인 화력발전소의 접지계통에 연돌을 통해 침입한 낙뢰써지가 저압전원계통 부스에 아크를 발생시킨 사고를 조사하고 그에 대한 원인규명 및 써지해석과 대책을 제시하고자 발전소 전체접지계통을 모델링하여 전자계 과도현상 해석프로그램(EMTP)에 의한 과전압을 해석하였다.

2. 본 론

2.1 해석을 위한 모델링

아크에 의한 사고발생의 지점이 전동부하용인 380V 모선과 접지된 판넬이므로, 이 지점의 과전압을 다음과 같은 점을 착안하여 검토한다.

- 1) 어느 지점으로 낙뢰써지가 침입되었을 때 380V 모선에 아크가 일어날 수 있는가?

- 2) 어떻게 현실 가능하게 모델링할 것인가?
- 3) 380V 모선의 조건을 어떻게 모의할 것인가?

위의 1)항에 대한 낙뢰의 침입경로는 송전선로의 가공지선과 상도체를 통하는 경우, 건물의 옥상에 직격되어 철구조물을 통하는 경우, 연돌에 직격되어 피뢰접지선을 통하는 경우의 3가지로 판단된다. 이중 개연성과 조사결과와 관점에서 가장 확률이 높은 연돌의 침입경로를 해석하였. 이것은 첫 번째 송전선의 가공지선과 상도체에 직격되어 380V 모선에 아크를 일으킬 정도의 낙뢰라면 이미 선로 피뢰기나 차단기 및 계전기의 동작에 의해 감지되었으며, 두 번째인 건물에 직격의 경우는 확률적으로 빈도가 낮고 아크를 발생시킬 정도는 아니기 때문이다.

위의 2)항의 모델링 방법을 산정하기 위해서 그림 1과 같이 회로를 구성하였다. 또한 접지망을 분포정수회로로 해석하기 위해 저항과 인덕턴스로 구성된 접지망을 회로화는 모델링방법을 선택하였다.

영남화력발전처에서 Lightning 부스(3상 380V)와 판넬간에 아크발생시 운전상태를 증가화한 계통도는 아래의 그림1과 같다.

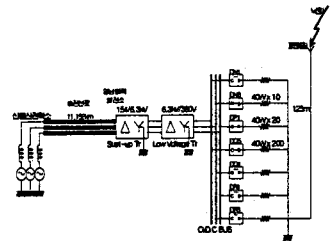


그림 1. 전동 부스(3상 380V)와 판넬간에 Arc 발생 운전상태를 증가화한 계통도

낙뢰가 연돌 피뢰침을 통하여 유입되었다고 판단되므로 이를 해석하기 위해 EMTP를 이용하여 아래의 조건에 따라 과전압을 검토하였다.

◇ 연돌을 타고 침입한 낙뢰는 우리나라에 가장 많은 빈도를 갖는 크기인 30kA, 침투치 1.2 μ s로 산정하여 분석하였다.

◇ 신울산전력소의 등가 임피던스는 PSS/E를 이용하여 구하였다

◇ Start-up Tr 및 Low Voltage Tr의 파라메타는 기기명판을 이용하여 모의하였다.

◇ 220V 소내조명용 부하는 평소 운전실적을 기준으로 산출하였다.

◇ 매쉬망은 90 x 90m, 동선의 인덕턴스를 고려하였다.(인덕턴스의 크기는 약 0.12 μ H/m로 아주 작아 상용주파 과전압 해석시 보통 무시하지만, 낙뢰의 경우 침

두치가 수μ에 달하므로 인덕턴스에 의한 임피던스의 크기는 무시할 수 없다)

위의 3)항의 조건을 모의하기 위해 소내 조명부하 운전조건은 발전소가 접점을 위한 급전정지중이었고 사고시간이 18:25분 경으로 모든 전원이 모두 ON상태로 운전되지는 않았으리라 판단되어 모선에 연결된 부하가 전부 차단된 경우와 B상만 연결된 상태를 시뮬레이션 하였다.

2.2 조명부하 OFF시 해석

앞에서의 해석 조건에 따라 연들을 통해 낙뢰가 침입하고, 연돌접지와 소내 판넬의 접지가 공동으로 되어 있는 회로에서 380V 모선의 조명부하를 사용하지 않았을 경우, 즉 OCB 부스의 BRK인 DN1, DN3, DP1, DQ5, DQ1, DR1, DR3가 모두 OFF되었을 때, 상간 및 상대지간 과전압의 해석하였다.

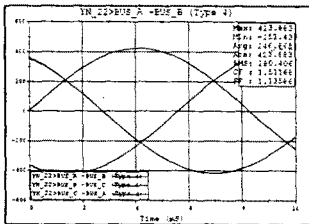


그림 2. 소내 조명부하 off상태에서의 380모선 3상 상간 전압

그림2는 각각의 상간 전압을 해석한 결과이다. 그림에서 알 수 있듯이 연들로 낙뢰가 침입하여 접지망의 대지 전위를 상승시키는 요인이 발생해도 상간 전압은 영향을 받지 않는다. 이것은 관측대상인 3상이 같은 지점에 위치하고 있기 때문이다. 써지와 진행파가 시간에 따라 진행하면서 접지망의 대지전위를 상승시킨다 하여도 3상이 거리의 차이를 보이지 않고 같은 지점에 위치하므로 상간의 전압차는 나타나지 않는다.

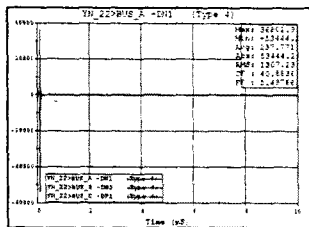


그림 3 소내 조명부하 off상태에서 380모선 3상과 대지간 과전압

그림3은 상대지간 전압을 표시하는데, 3상 모두 약 37kV의 과전압이 관찰되었다.

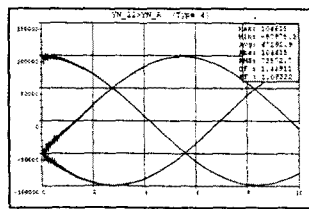


그림 4. 소내 조명부하 off상태에서 영남화력 154kV 송전선로 전압

그림4는 영남화력과 신울산 전력소사이에서 연결된 송전선로의 과전압을 앞에서와 같은 조건하에서 계산한 결과이다. 그림에서 알 수 있듯이 낙뢰가 연들을 통하여 접지방 유입되어도 송전선로에 영향을 미치는 과전압의 영향은 크지 않다는 것을 알 수 있다.

2.3 조명모션 B상 부하시의 해석

앞에서 사용한 같은 조건하에서 단지, 소내 조명부하를 B상에만 연결하여 사용할 경우, 즉 OCB 부스의 DN3 BRK만 ON상태이고 나머지 BRK는 모두 OFF되었을 때의 과전압을 해석하였다.

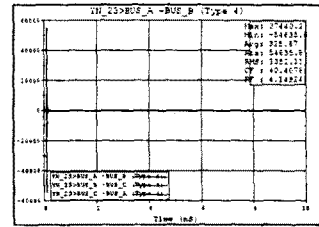


그림 5. 전등모션 B상 부하시의 3상 선간전압

그림5는 전등모션 B상이 부하를 공급하는 상태에서 선간 과전압의 검토결과이다. 이 경우 B상이 전등의 임피던스를 통해서 대지와 연결된 상태가 되므로 대지의 전위상승이 B상에 영향을 미치게 되므로 상당한 과전압이 B-C, B-A간에 나타나게 된다. B상과 연결되지 않은 A-C간에는 과전압이 나타나지 않을 것으로 판단되고 이러한 판단은 그림8에서 확인된다.

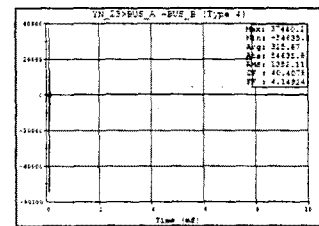


그림 6. 전등모션 B상 부하시의 A-B 상간 전압

그림6은 A-B상 사이에 나타난 과전압의 해석결과이다. 과전압의 크기는 약37kV로 전등판넬의 말단에서 아크를 일으킬만한 크기의 과전압을 나타내고 있다.

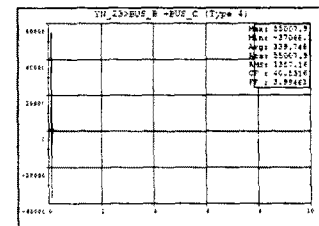


그림 7. 전등모션 B상 부하시의 B-C 상간 전압

그림 7은 그림6과 같은 조건하의 B-C상에 나타난 과전압으로 약 55kV에 달한다. 이러한 과전압은 전등판넬의 아크를 일으킬 수 있는 충분한 크기를 갖는다.

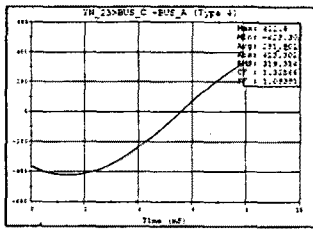


그림 8. 전등모선 B상 부하시의 C-A 상간 전압

그림8은 앞에서도 언급했듯이 현재 부하로 사용되고 있는 B상과 관계없는 C-A상간에는 전압이 발생하지 않고 전원에서 공급된 정현파의 파형이 나타난다.

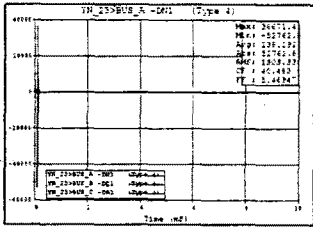


그림 9. 전등모선 B상 부하시의 A, C 상-대지간 전압

그림9는 상대지간 전압을 표시하는데, A상(약 36.6kV), C상(약 36.3kV)에서 과전압이 발생한다. 이는 A, C상은 부하를 공급하지 않음으로 대지와 전등이 갖는 임피던스로 연결된 B상의 영향으로 과전압이 발생한다.

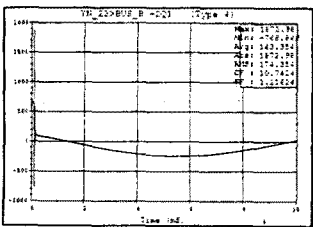


그림 10. 전등모선 B상 부하시의 B상-대지간 전압

B상에는 약 1900V의 과전압이 발생하는데 이는 전등 부하의 임피던스가 B상과 접지사이에 연결되어 있으므로 이 전등부하가 갖는 임피던스가 전압강하를 일으킴으로 이에 대한 전압과 전등에 사용되는 전원전압이 중첩되어 전원전압보다는 다소 큰 전압이 순간적으로 발생하나 이것이 전등을 파손하게나 훼손할 정도의 크기는 갖지 않는다.

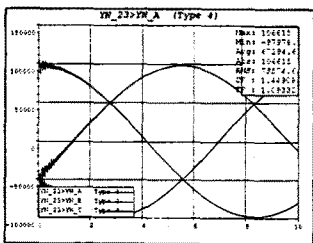


그림 11. 전등모선 B상 부하시의 영남화력측 154kV 송전선로전압

그림11은 영남화력과 신울산 전력소사이에 연결된 송전선로인 영남화력인출점의 과전압을 앞에서와 같은 조건하에서 계산한 결과이다. 그림에서 알수 있듯이 낙뢰가 연들을 통하여 접지망 유입되어도 송전선로에 영향을 미치는 과전압의 영향은 크지 않음을 알 수 있다.

3. 결 론

위에서 계산한 과전압결과를 다음과 같이 정리하고 아크 현상과의 관계를 도출하였다.

(전등부하에 부하가 없을 때)

계산점	A-B	B-C	C-A	A-N	B-N	C-N
크기	424V	369V	423 V	37kV	37kV	37k V
아크 가능성	없음	없음	없음	가능	가능	가능

(B상에 부하가 있을 때)

크기	37kV	55kV	423 V	37kV	1873V	36k V
아크 가능성	가능	가능 (최대)	없음	가능	없음	가능

조사에 의한 전등판넬의 공기절연거리상 말단의 경우 25[kV]이상의 과전압이 발생하면 아크의 가능성이 있다. 이점과 해석결과를 비교하면 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

1. 전등부하가 없을 때 즉, 전등부하와 연결된 스위치가 전부 'off'상태이면 대지와 상간에 아크의 가능성이 있다.(상과 대지간의 아크)
2. 전등부하가 있을 때 즉, 일부 상과 대지사이에 전등부하를 사용중이면 상간아크와 상대지간의 아크의 가능성이 있다(상간, 상대지간 아크)
3. 연결된 전등은 파손되지 않는다.
4. 접지망에 침입한 낙뢰에 의해 송전선에 미치는 영향은 미약하다.
5. 송전선의 가공지선과 상도체에 직격 혹은 역섬락된 낙뢰썩지는 380V의 전등부스까지 전달되기는 하지만 전등부스에 아크를 일으킬 정도의 크기면 파괴기와 다른 감시기기의 동작을 함께 수반한다.

결론적으로 이번의 아크사고의 원인은 연들의 파괴침에 직격된 낙뢰에 의한 접지의 대지전위상승의 영향으로 판단된다.

[참 고 문 헌]

- [1] Frank E. Montr, Leonid Greev, "EMTP-Based Model for Grounding System Analysis", IEEE Trans. On Power Delivery, Vol.9.No.4, Oct. 1995
- [2] Carlo Mazzetti, Giuseppe M.Veca, "Impulse Behavior of Ground Electrodes", IEEE Trans. On Power Apparatus and System, Vol.PAS-102, No.9, Sep. 1983
- [3] R. KOSZTALUK, M. LOBODA and D. MUKHEDKAR, "Experimental Study of Transient Ground Impedances", IEEE Trans. On Power and System, Vol.PAS-100, No.11, Nov. 1981
- [4] 이복희, 이승철, 김찬오, "썩지전압에 대한 50(A)용 누전 차단기의 부동작 특성", 조명·전기설비학회, Vol.11.No.5, 1997