

## 400 kV급 상분리형 GIS의 기기 BIL 산정을 위한 뇌과전압해석

강연욱, 곽주식, 주형준, 권동진, 심응보  
한전 전력연구원

### Lightning overvoltage analysis of 400kV separated GIS for BIL selection

Y.W. Kang, J.S. Kwak, H.J. Ju, D.J. kwan E.B. Shim  
KEPRI

**Abstract** - 경제성장에 따른 인구의 집중화 및 도시기능의 고도화에 따라 전력기술분야의 많은 변화를 요구하게 되었다. 좁은 지역에 대용량의 전력을 안정적으로 공급하면서 환경과의 조화를 이루기 위하여 SF6개스를 이용한 개스절연개폐기(GIS)의 이용이 증가하였다. 이 논문에서는 중동국가에서 많이 건설되고있는 400kV 개스절연 변전소의 절연협조를 위하여 일반적으로 변전소 뇌과전압에 영향을 미치는 요소인 모선형태 및 구성, 피뢰기의 위치와 설치대수, 피뢰기의 제한 전압-전류특성, 모선의 길이, 피뢰기와 피보호기간의 이격거리 등을 고려하여 뇌침입시 변전소의 뇌과전압을 EMTP로 모의하여 개스절연변전소의 기기 절연강도를 결정하였다. 결정된 절연강도는 위의 모의결과로 얻어지는 발생예상 전압에 적절한 여유를 두고 IEC규격을 따라 선정하였다.

## 1. 서 론

최근 중동의 국가들에서 경제성장에 따른 인구의 집중화 및 도시기능의 고도화에 따라 전력기술분야의 많은 변화를 요구하게 되었다. 좁은 지역에 대용량의 전력을 안정적으로 공급하면서 환경과의 조화를 이루기 위하여 SF6개스를 이용한 개스절연개폐기(GIS)의 이용이 증가하였다. 도심지 인구집중으로 전력수요의 밀도가 급격히 높아짐에 따라 400kV의 전력 시스템을 구성하고 있다. 전력 시스템의 전압이 높아짐에 따라 절연의 경비가 크게 증가하고 있다. 400kV 송전 시스템 이들 중동국가들의 전력 시스템의 기반이 될 것이며 따라서 좀더 높은 전력신뢰도를 필요로 한다. 이를 위하여 과전압을 효과적으로 제한하는 방법으로 합당한 절연설계와 절연협조를 필요로 한다.

이 논문에서는 400kV 송전시스템의 과도현상과 절연협조의 기준을 고려하였다. 400kV 송전시스템의 절연협조의 과정은 몇가지 고려사항들이 있으나 이 논문에서는 400kV 개스절연 변전소의 절연협조를 위하여 일반적으로 변전소 뇌과전압에 영향을 미치는 요소인 모선형태 및 구성, 피뢰기의 위치와 설치대수, 피뢰기의 제한 전압-전류특성, 모선의 길이, 피뢰기와 피보호기간의 이격거리 등을 고려하여 뇌침입시 변전소의 뇌과전압특성을 해석 하였다. 신뢰할 수 있는 결과를 얻기위하여 첩탐모델을 3단자모델로 하고 EMTP의 TACS 모델을 사용하여 동적인 아크 특성을 모의하였다..

## 2. 본 론

### 2.1 해석에 사용된 기준모델

변전소에 침입하는 뇌격에 대비한 변전소의 절연설계는 뇌격의 크기, 극성, 파두장, 송전선의 도체배치, 뇌격지점, 탐각 접지저항등의 여러 가지 파라미터에 의해 영향을 받으며 특히 변전소의 구조와 운전조건에 따라 영향을 크게 받는다. 변전소의 구조와 기기배치가 달라

짐에 따라 이러한 용인들을 고려하여 뇌과전압을 검토하였다.

### 2.1.1 뇌격전류 모델

변전소에 가까운 첫 번째 첩탐에 뇌격이 침입하여 역섬락되어 변전소로 침입하였다고 가정하고 뇌전류의 크기는 170kA 최대값에 1us의 파두장과 70us의 파미장을 갖는 것으로 가정하였다. 다음 표 1에 해석에 사용된 기준모델로 적용한 파라미터를 요약하였다.

표 1. 기준모델로 사용한 파라미터

|      | 적용 파라미터 | 기준모델                            | 비고            |
|------|---------|---------------------------------|---------------|
| 뇌격조건 | 뇌격전류크기  | 170kA                           |               |
|      | 파두장     | 1/70 $\mu$ s 삼각파                |               |
|      | 상용주파중첩  | 중첩없음                            |               |
|      | 뇌격지점    | 1번 첩탐의 탐정                       |               |
| 송전설비 | 송전선 모델  | Line constant                   |               |
|      | 선종, 도체수 | ACSR 410 $\mu$ ,<br>3 conductor | K.C.LEE Model |
|      | 첩탐, 경간  | Three step ,500m                | Hight 51m     |
|      | 탐각접지저항  | 10 $\Omega$                     |               |
| 변전설비 | 회로조건    | Single circuit/<br>GIS          |               |
|      | 개스절연모선  | No                              |               |
|      | 피뢰기특성   |                                 |               |

### 2.1.2 송전선로와 송전첩탐모델

해석에 사용된 송전선로 모델은 410  $\mu$  ACSR 3번들 도체를 40cm의 간격을 갖는 송전선과 ACSR 97 $\mu$  의 가공지선으로 구성되었다. 평균 경간은 500m로 가정하고 송전첩탐은 변전소로부터 5기가 구성되었다고 가정하고 나머지 첩탐은 등가 매칭 resistance로 모델링 하여 진행파의 반사를 방지하였다. 실제의 계산에서는 EMTP를 이용하여 LINE CONSTANT 모델로 값을 계산하였다. 그림1에 해석에 변전소의 등가를 보여준다. 뇌과전압의 해석에서는 매우 높은 서지 주파수를 갖기때문에 주파수독립 K.C.LEE 모델이 이용되었다. 송전첩탐의 탐각접지저항은 10 $\Omega$ 을 사용하였다. 첩탐모델은 아킹흔에서 보여지는 낙뢰 서지의 모양에 영향을 크게 주게된다. 따라서 정확한 모델링을 위하여 3단 첩탐모델을 사용하여 첩탐 암간의 길이를 기준으로 등가저항, 등가인덕턴스, 등가 서지임피던스의 조합으로 송전첩탐을 등가하였다. 그림 2에서 사용된 400kV 송전첩탐의 모델을 보여준다.

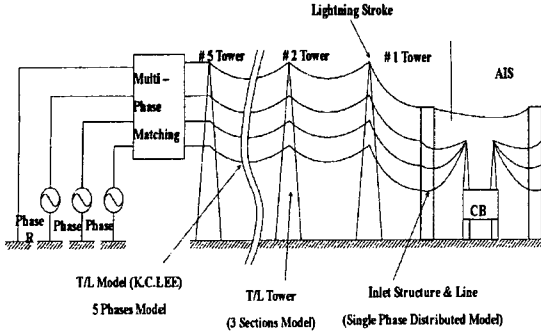


그림 1. 해석에 사용된 송전선로, 송전철탑 구성 모델

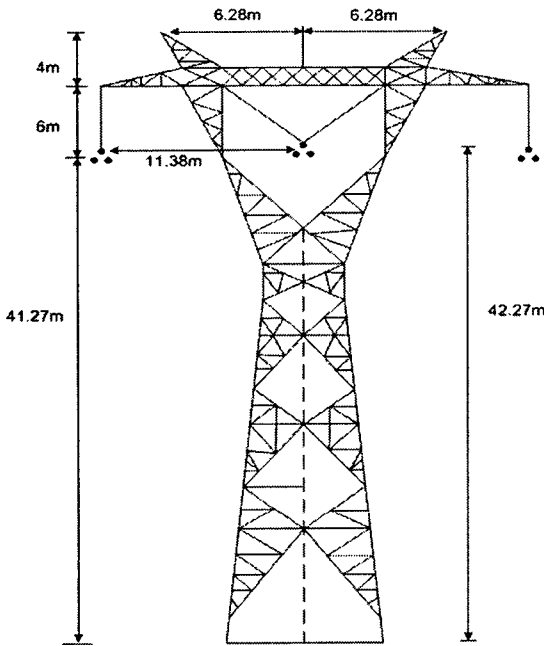


그림 2. 등가 철탑모델

### 2.1.3 EMTP/TACS 아킹흔 등가모델

역섬락에 크게 영향을 주는 아킹흔의 썸 모델은 시간에 의한 스위치와 아크 인턴턴스 모델로 등가될 수 있다. 시간에 의한 스위치보다 아크 인턴턴스 모델이 동적인 아크 특성을 잘 반영할 수 있다. 이 논문에서는 400kV의 실제 현장 데이터의 부재로 인하여 아크 인턴턴스 모델로 아킹흔을 모의하였다. 그림 3에 아크 모델의 TACS 구성을 제안한다.

### 2.1.4 변전소 배치와 동작 조건

모의에 사용된 변전소 서지 임피던스는 EMTP의 LINE CONSTANT를 이용하였다. 해석에 사용한 변전소는 상분리형 모선방식이며 SF6개스를 이용한 개스절연개폐기(GIS)형태이다. 뇌전압이 변전소 구내 침입시 가장 혹독한 경우의 동작 조건을 모의하기위해 여러형태의 연결을 가정하였다. 그림 4는 모델로 사용한 변전소의 형태를 보여주고 있다. 각각의 경우 BUS1,2,3,4를 연결한 경우와 BUS에 피뢰기 설치 유무시, 변압기 1차측의 피뢰기 유무의 경우, 그리고 인입부 피뢰기 유무의 경우등 여러 연결조건을 가정하여 뇌전압의 침입시 과전압의 크기를 검토하였다.

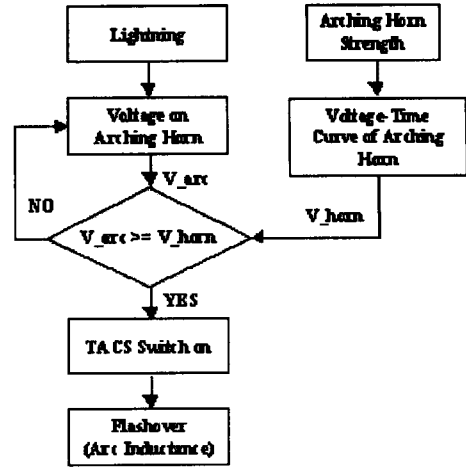


그림 3. 아크 모델의 구성 순서도

### 2.1.5 피뢰기 특성조건

모의에 사용된 피뢰기 특성은 표2, 표3과 같이 모델링하였다. 400kV 피뢰기의 특성과 내압특성은 EMTP MODLES 로 등가하여 모의하였다.

표 2. 400kV 피뢰기 특성

| System Voltage [kV] | Voltage rating [kV] | MCOV [kV] | Nominal discharge current [kA] | Residual Voltage [kV] | Line discharge class [kV] |
|---------------------|---------------------|-----------|--------------------------------|-----------------------|---------------------------|
| 400                 | 312                 | 253       | 20                             | 807                   | 4                         |

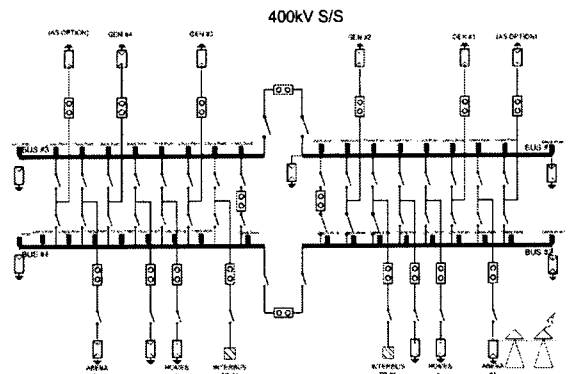


그림 4. 모의된 변전소 등가 모델과 피뢰기 위치도

표 3. 400kV 피뢰기 내압 특성

| System Voltage [kV] | Voltage rating [kV] | MCOV [kV] | Steep front wave [kV] | Lightning impulse [kV] | Switching impulse [kV] |
|---------------------|---------------------|-----------|-----------------------|------------------------|------------------------|
| 400                 | 312                 | 253       | -                     | 807                    | 800                    |

## 3. 검토 결과

400kV 변전소에 침입한 뇌서지전압이 피뢰기의 특성, 설치 장소, 설치 개수에 따른 과전압의 크기를 검토

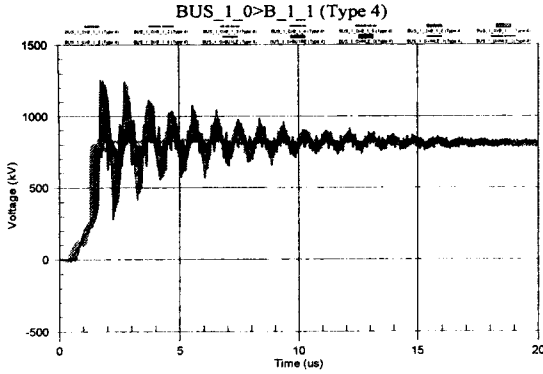


그림 5. 인입부 피뢰기 설치시 과전압

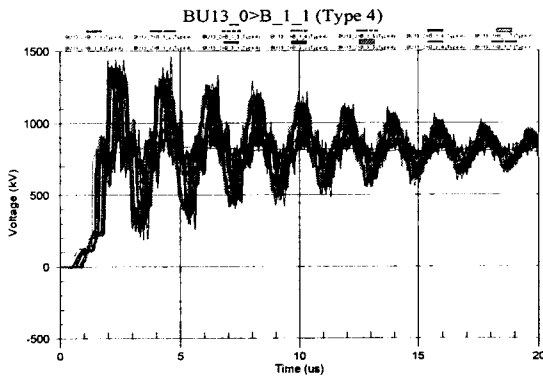


그림 6. BUS1, BUS2연결후 피뢰기미설치시 과전압

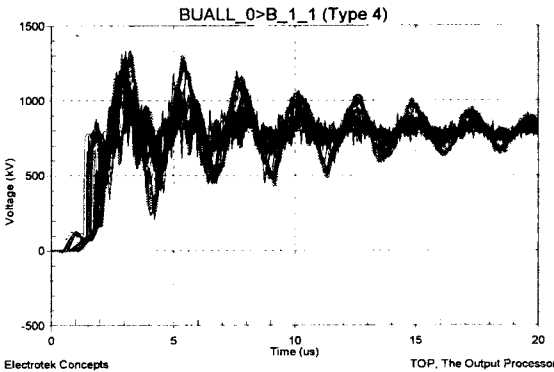


그림 7. BUS1,2,3,4 연결후 피뢰기미설치시 과전압

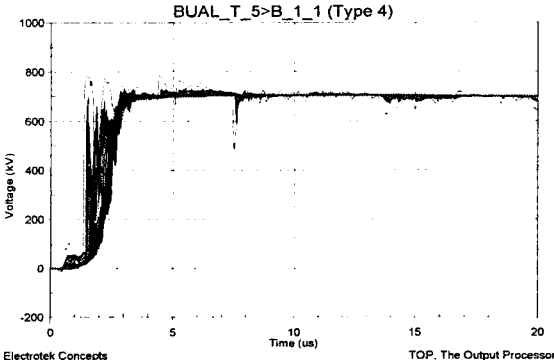


그림 8. 모선피뢰기 설치시 과전압

하였다.

혹독한 경우의 모의를 위하여 인입부만 피뢰기 설치시의 과전압을 검토하였다. 그 결과 인입부와 모선 사이에 최대 크기의 과전압이 1,259kV로 그림 5의 결과를 얻었다. 인입부의 연결부에만 과전압을 억제시키기 위해 피뢰기를 설치하고 모선 BUS1과 BUS2를 연결하였을 경우 과전압은 1,463kV로 모선을 연결하지 않았을 경우보다 뇌서지의 투반사로 인한 과전압이 증가되게 된다. 그림 6에 그 파형을 보여준다. 인입부에 피뢰기를 설치하고 모선연결(BUS1, BUS2) 후 피뢰기를 모선끝에 설치시 뇌서지에 의한 과전압은 968kV로 피뢰기 설치 전보다 500kV의 전압이 감소된다. 모선이 모두 연결되어 운전되는 상태에서 피뢰기 미설치시 과전압은 1,338kV로 증가되었다. 그림 7에 그 파형을 보여준다. 모선이 모두 연결되어 운전시 피뢰기를 모선끝단에 모두 설치하면 최대 과전압은 733kV로 감소되어 피뢰기 미설치시 전압보다 600kV가 감소된다. 그림 8에 그 파형을 보여준다. 변전소의 과전압을 억제하기 위하여 피뢰기를 모선에 설치 하여야 과전압의 크기를 억제하여 변전소 절연레벨을 낮출 수 있다. 그러기 위해 다음과 같은 피뢰기의 설치조건이 충족되어야만 한다.

- 인입부 철탑측
- 인입부 철탑과 버스 연결부
- 각 모선의 말단
- 변압기의 1차측

표 4에서 피뢰기설치시 최대과전압과 BIL을 1,550kV로 설정시 margin을 정리하였다.

표 4. 피뢰기 설치시 최대과전압

|         | 계산된 전압값 [kV] | BIL [kV] | margin [%] |
|---------|--------------|----------|------------|
| 인입부     | 843          | 1,550    | 58         |
| 모선부     | 846          | 1,550    | 57         |
| 변압기 1차측 | 785          | 1,425    | 47         |

#### 4. 결 론

400kV 변전소의 뇌침입시 과전압을 제안된 피뢰기의 설치후 최대과전압은 BIL을 1,550kV로 만족한다.

- 인입부의 최대 과전압의 크기는 843kV로 BIL값 1,550kV의 58%의 마진을 갖는다.
- 모선의 최대 과전압의 크기는 846kV로 BIL값 1,550kV의 57%의 마진을 갖는다.
- 변압기 1차측의 최대 과전압의 크기는 785kV로 변압기 BIL 1,425kV의 47%의 마진을 갖는다.
- 모든 부분의 최대 과전압이 BIL값을 만족한다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] A. R. Hileman, "Insulation Coordination", ABB Power Systems Inc., 1991
- [2] EPRI, "Transmission Line Reference Book 345 kV and Above", 2nd Edition, 1982
- [3] EMTF Rule Book, ATP Salford Version, 1987
- [4] Dr. Masaru Ishii, "Evaluation of Lightning Fault Rate of ELIV transmission Line Based on Lightning Parameters Derived from Electromagnetic Field Observation", JIEE 111-5, 1991
- [5] Akhiro Ametani, "Distributed Parameter Circuit Theory", Tokyo, Japan, 1990