

A Study on the Analysis of the Lightning Surge Characteristics of Arresters in a 154kV Substation

尹昶燮* · 李鍾範† · 趙漢九**
(Chang-Sub Yun · Jong-Beom Lee · Han-Goo Cho)

Abstract - This paper describes the characteristic evaluation of 154kV lightning arrester developed by domestic technology. To prove the protective ability of lightning arrester developed, various overvoltages were analyzed for A and B arrester were being used now at 154kV air and gas insulation substation, and for arrester developed. The results obtained by the various simulations show that the developed arrester has the effective protective ability and reducing ability of the overvoltage as A and B arrester, nevertheless there are somewhat differences among three kinds of arresters. Accordingly, it is evaluated that the arrester developed by domestic technology secured reliability can be installed actually at 154kV substation. In this paper, EMTP/ATP was used for simulation.

Key Words : Back Flashover, EMTP, Lightning Surge Arresters, Substation.

1. 서 론

2003년 통계를 기준으로 국내 총 송·변전설비의 65%를 차지하고 있을 정도로 대도시를 중심으로 해마다 증가하는 전력수요와 계통 운용의 안정성 확보를 위해 154kV 변전설비는 증가하고 있다. 이와 같은 변전설비에서 주요 고장 원인 중 하나는 뇌서지에 의한 것으로서 송전선로에서 발생된 뇌서지가 변전소로 유입되어 변전소에 높은 과전압을 발생시키고 변압기 등 주요 설비에 절연파괴를 유발하게 된다. 국내의 경우 낙뢰고장의 약 17%가 지장전력 발생으로 정전고장율이 높은 편이다[1]. 특히, 낙뢰로 인한 변전소의 설비고장은 송전 계통 전체를 마비시키는 등 파급되는 영향이 매우 크게 나타나므로 뇌서지의 효과적인 차폐는 무엇보다 중요하다. 이를 해결하기 위해 변전소로 유입되는 뇌서지를 차폐하기 위해서는 피뢰기를 사용하고 있지만 변전소와 인접한 첩탑에 높은 과고치의 급준한 뇌격이 침입할 경우에는 피뢰기에 의한 보호에 한계가 있으며, 잦은 뇌서지 침입은 피뢰기 열화 발생으로 인해 수명이 저하될 우려가 있어 여전히 변전소 기기 보호에 위협을 초래할 가능성이 있다[2]. 이 때문에 피뢰기의 재료적 성능을 확보하고 계통 보호능력이 충분히 검증되어야 한다. 이와 더불어 재료적 성능을 개선한 변전소 보호용 피뢰기의 국산화 노력이 절실히 요구되고 있다. 하지

만 우리나라의 경우 현재 국내에서 변전소 보호를 위해 사용되는 피뢰기는 주로 A사나 B사의 제품으로 사용되며, 국내 기술에 의해 개발된 피뢰기가 실계통에 사용되는 예는 거의 없다. 그러나 2005년 국내 기술력에 의해 최초로 발·변전용 좌립형 피뢰장치를 개발하여 피뢰기 성능 개선 및 국산화에 큰 기여를 한 사례가 있다[3].

따라서 본 논문에서는 변전소에 뇌서지 유입시 변전소 구조 및 피뢰기 설치 위치에 따라 변전소에 미치는 뇌과전압의 영향 뿐 아니라 국내에서 개발한 피뢰기와 A사, B사 피뢰기의 보호 성능을 상호비교 검토함으로써 새롭게 개발된 피뢰기의 차폐 효과를 분석하여 성능을 입증하였다. 이와 같은 피뢰기 성능평가를 위해 154kV 송전선로와 변전소를 EMTP/ATP로 모델링 하였으며, 송전계통에 뇌격 침입시 변전소에 미치는 영향을 다양하게 비교 분석 하였다. 본 논문의 연구 결과는 추후 발·변전용 피뢰기의 국산화 대체에 큰 기여를 할 것으로 사료된다.

2. 계통모델

본 논문에서는 일반적인 154kV 변전소와 송전선로를 모델 계통으로 선정하였으며, 뇌서지는 송전선로의 첩탑으로 침입하는 것으로 하였다. 이 경우 첩탑의 전위가 급상승하여 역섬락 발생하고 가공선로의 상도체로 뇌과전압이 유기되어 변전소에 영향을 미치게 된다. 특히 변전소에 미치는 영향은 변전소에서 가장 가까운 첩탑에 서지가 침입할 때 제일 크게 나타나므로 가장 가혹한 상황 설정을 위해 뇌격은 제 1첩탑에 침입하는 것으로 모델링 하였다. 그림 1은 논문에서 모델링한 계통도로 송전선로와 역섬락의 위치, 변전소 모델을 나타내었다.

* 교신저자, 正會員 : 圓光大 電氣電子및情報工學部 教授 · 工博

E-mail : ipower@wonkwang.ac.kr

* 學生會員 : 圓光大 大學院 電氣工學科 碩士課程

** 正會員 : 韓國電氣研究院 責任研究員 · 工博

接受日字 : 2006年 7月 18日

最終完了 : 2006年 9月 14日

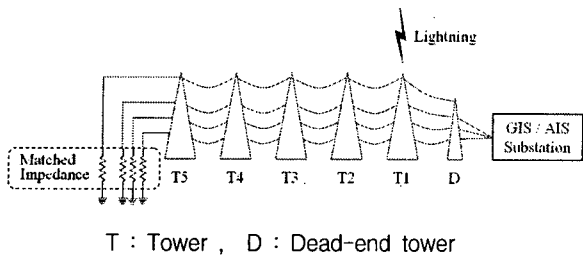


그림 1. 154kV 송전선로 및 변전소 모델 계통
 Fig 1. Model system of 154kV transmission line and substation

2.1 송전선로 모델

송전선로는 총 5경간, 1회선으로 모델링 하였으며 5 첩탑 말단에는 정합저항을 적용하였다. 모델링에 사용된 상도체와 가공지선은 각각 ACSR 330mm²와 ACSR 120mm²이다. 또한 첩탑에서 발생하는 역섬락과 서지특성의 자세한 분석을 위해 첩탑에 대한 상세 모델링은 반드시 필요하다. 첩탑의 경우 상도체와 가공지선보다 구조가 복잡하고 각 도체와의 상호 결합도 고려해야 하기 때문에 등가 회로가 매우 복잡하며 다양한 형태의 모델링 기법이 소개되고 있다. 대표적인 첩탑 모델은 전자계 이론에 의한 모델이나 집중 회로 임피던스, 단일 분포 정수 선로가 사용되어 왔지만 본 논문에서는 첩탑 서지의 실측 결과에 근거한 4단 첩탑 모델 기법을 적용하였다[4]. 4단 첩탑 모델 기법은 뇌격이 첩탑에 가해졌을 때 첩탑의 서지 임피던스를 나타내는 단상 분포 정수 회로와 첩탑의 감쇠특성을 나타내는 R-L 병렬 회로로서 첩탑을 상, 중, 하의 암 설치 위치에 따라 4부분으로 분할하여 모의한다. 특히 4단 첩탑 모델은 EMTP/ATP등 과도현상 해석 프로그램으로 즉시 적용할 수 있는 장점이 있으며 아킹흔 섬락 모델에도 쉽게 적용이 가능하다.

2.2 뇌격모델

뇌격전류 파두시간에 대한 해외 실측 사례를 분석한 결과 피크값에 이르는 시간이 대부분 2μs~8μs인 것으로 분석되었다[5]. 여기서 뇌격의 파두시간은 뇌과전압 상승에 큰 영향을 미치며 급준파 일수록 계통에 미치는 영향이 커지게 된다. 본 논문에서는 가장 가혹한 뇌격모델 선정을 위해 파두시간이 2μs이고 파미시간이 70μs인 급준파형을 선정하였으며, 뇌격은 선형적으로 상승하고 감쇄하는 램프파를 사용하였다. 뇌격전류의 피크값은 154kV 변전소 기기 해석이라는 특수성을 고려하였으며 국내·외에서 송전선로 뇌서지 해석을 위해 주로 사용하는 100kA를 선정하였다[6].

2.3 변전소 모델

일반적으로 변전소 뇌서지 해석에서 기기들은 대부분 서지 커패시턴스에 의해 모델링 된다. 서지커패시턴스는 뇌서지에 대한 집중정전용량으로, 서지침입용량으로서 모의하게 된다[7]. 이 경우 변전소를 구성하는 모든 기기에 대해서 서지 커패시턴스를 적용하면 회로가 복잡해지고 계산시간도 많이 소요되는 등 비효율적이기 때문에 이를 간소화 할 필요가 있다. 따라서 간략하면서도 정확한 계산 결과를 얻을 수 있는 회로 구성이 무엇보다 중요하다. 이를 위해 먼저 변전소를 구성하는 모든 기기를 고려해 모의한 후 다음 단계로 각 기

기의 서지 커패시턴스 중 가장 작은 커패시턴스 값을 갖는 기기를 하나씩 제거하면서 그 계산결과를 비교하는 과정을 통해 계산에 큰 영향을 주지 않는 범위 내에서 변전소 모델을 간략화 한다[8].

본 논문에 적용한 변전소 모델은 변전소회로 구성시 계기용 변압기와 전력용 변압기만을 고려하여 모델링 하였고, 인입구 차단기 개방시에 뇌과전압이 더 커질 수 있으므로 차단기 모델을 고려하였다[9]. 또한 가스절연 변전소에서는 부상의 커패시턴스를 고려하였으며 그 외 단로기나 변류기 등의 모델은 생략하였다[10]. 그림 2에서는 본 논문에서 적용한 변전소 모의 계통도를 나타내었다. 그림에서처럼 복조선 방식이며 1회선 인입 1뱅크 구조를 가지고 있다. 1회선 인입 1뱅크 구조는 변전소의 실제 운용과는 차이가 있지만 인입 회선이나 변압기 대수가 증가할수록 변전소에 침입하는 서지는 분파/반사되어 그 크기가 작아지므로 변전소 뇌과전압이 가장 커지는 가혹한 조건으로 설정한다.

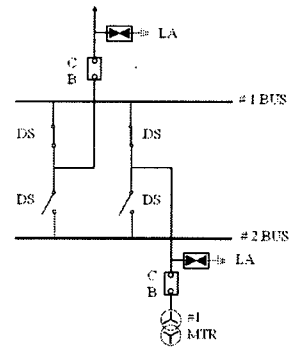


그림 2. 154kV 변전소 모의계통 단선도
 Fig 2. System diagram of 154kV substation

가. 변전소 모선

가스절연 변전소의 모선은 통상 3상 일괄형을 사용하며 배치형태에 따라 표준배치와 편단배치로 분류한다. 각 경우의 커패시턴스 값은 전하 중첩법으로 구할 수 있고 특성임피던스는 다음과 같다. 본 논문에서는 표준배치를 사용하여 특성 임피던스를 계산하였다.

$$Z_0 = \frac{1}{vC_0} \tag{1}$$

$$Z_1 = \frac{1}{v(C_0 + 3C)} \tag{2}$$

여기서,

Z_0 : 영상분 서지 임피던스[Ω]

Z_1 : 정상분 서지 임피던스[Ω]

R_1 : GIS 외함의 내측반경[mm]

R_2 : GIS 외함으로 부터 도체중심까지의 거리[mm]

R_3 : 도체 반경[mm]

C_0 : 영상분 커패시턴스[μF]

C : 정상분 커패시턴스[μF]

U : 서지 전파속도[m/s]

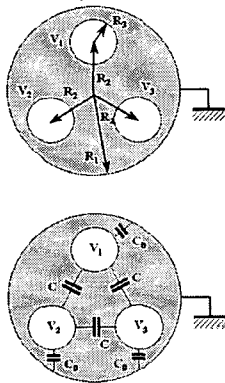


그림 3. 3상 일괄 GIS 모선
Fig 3. 3-Phase in GIS bus

GIS 모선을 모의하기 위해 3상 일괄형 모선을 ATP를 통해 실제 형상과 동일하게 모델링 하였으며, 표준배열을 사용하여 모선의 특성값을 계산하였다. 모선의 모의는 다상모델로서 그림 4에서는 ATP 선로정수 프로그램을 이용해 모델링한 3상 일괄형 GIS 모선을 나타내었다.

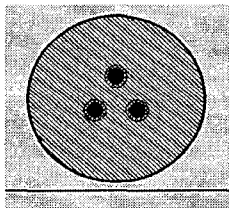


그림 4. ATP를 이용한 3상 일괄형 GIS 모선 모델링
Fig 4. GIS bus Modeling using ATP

나. 차단기

차단기는 투입과 개방시를 각각 고려한다. 차단기 개방시에는 커패시턴스가 부가되고 있으므로 이 값을 모의할 필요가 있으나 투입시에는 모선과 같게 모의한다. 또한 기중 절연 변전소의 가스 차단기는 서지 임피던스가 작기 때문에 단상 GIS와 같이 모의한다. 그림 5는 공기절연 변전소의 차단기 모델링으로 공기 절연형 차단기는 양단에 부싱이 있는 형태이며 이를 커패시턴스와 EMTP의 단상 분포정수 회로를 이용해 그림과 같이 ATP로 모의한다.

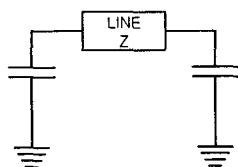


그림 5. 공기절연 변전소의 차단기 모델
Fig 5. CB model of air insulation substation

그림 6은 가스절연 변전소의 개방된 차단기 모델링이다. 가스 절연 변전소에서의 차단기 모델링은 극간 커패시턴스와 대지 커패시턴스를 π 형태로 하여 ATP로 모델링 한다.

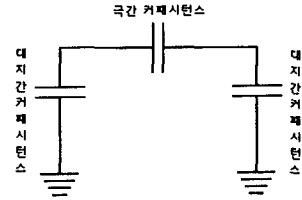


그림 6. 가스절연 변전소의 open 차단기 모델
Fig 6. Open CB model of gas insulation substation

3. 변전소 보호용 피뢰기 특성 및 모델링

피뢰기는 뇌과전압으로부터 전력용 기기를 보호하고 고장·정전 등을 예방하며, 양질의 안정된 전력을 수용가에 공급하기 위해 전력계통에 반드시 필요한 중요한 설비이다. 표 1에서는 변전소 보호용 피뢰기를 적용한 뇌서지 해석을 위해 국내에서 개발한 피뢰기 소자의 공칭방전전류에 관한 V-I 특성 분석결과를 나타내었다. 국내에서 변전소 보호용 피뢰기 개발을 위해 제작된 시료는 각각 LOT 1254, 1255, 1256이다. 각 시료를 국제 규격인 IEC60099-4의 평가항목중 주요항목인 동작개시전압측정, 제한전압측정, 동작성능에 대해 측정된 값을 근거로 하여 피뢰기 소자 36개를 적층한 완성품으로서 모의된 계통에 역섬락에 의한 뇌과전압 해석을 위해 EMTP/ATP를 사용해 비선형 저항으로 모델링 하였다. 측정된 값은 각 시료를 통해 제한 전압 값의 변화율이 5% 이내로 그 이상 변화하지 않고 8/20 μs 의 공칭방전전류를 흘려 피뢰기에 대한 동작 개시전압과 제한전압 동작성능을 측정할 것을 근거로 한 피뢰기 모델을 구성하였다. 이러한 새로운 피뢰기의 효과가 뇌서지로 인한 변전소의 변압기와 같은 주요기기의 절연을 확보할 수 있는 능력을 해석하기 위해 모의 계통에 적용하였다. 또한 보다 객관적인 소자의 특성과의 비교를 위해 표 2에서는 현재 사용 중인 A사와 B사의 V-I 특성을 나타내었다. 본 논문에서는 표 1의 특성을 피뢰기 모델링에 대한 데이터로 사용하고 표 2의 특성을 적용한 기준에 사용 중인 피뢰기와 신제품 피뢰기의 성능을 비교하여 평가하였다. 표 1의 피뢰기 소자는 소결과 같은 제작과정의 환경 조건에 따라 특성의 차이를 보일 수 있으므로 일정수의 동일한 소자를 제작하여 성능을 비교하고 평균치에 도달한 시료를 표본화할 필요가 있다. 따라서 본 논문에서는 이러한 사항을 고려하여 LOT 1254를 대표 값으로 설정하였다.

표 1. 새로운 피뢰기 V-I 특성
Table 1. V-I characteristic of new arresters

| LOT. No. | 8/20 μs | | |
|----------|--------------------|----------|----------|
| | 5kA | 10kA | 20kA |
| 1254 | 314.20kV | 331.45kV | 357.80kV |
| 1255 | 315.57kV | 333.68kV | 359.85kV |
| 1256 | 315.97kV | 334.76kV | 359.85kV |

표 2. 기존의 피뢰기 V-I 특성

Table 2. V-I characteristic of conventional arresters

| 제조사 | 계통 최고 전압 [V] | 정격 전압 [V] | 8/20 μ s | | | |
|-----|-----------------------|-----------------|--------------|---------|---------|---------|
| | | | 5kA | 10kA | 20kA | 40kA |
| A사 | 170kV | 144kV | 322kV | 339kV | 373kV | 417kV |
| B사 | 170kV | 144kV | 326.1kV | 351.0kV | 388.6kV | 441.2kV |

4. 변전소 보호용 피뢰기 특성 해석

발변전용 피뢰기의 특성 해석을 위해서는 다양한 조건들이 요구된다. 모델에 대한 구성과 해석을 위한 기본 조건으로는 뇌격, 피뢰기, 선로, 변전소구조에 따른 조건들이 있다. 각 피뢰기의 모델링은 본 논문의 3절의 표 1, 2의 데이터를 근거로 하여 신뢰성이 검증된 시뮬레이터인 EMTP/ATP를 통해 비선형 저항소자로 모델링 하였다. 이러한 피뢰기 모델링을 통해 A사, B사, LOT 1254 피뢰기 적용에 따른 특성해석을 주목적으로 하였다. 피뢰기 특성 해석을 위해서는 변전소의 형태와 구조, 변전소에 설치된 피뢰기의 위치를 변경 하여 해석하는 조건이 요구된다. 본 논문에서는 변전소 형태에 따라 공기절연 변전소와 가스절연 변전소로 해석 조건을 구분하고 피뢰기의 객관적인 성능 평가를 위해 국외 제조사인 A사 B사와 국내에서 제조된 LOT 1254와 피뢰기를 Case를 통해 비교하였다. 그리고 설치위치를 선로 인입부, 모선단, 변압기 단으로 변화하여 설치위치 영향에 따른 과전압 발생값 비교를 위해 세부적으로 Case를 설정하여 다양하게 분석하였다.

4.1 해석조건

가. 공기절연 변전소

표 3. 공기절연변전소 해석 조건

Table 3. Analysis conditions of air insulation substation

| Case 분류 | 조건 |
|---------|--|
| Case 1 | Case 1-1 A사 피뢰기 선로 인입부 설치 |
| | Case 1-2 B사 피뢰기 선로 인입부 설치 |
| | Case 1-3 LOT 1254 피뢰기 선로 인입부 설치 |
| Case 2 | Case 2-1 A사 피뢰기 변압기단 설치 |
| | Case 2-2 B사 피뢰기 변압기단 설치 |
| | Case 2-3 LOT 1254 피뢰기 변압기단 설치 |
| Case 3 | Case 3-1 A사 피뢰기 선로 인입부 + 변압기단 설치 |
| | Case 3-2 B사 피뢰기 선로 인입부 + 변압기단 설치 |
| | Case 3-3 LOT 1254 피뢰기 선로 인입부 + 변압기단 설치 |

공기절연 변전소는 구조 특성상 모선의 길이도 길고 서지 임피던스가 크다. 이와 같은 특성을 가진 공기절연변전소의 효과적인 절연설계를 위해서는 선로 인입부와 멀리 떨어져 있는 변압기의 기기보호를 위해 피뢰기의 복합 설치가 필요하다. 이러한 특성을 가진 공기절연 변전소에서 국내에서 개발된 피뢰기의 성능을 검증하고자 피뢰기 제조사인 A사 B사의 피뢰기를 각기 다른 설치위치에 따른 뇌과전압 해석 결과를 통해 피뢰기 평가를 하고자 표 3과 같은 Case를 선정하였다.

나. 가스절연 변전소

가스절연 변전소는 공기절연 변전소에 비해서 모선의 서지 임피던스가 낮고 모선길이도 짧으므로 피뢰기의 보호 범위는 확대되는 반면 기기와 모선을 일체화 되는 특성을 가진다. 따라서 사고 발생시 그 파급 효과는 공기절연 변전소의 경우보다 매우 크게 나타나며 또한 그 복구시간이 공기절연 변전소보다 오래 걸리게 된다. 따라서 이러한 특성을 가지는 가스 변전소에 A사와 B사 LOT1254 피뢰기를 설치위치를 다양하게 하여 뇌과전압 해석을 통해 나타나는 결과를 가지고 국내에서 개발된 피뢰기의 성능을 분석하고자 표 4와 같이 Case를 선정하였다.

표 4. 가스절연변전소 해석조건

Table 4. Analysis conditions of gas insulation substation

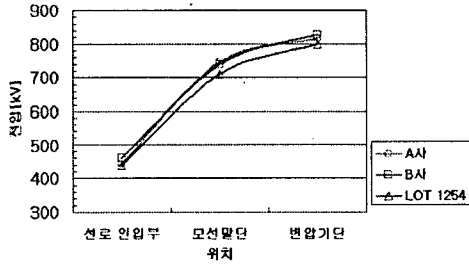
| Case 분류 | 조건 |
|---------|---------------------------------|
| Case 4 | Case 4-1 A사 피뢰기 선로 인입부 설치 |
| | Case 4-2 B사 피뢰기 선로 인입부 설치 |
| | Case 4-3 LOT 1254 피뢰기 선로 인입부 설치 |
| Case 5 | Case 5-1 A사 피뢰기 변압기단 설치 |
| | Case 5-2 B사 피뢰기 변압기단 설치 |
| | Case 5-3 LOT 1254 피뢰기 변압기단 설치 |

4.2 피뢰기 특성해석 결과

가. Case 1

Case 1은 공기절연변전소의 선로인입부에 A사와 B사의 피뢰기와 LOT 1254 피뢰기를 적용하여 뇌격 침입시 변전소에서 발생하는 뇌과전압 특성을 분석한 것이다. 그림 7에서 처럼 A사와 B사의 피뢰기와 LOT 1254피뢰기를 각각 적용하였을 때 변전소에서 발생하는 과전압의 비교 결과 편차는 크지 않았으며 LOT 1254의 과전압 차폐효과가 약간 우수함을 알 수 있다. 이러한 결과는 현재 국내에서 대부분 적용중인 A사, B사가 가지고 있는 피뢰기의 계통 보호효과 신뢰성 측면에서 비교될 수 있다. 이와 같은 결과를 통해 비교대상이 되는 LOT 1254피뢰기가 객관적으로 타사의 피뢰기와 같은 조건의 계통에 대체되어 설치 되어있을 경우 차폐효과가 같은 효과 이상을 지닐 것으로 판단된다. 추가적으로 Case 1의 결과에서 나타나는 변압기단의 과전압은 모든 경우에서 BIL

인 750kV를 초과하여 변전소 인입부외에 피뢰기 추가 설치가 필요함을 알 수 있다.

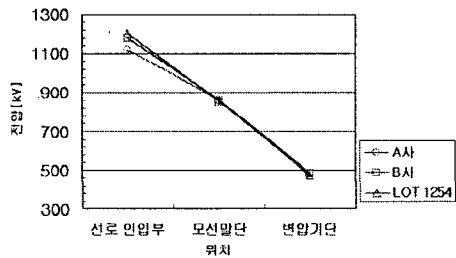


| 위치 | 선로 인입부 | 모선말단 | 변압기단 |
|-------------|--------|-------|-------|
| A사(○) | 443kV | 747kV | 815kV |
| B사(□) | 461kV | 739kV | 828kV |
| LOT 1254(△) | 439kV | 710kV | 800kV |

그림 7. Case 1의 최대 과전압
Fig. 7. Maximum overvoltage of Case 1

나. Case 2

Case 2는 공기절연변전소의 변압기단에 A사와 B사의 피뢰기와 LOT 1254 피뢰기를 적용하여 뇌격 침입시 변전소에서 발생하는 뇌과전압 특성을 분석한 것이다.



| 위치 | 선로 인입부 | 모선말단 | 변압기단 |
|-------------|---------|-------|-------|
| A사(○) | 1,121kV | 855kV | 482kV |
| B사(□) | 1,179kV | 860kV | 484kV |
| LOT 1254(△) | 1,202kV | 855kV | 472kV |

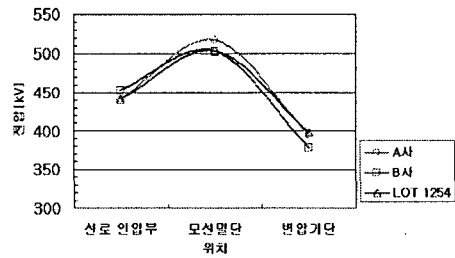
그림 8. Case 2의 최대 과전압
Fig. 8. Maximum overvoltage of Case 2

그림 8에서처럼 변전소의 주보호기기인 변압기단에 피뢰기를 설치한 결과 이 지점의 과전압은 BIL 이하를 유지하였으나 선로인입부와 모선말단에서는 BIL을 상회하는 과전압이 발생하였다. 또한 선로인입부에서 A사의 피뢰기의 차폐효과가 약간 좋았으나 LOT 1254는 A사와 B사의 피뢰기와 성능면에서 유사한 특성을 보였다. 이 같은 결과를 볼 때 피뢰기를 변압기단에만 설치하는 것은 변압기는 보호할 수 있으나 변전소의 차폐효과는 부적절함을 의미하며 이러한 결과에서 A사와 B사의 피뢰기 효과는 비슷한 것으로 나타났다. 또한 LOT 1254 피뢰기의 경우에도 같은 결과를 나타내었으나 선로인입부에서는 타사의 피뢰기 보다 23~81kV의 다소 높은 과전압 값을 나타내었다. 그러나 이를 우려할 만큼의 편차는

아니었다. 그리고 변압기단에서는 타사의 피뢰기보다 10~12kV의 추가적인 차폐효과를 나타냄으로 시뮬레이션에 나타난 과전압 값을 통해 LOT 1254 피뢰기가 Case 2와 같은 조건의 계통에 설치된다면 A사, B사의 피뢰기와 같은 차폐효과를 가질 것으로 판단되었다.

다. Case 3

Case 3은 공기절연변전소의 선로인입부와 변압기단에 A사와 B사의 피뢰기와 LOT 1254 피뢰기를 적용하여 뇌격 침입시 변전소에서 발생하는 뇌과전압 특성을 분석한 것이다. Case 1과 Case 2에서 나타난 선로 인입부, 변압기단에 BIL이 넘어서는 과전압 발생 결과와 비교를 위해 실제 계통 보호를 위한 선로인입부와 변압기단에 각사의 피뢰기를 설치분석 하였다. 실제 계통 보호를 위해 설치한 피뢰기가 인입부로 침투하는 뇌서지를 감쇠시켜 그림 9와 같이 인입부에 발생하는 과전압 뿐 아니라 모선말단과 주 보호기기인 변압기에 발생하는 과전압이 최대 517kV와 398kV로 모두 BIL 이하의 값으로 억제됨을 알 수 있다. 이와 같이 변전소의 선로인입부와 변압기단에 설치한 A사와 B사, LOT 1254 피뢰기는 과전압 차폐 성능면에서 선로 인입부와 모선 말단 변압기단 모두 유사한 결과를 나타내 피뢰기의 국산화를 위해 새롭게 개발한 제품의 특성으로 모델링된 피뢰기가 적용된 해석 결과가 기존에 계통에서 사용되고 있는 A사 B사의 피뢰기에 비해 전혀 손색이 없다고 판단되었다.



| 위치 | 선로 인입부 | 모선말단 | 변압기단 |
|-------------|--------|-------|-------|
| A사(○) | 441kV | 517kV | 394kV |
| B사(□) | 452kV | 502kV | 377kV |
| LOT 1254(△) | 440kV | 503kV | 398kV |

그림 9. Case 3의 최대 과전압
Fig. 9. Maximum overvoltage of Case 3

라. Case 4

Case 4는 국내에서 주로 사용되는 가스절연변전소에서 A사와 B사의 피뢰기와 LOT 1254 피뢰기를 선로인입부에 설치한 경우 뇌격 침입시 변전소에서 발생하는 뇌과전압 특성을 분석한 것이다. 일반적으로 가스절연변전소는 공기절연변전소에 비해 모선의 길이가 짧고 서지임피던스가 낮은 특성이 있다. 이로 인해 그림 10에서처럼 변전소의 인입부에 설치된 피뢰기에 의해 뇌서지는 최대 452kV로 여유있는 차폐 결과를 나타내었으며 선로 인입부 뿐만 아니라 모선말단, 변압기단에서 모두 BIL인 750kV이하의 과전압을 보이고 있다. 결과에서 비교가 되고 있는 A사와 B사의 과전압 발생 결과를 보면 모선 말단, 변압기단, 선로 인입부 순으로 과전압 값

을 나타냈으며 A사와 LOT 1254 피뢰기는 모선말단에서 524kV로 B사의 피뢰기에 비해 약간 높은 값을 보였으나 편차가 크지 않고 기존에 국내에서 사용중인 A사와 LOT 1254 피뢰기가 같은 과전압 값을 가지므로 제품의 성능으로서 손색되는 값은 아니었다. 또한 선로인입부와 변압기단에서는 각각 357kV와 446kV로 가장 낮은 과전압을 보여 기존의 A사나 B사에 비해 뒤쳐지지 않아 동급 수준의 피뢰기 성능을 가지고 있는 것으로 판단되었다.

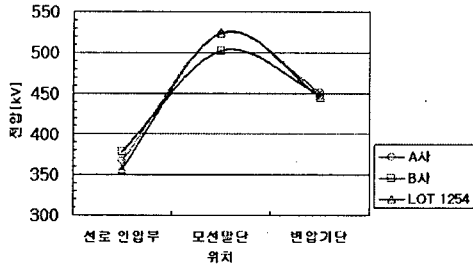


그림 10. Case 4의 최대 과전압
Fig 10. Maximum overvoltage of Case 4

마. Case 5

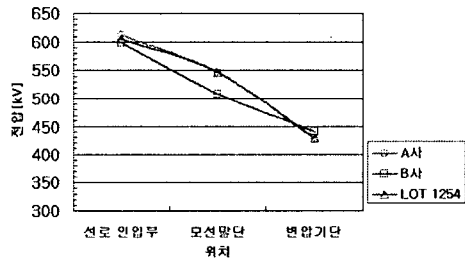


그림 11. Case 5의 최대 과전압
Fig 11. Maximum overvoltage of Case 5

Case 5는 가스절연변전소의 변압기단에 A사와 B사의 피뢰기와 LOT 1254 피뢰기를 적용하여 뇌격 침입시 변전소에서 발생하는 뇌과전압 특성을 분석한 것이다. Case 5의 경우는 Case 4와는 달리 인입부에서 침투하는 뇌서지가 적절히 차폐되지 못하고 변압기단으로 유입되므로 그림 11과 같이 선로 인입부에 높은 과전압이 발생하는 것을 알 수 있다. 따라서 가스절연변전소에서는 피뢰기를 변압기단 보다는 선로 인입부에 설치하는 것이 더욱 효과적이라는 것을 알 수 있

다. 또한 이러한 Case5 결과에서 B사가 가장 우수한 차폐효과를 나타내었다. LOT 1254는 국내에서 많이 사용되고 있는 A사 피뢰기와 유사한 특성을 보여 선로인입부와 모선말단, 변압기단에서 각각 605kV와 546kV, 429kV의 과전압이 발생되어 BIL인 750kV 이하의 과전압 발생 값을 보였다. 특히 A사와 LOT 1254의 피뢰기가 최대 7kV의 편차를 나타내어 동등한 차폐효과를 가지고 있음을 알 수 있다. A사와 LOT 1254 피뢰기가 동등한 과전압 발생값을 보이는 것이 의미하는 바는 기존에 많이 사용되어 신뢰성이 입증된 기존의 A사 피뢰기와 견주어 LOT 1254가 계통에 같은 조건으로 적용되었을 경우 차폐 신뢰성을 확보할 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 논문에서는 국내 기술에 의해 개발된 154kV 변전소 보호용 피뢰기의 서지 차폐효과를 검증하기 위해 국내 상업 전력회사에 사용되어 이미 그 신뢰성이 입증된 A사, B사 피뢰기와 국내에서 개발된 피뢰기의 서지특성을 공기절연변전소와 가스절연변전소의 변전소 구조 및 피뢰기 설치위치에 따라 다양한 검토 케이스를 설정하여 비교 검토하였다. 이를 통해 국내 기술에 의해 개발된 피뢰기소자의 성능이 기존의 A사나 B사에 비해 뒤떨어지지 않음이 입증됨으로써 본 논문의 연구결과는 추후 변전소 보호용 피뢰기의 국산화에 기여할 것으로 사료 된다. 본 연구를 통해 얻은 결과를 요약하면 다음과 같다.

공기절연변전소의 선로인입부와 변압기단에 피뢰기 설치시 나타난 과전압 해석 결과와 가스절연소의 피뢰기 설치를 통해 나타나는 과전압 해석결과를 볼 때, 변전소 전반에 걸쳐 나타나는 과전압 값이 BIL값 이하로 유지됨으로써 기존의 피뢰기를 일괄 설치하여 얻은 결과와 견주어 실질적인 조건과 동등한 환경 하에서 A사, B사 및 LOT 1254는 성능면에서 유사한 특성을 갖고 있음을 확인하였다. 이는 국내에서 개발된 피뢰기 제품의 신뢰성이 기존에 사용되었던 피뢰기 제품과 동급임을 보여주는 결과라고 사료된다.

추가적으로 공기절연변전소는 선로인입부와 변압기단에서 동시에 피뢰기를 설치하는 것이, 가스절연변전소에서는 선로 인입부에만 피뢰기를 설치하였을 때 100kA의 뇌격이 송전계통에 침입할 때 변전소내 뇌과전압이 BIL이하의 안정적 전압으로 유지됨을 검증하였다.

감사의 글

이 논문은 2006년도 원광대학교의 교비지원에 의해서 수행됨

참 고 문 헌

[1] 한국전기연구소, “뇌서지가 전력계통에 미치는 영향에 관한 연구”, 1988. 3.
[2] 電力中央研究所, 變電所耐雷設計ガイドブック”, 研究報告 No.175034, 1976.

- [3] 한국전기연구원, “발변전용 좌립형 피뢰장치 설계 및 제조기술 개발”, 2006. 4
- [4] Hideki Motoyama, Hiroji Matsubara, “Analytical and Experimental Study on Surge Response of Transmission Tower”, IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 15, No. 2, 2000. 4
- [5] 電氣學會技術報告, “發變電所の雷サージ解析における各種パラメータとその影響”, 1989. 6.
- [6] 우정욱, 심응보, “LPATS에 의한 7년간의 한반도 뇌격 특성분포”, 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 2003.
- [7] 耐雷技術委員會發變電所分科會, “發變電所侵入雷サージの實用的解析手法とその適用”, 1991. 3.
- [8] 김재관, 정채균, 이중범, 조한구, 서재호, “송전계통 및 변전소 뇌서지 보호방안 연구”, 대한전기학회 논문지 54C권 6호, 2005. 6
- [9] M. Savic, Z.stojkovic, “High voltage substation equivalent circuits in the lightning performance estimation,” Generation, Transmission and Distribution”, IEE Pro Vol. 141, Issue 2, Mar 1994 .
- [10] 電氣學會技術報告, “雷サージ評価高度化のためのモデリング”, 1998. 10.
- [11] 한전 기술연구원, “電力系統過度解析프로그램의 理論 및 活用に 關한 研究”, 最終報告書, 1991.

저 자 소 개



윤 창 섭 (尹 昶 燮)

1980년 12월 8일생. 2006년 원광대 공대 전기전자 및 정보공학부 졸업. 2006년~현재 동 대학원 전기공학과 석사과정.

Tel : 063-850-6735

E-mail : ziben@hanmail.net



이 중 범 (李 鍾 範)

1955년 7월 12일생. 1981년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1986년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1987~1990년 한국전기연구원 지중송전연구실 실장. 현재 원광대 공대 전기전자 및 정보공학부 교수.

Tel : 063-850-6735

E-mail : ipower@wonkwang.ac.kr



조 한 구 (趙 漢 九)

1959년 4월 14일생. 1984년 성균관대 공대 전기공학과 졸업, 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사), 1992년 전기기기 기술사, 1996년 동대학원 전기공학과 졸업(공학박), 1999년~2000년 동서대학교 전자기계공학부 겸임교수, 현재 대한전기학회 전기물성 응용위원회 사업이사, 한국전기연구원 책임연구원.

E-mail : hgcho@keri.re.kr