

# 변전설비 간 상호작용을 고려한 지진응답해석 Seismic Analysis of Substation Facilities Considering Interaction Effect

장정범\*                      황경민\*\*                      서용표\*\*\*                      이근직\*\*\*\*  
Jang, Jung Bum              Hwang, Kyeong Min              Suh, Yong Pyo              Lee, Guen Jig

## ABSTRACT

765kV substation facilities are most important as electric power supply network in the 21 century. So, in order to prevent interruption of electric power supply under earthquake, 765kV substation facilities have to secure the safety against the earthquake. However, even though each substation facility is interconnected mutually, seismic interaction effect doesn't be considered in the initial design. Therefore, seismic capacity evaluation of 765kV substation facilities is carried out considering the seismic interaction effect on a basis of seismic design criteria for Korean transmission and substation facilities.

## 1. 서론

1990년대 후반에 들어서면서, 한반도 주변 국가인 대만, 일본 및 중국 등에서 발생한 대규모 지진으로 인하여 전력설비에 큰 피해가 발생한 바 있으며, 국내에서도 홍성지진(1978), 백령도지진(1995), 영월지진(1996), 경주지진(1997), 울진지진(2004)과 같은 중소 규모의 지진활동이 증가 추세에 있어 전력설비와 같이 지진피해 발생 시 파급효과가 큰 주요 산업설비에 대한 정부 및 산업계의 체계적인 대책 수립이 요구되고 있다.

특히, 765kV 변전설비는 기존 154kV 및 345kV 변전설비에 비하여 그 중요성이 매우 큰 설비로서 이들 설비가 지진으로 인한 피해를 입을 경우, 직접적인 경제적 손실의 정도가 매우 심각할 것으로 예상된다. 또한, 변전설비의 가동 정지로 인한 전력의 공급 중단 등이 초래하는 2차적 파장은 사회 전반에 걸쳐 더욱 더 증폭될 것으로 예상되므로, 신규 건설되는 변전설비에 대한 내진성능 확보뿐만 아니라 기존 변전설비에 대해서도 체계적인 내진성능 평가를 수행하여, 향후에 발생

\*    정회원, 한전 전력연구원 책임연구원

\*\*   한전 전력연구원 일반연구원

\*\*\* 한전 전력연구원 책임연구원

\*\*\*\* 한전 송변전건설처 과장

가능한 지진에 대비할 필요가 있다.

그러나, 기존에 운영중인 765kV 변전설비는 그 구조특성 상 변전설비가 상호 연결되어 있음에도 불구하고 변전설비를 개별적으로 내진설계함으로써 지진하중 하에서 이웃 설비의 상호영향을 고려하지 못하고 있다. 따라서, 본 연구에서는 2001년에 수립된 송변전설비 내진설계기준을 근간으로 하여 기존에 운영중인 대표적인 765kV 변전설비를 대상으로 지진하중 하에서 변전설비 간 상호작용을 고려하여 내진성을 평가하였다.

## 2. 내진성능평가 대상설비

765kV 변전소는 기기배치 설계 시 어떠한 경우에도 변전소 전체가 정전되거나 765kV Route 단절이 발생하지 않도록 고려되었으나, 지진으로 인한 변전설비의 피해는 변전소 내 전 설비에 영향을 주기 때문에 765kV 변전소의 설계개념이 상실된다. 따라서, 765kV 변전소의 설계개념을 유지하고 전력공급의 안정화를 위하여는 765kV 변전소 내 설비에 대한 내진성능 평가와 지진에 취약한 설비에 대한 내진성능 개선은 필수라고 할 수 있다.

본 연구에서는 지진발생 중 또는 후에도 765kV 변전소의 고유 기능을 수행하는데 필요한 핵심 기기를 내진성능 평가대상 기기로 정의하고 있다. 이러한 정의에 따라 765kV 변전소 설계자료의 분석과 변전소 운영자와의 현장조사 및 인터뷰 등을 통하여 내진성능 평가대상 기기를 선정하였다.

본 연구에서 대상으로 하는 주요 내진성능 평가대상 기기는 다음과 같다.

- 주변압기
- 분로리액터
- 800kV, 362kV, 25.8kV 가스절연개폐장치
- 보호배전반
- 축전지와 지지대
- 소내 전원설비
- 765kV, 345kV 인출입철구

본 연구에서는 상기의 내진성능 평가대상 설비 중, 765kV 주요 변전설비가 대부분 포함되어 있는 가스절연개폐장치를 내진성능 평가대상으로 하였다. 그림 1 은 가스절연개폐장치 내 주요 변전설비들을 도시하고 있다.

## 3. 지반응답스펙트럼

### 3.1 내진성능 평가기준

본 연구에서는 765kV 변전설비의 내진성능을 평가하기 위해 한국전력공사가 2001년에 수립한 "송변전설비 내진설계기준"에서 제시하고 있는 표준설계 응답스펙트럼을 내진성능 평가를 위한 표준지반응답스펙트럼으로 고려하였다.

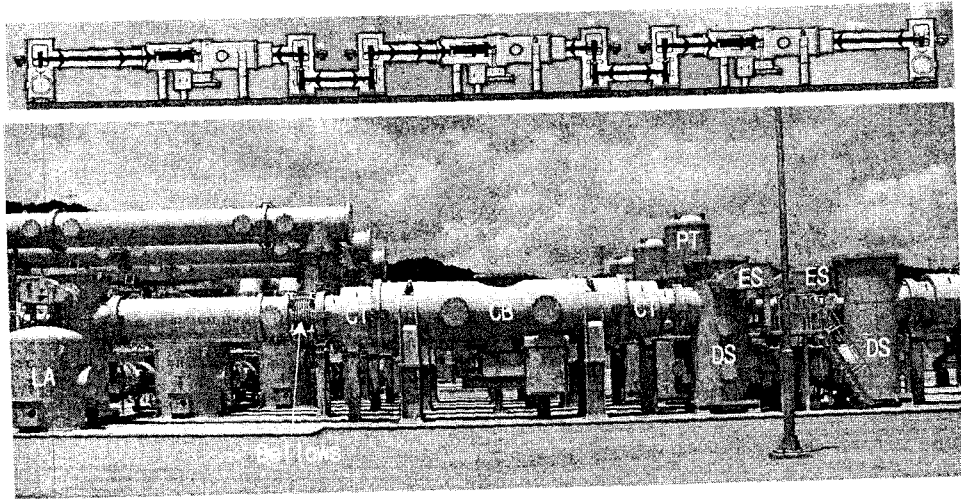


그림 1. 가스절연개폐장치 내 주요 변전설비

송변전설비 내진설계기준에 따르면, 765kV 변전설비는 내진 1 등급으로 분류되고, 붕괴방지 수준의 단일성능기준이 적용된다.

### 3.2 지반분류

본 연구에서는 대상 변전소 부지의 지반조사보고서에 제시된 표준관입시험 결과를 통하여 지반의 강도를 구하였다. 표 1 은 대상 변전소 부지의 표준관입시험치를 심도별로 나타낸 것으로 상부 30 m 에 대한 평균 지반특성을 기준으로 할 때 본 대상 부지는 S<sub>B</sub> 등급 이상의 단단한 암반 지반으로 분류될 수 있음을 알 수 있다.

표 1. 대상 변전소 부지의 지반 프로파일

심도 (Depth)	표준 깊이	B-1	B-2	B-3	B-4	B-5	B-6	B-7	B-8	B-9	B-10	B-11	B-12	B-13	B-14	B-15	B-17	B-18	S-1	S-2	S-3	S-4	S-5		
1.0M	1.0	17	214	500		52	48	136	375	10	37	188	100	214	375	25	79	375	375	107				79	
3.0M	2.0	27	115			56	188	17	150	214	63	214	52	25	52	71	375	20	300	100	21			71	
4.0M	1.0		300			125	16	500	188	750	125	250	56	31	68	107									
6.0M	2.0	214	198			150	75	375	500	500	167	300	83	29	94	188			94		125	60		125	
7.0M	1.0	125	198			188	250	500			167	500	300	22	75	375			150					100	
9.0M	2.0	107									214		375	29	71				500						
10.0M	1.0	115				375	500				214		500	29	71										
12.0M	2.0	136				500					250		375	28	88										
13.0M	1.0	167																							
15.0M	2.0														35	64									
16.0M	1.0														66										
18.0M	2.0														63										
19.0M	1.0														100										
21.0M	2.0														375										

### 3.3 지반응답스펙트럼

765kV 변전설비의 내진성능 평가를 위한 지반응답스펙트럼은 대상 변전소의 지반특성을 나타내

는  $S_B$  지반에 대해 도출하였고, 개별 설비에서 나타날 수 있는 모든 감쇠비를 포괄하기 위하여 2%, 3%, 5%, 7%, 10% 의 감쇠비를 고려하였다. 그림 2 는 평가 대상 변전소의 지반응답스펙트럼을 도시하고 있다.

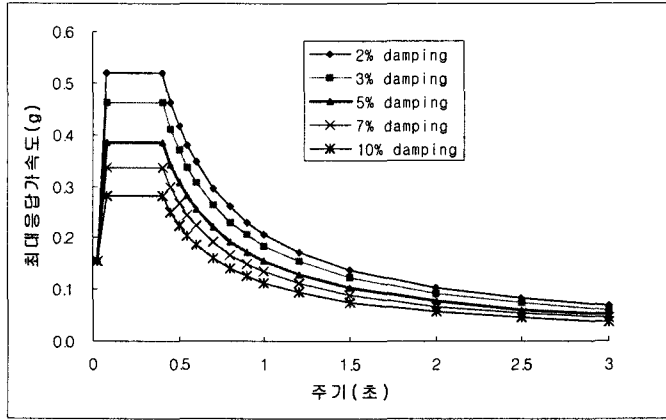


그림 2. 평가대상 변전소 부지의 지반응답스펙트럼

#### 4. 지진응답해석

##### 4.1 현장확인조사

실제적인 내진해석모델을 구축하기 위하여 대상 변전설비에 대한 현장조사를 실시하였다. 현장 조사 과정에서 변전설비의 설치상태와 지진에 의한 주요 파손모드를 파악하였고, 또한 설계과정에서 고려하지 못했던 설비 간 동적 상호작용 가능성을 추가적으로 검토함으로써 내진해석모델의 범위를 결정하였다.

765kV 변전설비 중 그 대부분을 차지하는 가스절연개폐장치(GIS)는 차단기(CB), 단로기(DS), 변류기(CT), 피뢰기(LA), 계기용 변압기(PT), 접지개폐기(ES) 등의 핵심설비들을 금속제 탱크 내에 일괄 수납한 개폐장치로서 구조특성 상 그 지지대 위치와 강성이 서로 다를 뿐만 아니라 고정 지점과 활동지점이 고루 배치되어 지진하중 하에서 매우 취약한 설비로 나타날 가능성이 매우 높다. 따라서, 이러한 변전설비의 특성을 감안해서 해당 변전소를 대표할 수 있는 특정 GIS 라인을 선정하고, 이를 내진해석모델로 선정하였다. 또한 GIS 곳곳에 열응력에 의한 변형을 수용하기 위하여 벨로우즈를 설치함으로써 본 연구에서는 내진해석모델 구축 시 벨로우즈 설치 위치를 기준으로 내진해석모델을 분할하였다.

##### 4.2 내진해석모델

765kV 변전소 내의 주요 변전설비들은 일체로 통합된 하나의 GIS로 연결되어 있어 이웃한 변

전설비간에 지진에 의한 상호작용이 발생하게 된다. 따라서 개별 설비에 대한 지진응답해석 만으로는 합리적인 지진하중을 산출하지 못하므로 주요 설비를 포함하는 전체 GIS에 대한 내진해석모델을 구축하였다. GIS는 벨로우즈를 경계로 좌, 우측 설비 및 가스절연모선(GIB)이 상호 영향을 미치지 않기 때문에 내진해석모델 작성 시 GIS에 설치된 벨로우즈를 경계로 내진해석모델을 구분하였고, 개별 설비 위치에서의 지진응답을 도출하도록 해당 설비위치에 절점을 두었다.

내진해석모델은 보 요소(Beam element)를 이용한 집중질량모델을 사용하였고, 기기 자체 중량과 지지구조물의 중량은 자중으로 간주하였다. 전체 GIS의 감쇠비는 5%로, 프레임 지지대의 지지조건은 고정단으로 가정하였다.

본 연구에서는 대상 변전소의 한 GIS 라인에서 2 개의 내진해석모델을 구축하였으나, 본 논문에서는 이 중 대표적인 한 개의 내진해석모델에 대한 지진응답해석결과를 나타내었다. 그림 3 은 GIS 의 한 내진해석모델을 보여주고 있으며, 이 모델에는 CB, DS 및 PT 등의 주요 변전설비를 포함하고 있다. 표 2 는 내진해석모델에 반영된 재료의 특성을 나타내고 있다.

표 2 재료특성

설비명	재질	탄성계수 (kgf/cm <sup>2</sup> )	단위중량 (10 <sup>-3</sup> kgf/cm <sup>3</sup> )	프아송비	허용응력 (kgf/cm <sup>2</sup> )
2000A GIB	STS304	2,038,900	7,833	0.3	4,100
CB	STS304	2,038,900	7,833	0.3	4,100
DS	A5083	724,000	2,660	0.3	2,800
PT	A5083	724,000	2,660	0.3	2,800
프레임 지지대	A36	2,038,900	7,833	0.3	2,500
지지볼트	SS400	2,038,900	7,833	0.3	4,100

### 4.3 해석결과

#### 4.3.1 모드해석

내진해석모델의 적정성과 해석방법을 결정하기 위하여 모드해석을 수행하였다. 모드해석결과, 주요 고유진동수가 1 ~ 6 Hz 로서 연성거동을 함에 따라 본 평가대상 변전설비는 증폭된 지진가속도를 받는 것으로 나타났으며, 이에 따라 응답스펙트럼해석을 수행하였다.

#### 4.3.2 변전설비 지지부의 안전성

본 내진성능평가에서 주요 관심을 갖는 부분은 변전설비를 고정하고 지지하는 앵커볼트의 안전성이다. 그 이유는 변전설비 자체는 강성이 매우 크고 보수적으로 설계되어 높은 안전률을 지니고 있어 변전설비의 주요 파손모드가 대부분 지지부에서의 파괴로 나타나기 때문이다. 따라서,

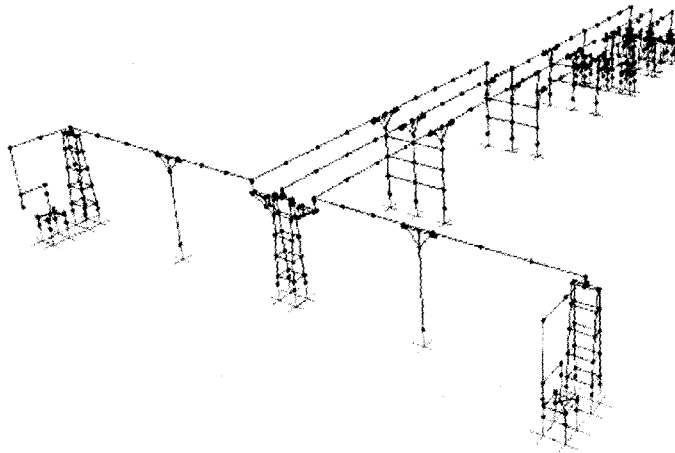
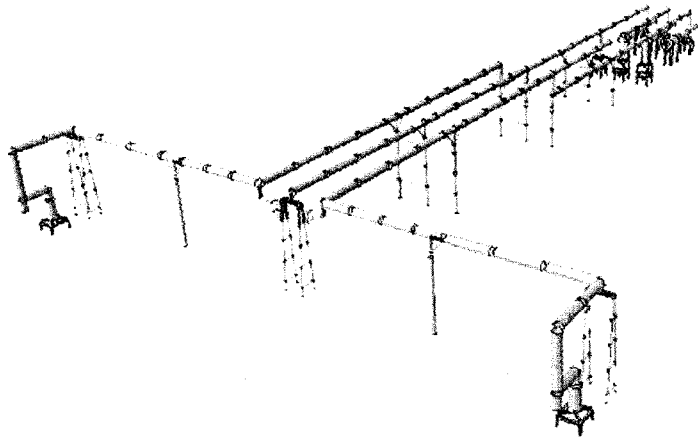


그림 3. GIS 의 내진해석모델

본 연구에서는 각 변전설비를 고정하고 지지하는 앵커볼트에 대한 안전성을 평가하였다.

평가결과, 대부분의 변전설비 지지부는 높은 안전율을 지녀 지진하중 하에서 변전설비간의 상호 작용을 고려하지 않더라도 구조적 안전성을 확보하는 것으로 나타났으나, 그림 4 의 원호 안에 위치하는 일부 변전설비 지지부는 지진에 취약한 것으로 나타나 내진성능의 개선이 필요한 것으로 판단된다.

## 5. 결 론

765kV 변전소는 21 세기 국내 주간선 전력계통망의 핵심적인 역할을 수행하도록 계획된 매우

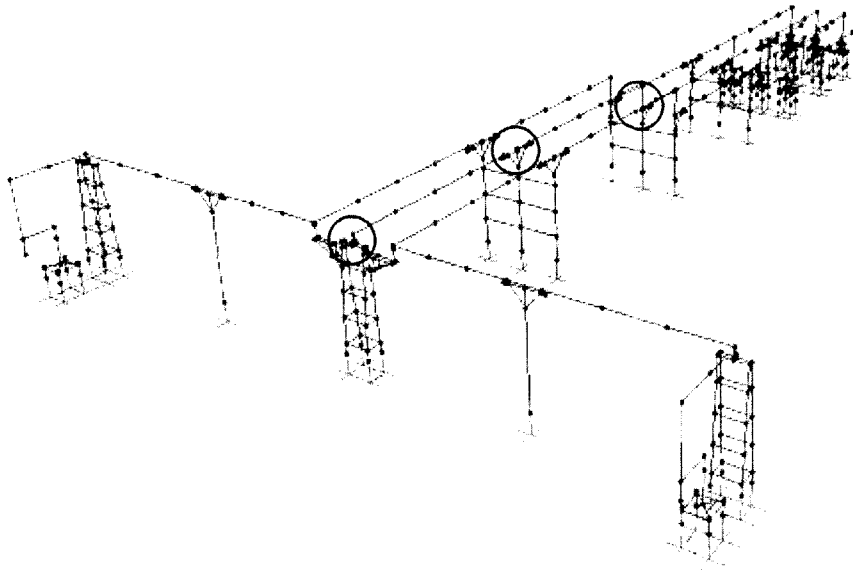


그림 4. 변전설비 지지부의 안전성 평가결과

중요한 시설이다. 따라서, 본 연구에서는 당초 설계 시 고려하지 못한 지진하중 하에서 변전설비 간 상호작용을 고려하여 765kV 변전소 내 변전설비에 대한 내진성능평가를 수행하였다.

그 결과, 765kV 변전소 내 주요 변전설비들은 지반응답스펙트럼의 가속도 증폭구간에 놓여 지표면 최대 가속도보다 큰 지진가속도를 받고 있음을 알 수 있었다. 또한, 765kV 변전설비는 일체로 통합된 하나의 GIS로 연결되어 있어 지진응답 상호작용이 발생하기 때문에 이를 고려하는 것이 필요하며, 해석결과에서도 일부 변전설비 지지부에서 구조적 안전성이 확보되지 못하는 것으로 나타났다. 따라서, 지진하중 하에서 765kV 변전설비의 기능을 정상적으로 유지하기 위해서는 일부 변전설비 지지부의 내진성능 개선이 필요한 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

본 연구는 2005년도 산업자원부 전력산업 기반기금과제인 “지진발생 시 765kV 변전설비의 내진성능평가 및 안전조치기술 개발” 과제의 일부로서 연구비의 지원에 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. 한국전력공사, 765kV 변전소 건설사업 사진자료집, 2002, 311p.
2. 한국전력공사 전력연구원, 송변전설비 내진설계기준 설정 연구, 2001, 391p.
3. 한국전력공사 765kV 건설처, 765kV S/S 토목공사 실시설계 사면안정해석 및 지질조사 보고서, 1998, 623p.
4. United States Department of Energy, Seismic evaluation procedure, 1997.

5. 한국전력공사 전력연구원, 지진발생 시 765kV 변전설비의 내진성능평가 및 안전조치기술 개발, 2006, 181p.