

765kV 변전소 지진관측 시스템 운영 현황



박 동 희
한전 전력연구원 환경구조연구소
연구원



최 원 학
한전 전력연구원 환경구조연구소
책임연구원

1. 서론

최근 지구촌 곳곳에서 발생하고 있는 자연재해 중 지진은 구조물이나 주위환경에 미치는 영향이 매우 크며 경제적, 사회적으로 막대한 손실을 초래한다.

1990년대 들어 한반도 인근 국가에서 발생한 대표적인 피해지진인 일본 고베지진(규모 7.2)과 대만 치치지진(규모 7.6)의 경우 인명피해, 도로 건물, 화재 등의 피해이 외에도 전력 설비에도 막대한 손실을 미친바 있다(표 1).

전력설비는 다른 구조물과 달리 발전, 송전, 배전망이 유기적으로 연결되어 있어 지진에 의한 피해가 지역과 공간적으로 제한되지 않으며, 피해 발생시 구조적, 재료적인 손상뿐만 아니라 가동 정지로 인한 전력의 공급 중단 등이 초래하는 2차적 피해가 유발되어 이를 고려할 때 특히 신속한 평가와 복구가 요구된다.

765kV 변전 설비는 기존 154kV 및 345kV 변전 설비에 비하여 송전손실률, 송전용량 등에서 중요성이 큰 설비

이지만, 지진 안전성에 대한 평가는 미비한 실정이므로 신규 건설되는 변전설비에 대한 내진성능 확보뿐만 아니라 기존 변전설비에 대해서도 체계적인 내진성능 평가를 수행하여, 향후에 발생 가능한 지진에 대비할 필요가 있다. 아울러 765kV 변전소 부지 내에 상시 지진감시시스템을 구축하고 변전소 부지의 지진동을 실시간 감시함으로써 지진발생에 따른 변전소 피해를 최소화할 필요가 있다.

(표 1) 일본 고베지진 시 송, 변전 설비의 피해 상황

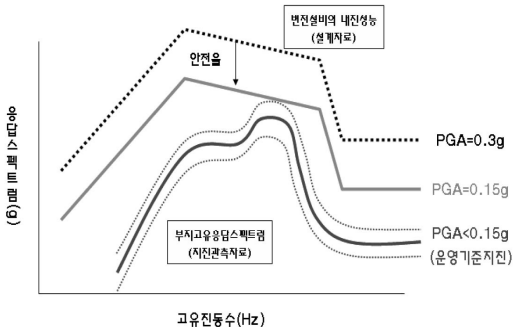
일본 고베지진 (*95.1.16, M=7.2)		변전설비 861/50		가공 송전설비 1,065/23	
송, 변전 설비의 피해상황		변압기	52 대	전선	3 구간
- 변전소 861 개소 중 50		지단기	10 대	지지물	20 개
- 지중송전선로 1,217 노선 중 102		콘덴서	4 대	액자	39 개
- 가공송전선로 1,065 노선 중 23		분로 Reactor	5 대	부지 외	1 식
		단로기	41 대		
		파괴기	15 대		
		모 선	7 개소		
		건 물	15 개소		
		접지장치	32 대		
		케이블	405		
		관로	212 구간		
지중 송전설비 1,217/102	인공	268 개소			
	진용교/교방무기	14 개소			
	중단기대	4 개소			
	금유장치	1 개소			

이에 한전 전력연구원에서는 지진발생시 765kV 변전소에 대한 신속한 피해평가와 사후 즉시 안전조치 그리고 765kV 변전소 내진안전성 평가/내진설계 등에 필요한 입력지진동 관련 기초자료를 확보하기 위하여 한국전력공사에서 운영중인 신안성, 신태백, 신서산, 신가평 765kV 변전소내에 지진관측시스템을 설치, 완료하고 2006년 11월부터 지진관측망을 구축하여 운영하고 있다.

2. 지진관측 시스템의 구축 목적

지진발생 후 신속한 안전조치를 수행하기 위해서는 대상 부지에 지진관측시스템을 구축하고 실시간으로 지진동을 상시 감시할 필요가 있다. 아울러 지진발생에 따라 변전소의 계속 운전이 지장이 있는 지를 파악하기 위해서는 765kV 변전설비에 대한 운영기준지진(Operating Basis Earthquake)의 설정이 필요하다. 그림 1은 운영기준지진이 어떻게 설정될 수 있는 지를 개념적으로 도시한 그림이다. 그림 1에서 최대지반가속도(PGA)=0.3g는 가상적으로 설정된 765kV 변전설비에 대한 내진안전성 수준 즉 내진력(seismic capacity)이다.

765kV 변전설비에 대해서는 일반적으로 내진설계를 수행함으로 내진설계 시 사용된 표준응답스펙트럼이 있고, 따라서 응답스펙트럼 영역에서 구조물 고유진동수별로 변전설비의 내진력이 결정될 수 있다. 한편 운영기준지진은 PGA 값으로 설정되어져 실시간으로 관측되는 지진



(그림 1) 운영 기준지진(OBS) 설정

동과 비교됨으로서 초과여부가 신속히 결정되어야 한다. 따라서 응답스펙트럼 영역의 내진력 초과여부에 대한 실시간 평가가 불가능하기 때문에 그림 1과 같이 지진관측 자료를 통해 부지고유응답스펙트럼을 평가하고 이에 부합하는 운영기준지진 PGA를 환산하는 과정이 필요하다. 현재 전력연구원에서는 지진관측망 구축이후 1여년의 시범 운영기간을 거쳐 운영 기준지진 설정완료 하였다.

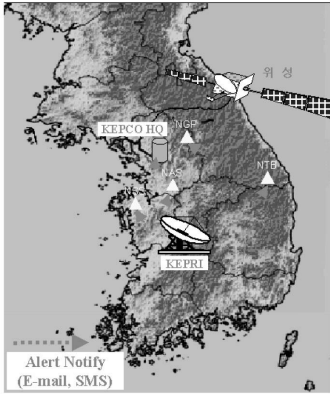
3. 지진 관측시스템의 구성

한전 전력연구원에서 구축중인 765kV 변전소 지진관측 시스템은 현재 전력연구원에서 운영중인 원자력/수, 화력 발전소의 지진관측망의 구성환경을 참조하였다.

한국전력공사에서는 전력 송전의 효율을 높이기 위하여, 기존의 154kV, 345kV로 송전하는 방법에서 765kV로 송전하는 기술을 개발하고 765kV로 전송하기 위한 전력의 송압 및 강압을 위하여 신안성, 신서산, 신태백, 신가평으로 명명된 765kV 변전소 4개를 운영중에 있다. 이들 변전소의 위치는 표 2 및 그림 2와 같으며, 4개의 변전소에 설치한 지진관측 시스템에 기록된 지진동 자료는 한국전력공사 위성통신망을 사용하여 전력연구원내에 위치한 위성센터를 거쳐 지진감시센터로 실시간으로 전송된다. 그림 3은 지진관측 시스템의 구성기기 및 기능을 나타낸 것으로 기존의 전력연구원의 지진관측망에서 사용중인 관측장비와 동일하게 구성하여 수신기로는 Kinometrics사의 Epi Sensor, 기록계로는 Quanterra사의 Q4120를 설치하였다. 기존의 전력연구원 지진관측시스템 및 기타 지진관측소를 운영하는 기관과의 차별성은 위성통신을 이

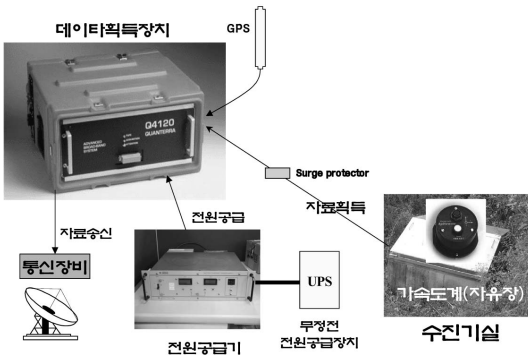
(표 2) 765kV 변전소 지진관측시스템의 설치위치

관측소 ID	설치위치	행정구역
NAS	신안성 변전소	경기도 안성시 고삼면
NSS	신서산 변전소	충남 서산시 운산면
NGP	신가평 변전소	경기도 가평군 설악면
NTB	신태백 변전소	강원도 태백시 원동



NGP: 신가평, NAS: 신안성, NSS: 신서산, NTB: 신대백

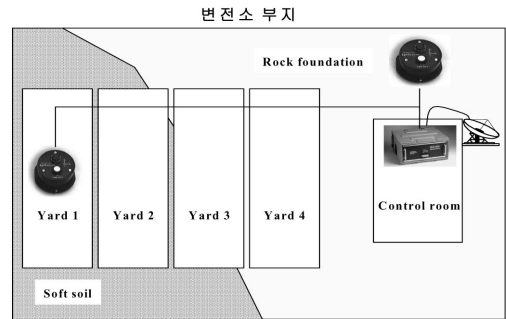
(그림 2) 지진관측시스템 모식도



(그림 3) 지진관측시스템 구성기기 및 기능

용하여 실시간으로 지진자료를 전송받고 있다는 것이다.

각 변전소 부지에 대한 765kV 변전소 지진관측시스템 구축 시 운영목적에 달성하기 위해 개념설계를 먼저 하였으며, 개념설계 시에는 변전소의 일반적인 지반특성과 지진응답특성이 고려하였다. 일반적으로 765kV 변전소의 경우 고도가 높은 산악지형의 일부를 절개한 후 보다 넓은 부지 확보를 위해 부지의 1/2 정도를 성토한다. 성토한 지역에 대해서는 기초파일을 설치하고 지표에 변전설비기 기초공사를 한다. 이러한 변전소의 일반적인 지반특성을 고려하여, 그림 4와 같이 성토된 지역의 연약한 지반(soft soil) 상에 위치한 중요구조물 기초에 가속도계를 하나 배치하고, 절개된 부분에 노출된 단단한 기반암(rock foundation) 상에 또 하나의 가속도계를 배치하였다.



(그림 4) 765kV 변전소 내 지진관측시스템 구성기기 배치안

그림 4와 같이 부지 내에 두개의 가속도계를 배치한 이유는 일반적으로 연약지반 상에서는 지진파의 증폭이 예상되고, 절개된 단단한 기반암에서는 증폭이 없고 잡음이 심하지 않아 지진관측시스템을 통한 상시 지진동감시의 기준신호로 활용할 수 있기 때문이다. 지진파의 증폭이 심한 연약지반 상에 의도적으로 가속도계를 설치한 이유는 향후 운영기준지진 설정 시 보수적으로 변전소를 운영하기 위해서이다. 특히 연약지반 상에 설치하게 되는 가속도계는 주요 변전설비가 집중된 구조물 기초에 직접 설치하여 구조물 기기에 입력되는 지진동을 관측하기 위해서이다. 한편 단단한 암반에 설치하는 가속도계는 정밀하게 지진을 관측함으로써 오동작의 발생을 최소화하고, 연약지반 지반응답특성과의 비교를 통해 연약지반에 의한 증폭 특성을 평가하고 향후 지속적으로 765kV 변전소 건설시 내진설계 및 내진안전성 평가 결과 등에 활용하기 위해서이다.

4. 지진관측시스템 H/W 현장 설치 개요

변전소별 지진관측시스템 H/W 현장설치는 다음의 절차로 수행되었다.

- ㉓ 부지선정, ㉔ 자유장 가속도센서 수진실 설치 공사,
- ㉕ 가속도센서 설치, ㉖ 기록계-센서 연결 Cable 포설 공사, ㉗ 지진기록계 설치공사, ㉘ 사내 위성통신 연결

그림 4에서 작성된 개념설계에 부합하고자 변전소 부

[표 3] 765kV 변전소 자유장 지진계 기반암 특성 요약

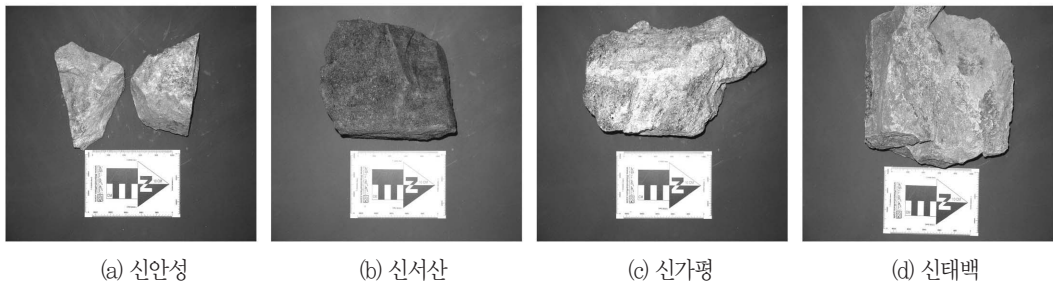
암반특성	변전소	신안성	신서산	신가평	신태백
기반암종류		호상편마암	편암	화강암질 편마암	적색사암
풍화도		약한 풍화	중간 풍화	신선	중간 풍화
기반암 심도		지표면	1.5 m	1.5 m	1.5 m
지질시대		선캄브리아기	선캄브리아기	선캄브리아기	고생대 석탄기

지 내에서 최적의 자유장 지진계 요건을 가진 설치 지점을 결정하기 위한 현장 답사 및 지반조사를 실시하고 관련 지반조사 보고서 등을 검토하였다. 자유장 지진관측기를 설치할 지점의 요건은 변전소 부지에서 가장 전형적인 지반 진동을 보이는 기반암으로서 이러한 조건에 맞는 지점을 선정하기 위하여 4개 변전소 부지에 대하여 지반 및 지질 조사를 실시하였다. 이외에도 765kV 변전소 부지내의 자유장 지진계 설치지점을 선정할 때 고려한 점은 기반암 노출 위치, 심도, 풍화도, 부지 내에서의 향후 부지활용 계획, 미관, 홍보, 전원확보, 통신케이블의 길이와 기존 관로 사용의 용이성, 위성 안테나와의 거리 등이다. 이러한 여러 가지 조건을 종합적으로 검토하여 최종적으로 지점을 선정하여 굴착을 하여 기반암을 확인하고 자유장 지진계 수신기실 설치작업을 하였다. 표 3은 자유장 지진가속도계 설치 지점에 대한 지반조사 결과를 요약한 표로 인근 지질을 대표하며 공학적으로 인근 구조물의 영향을 받지 않는 지점으로 선정하였다. 그림 5는 선정된 지점의 기반암 샘플이며 그림 6은 선정된 자유장 지진 가속도계의 설치 위치를 나타낸 것이다. 구조물 지진관측기 설치 지점은

변전소 구조물 상에서 지진에 의한 진동이 증폭되어 전형적인 구조물의 반응을 보일 것으로 추정되는 지점으로 선정되었으며, 이를 위해 구조물 배치 등을 검토하여 각 변전소의 현장제어동 지하에 가속도계를 설치하는 것으로 구성하였다. 표 4는 구성기기별 설치 지점을 나타낸 것이다.



<그림 6> 부지조사를 통하여 선정된 자유장 지진계 수신기실 위치



<그림 5> 765kV 변전소 자유장 지진RP 설치지점 기반암 암편

[표 4] 지진관측시스템 구성기기별 설치 지점

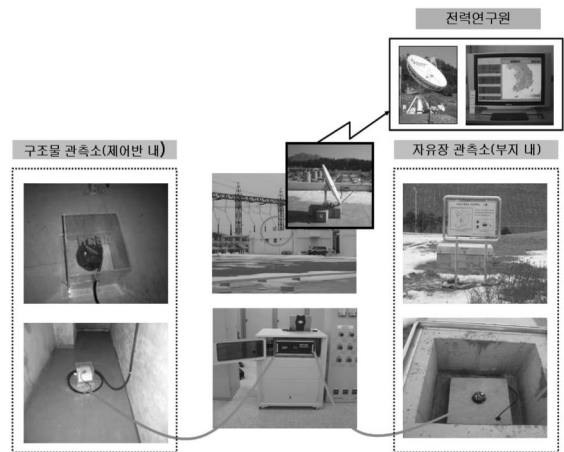
구성기기	765kV 변전소	신안성	신서산	신가평	신태백
기록계 (UPS, Power Supply)	현장제어동 실내 (23kV #3)	현장제어동 실내 (345kV #3)	현장제어동 실내 (765kV #2)	현장제어동 실내 (765kV #3)	
GPS 위성안테나	현장제어동 옥상	현장제어동 옥상	현장제어동 옥상	현장제어동 옥상	현장제어동 옥상
자유장센서	전망대 압반 사면	정문옆 잔디밭	테니스장옆 잔디밭	테니스장옆 잔디밭	테니스장옆 잔디밭
구조물/기기 기초센서	현장제어동 지하 (765kV #4)	현장제어동 지하 (345kV #2)	현장제어동 지하 (345kV #1)	현장제어동지하 (765kV #3)	

5. 지진동 자료 송수신을 위한 네트워크 구성 - 위성통신 설치

지진에 의한 피해를 신속히 대처하기 위해서는 안정적이며 고속의 통신망이 각 관측소에 구성되어 있어야 한다. 기존에 설치된 원전부지 지진관측망의 경우 56 kbps급 디지털 전용회선을 이용하였으나, 이번 765kV 변전소의 지진관측망의 경우 국내 최초로 위성통신망을 사용하여 신안성, 신서산, 신가평, 신태백 765kV 변전소 지진관측 시스템과 전력연구원내 위치하고 있는 위성센터와 연결하여 보다 안정적인 네트워크를 구성하였다. 위성통신은 어느 통신보다도 품질의 균일성과, 내재해성이 보장되므로, 통신장애 없이 통신을 할 수 있다는 장점을 가진다.

그림 7은 765kV 변전소 지진관측 시스템의 통신위성 모식도를 나타낸 것이다. Q4120 지진계는 TCP/IP 방식을 지원하기 때문에 지진기록계와 연결된 위성통신 모뎀

과 안테나로 구성된 765kV 변전소 지진관측시스템 단말 기지국(4개 변전소)과 중심국(전력연구원내 위성센터)과 위성을 통하여 지진기록계에 기록되는 자료를 실시간으로 송, 수신 한다(그림 8).



<그림 7> 765kV 변전소 지진관측 시스템 및 통신설비 설치 사진

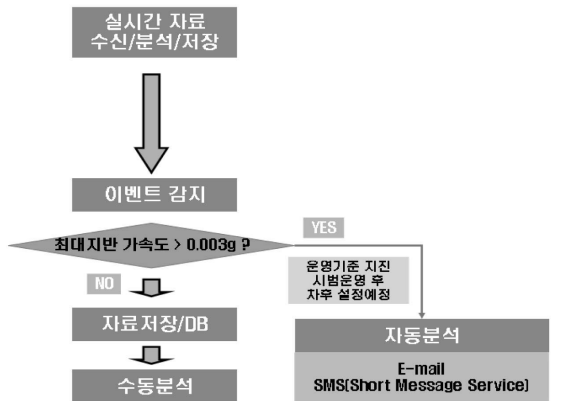


(a) 위성중심국 (b) 신안성 (c) 신서산 (d) 신가평 (e) 신태백

<그림 8> 전력연구원내 위치한 위성 중심국과 4개 변전소의 위성안테나 설치 전경

6. 지진동 자료 자동 분석

현재, 765 kV 변전소 지진관측소에서 기록된 지진동 자료는 실시간으로 전력연구원 내에 위치하는 지진감시 센터 분석서버로 송신, 분석되고 있다. 만약 시간영역상에서의 가속도 값이 특정 수준 이상이 되면 1차적으로 '이벤트 발생' 경보를 관계자의 핸드폰으로 송신하는 동시에 (SMS 서비스) 자동분석 결과(최대지반가속도, 응답스펙트럼, 파형자료)를 e-mail로 송신하게 된다(그림 9, 그림 10). 이 자료는 2차적으로 연구자에 의해서 정밀 분석을 거쳐 지진에 의한 신호인지, 발파 등의 인공적인 진동 유발 요인에 의한 신호인지를 판별하게 되며 지진 고유의 특성과, 부지에서의 응답 등을 정밀하게 분석하게 된다.



〈그림 9〉 실시간 지진동 자료 분석 및 이벤트 발생시 자동분석 순서도

7. 결론

2008년 2월 19일 국회에서 통과된 지진재해 대책법에 따르면 국가 주요 기반시설물에 대한 지진관측이 의무화 되어 있다. 이에 발맞추어 한전에서는 법의 발효이전부터 765kV 변전소에 대한 지진관측망을 구축, 실시간 감시를 통해 지진 발생여부 및 특성분석과 신속대응을 위한 준비를 완료하였다. 아울러 지진관측소에 기록된 자료는 지진 발생시 765kV 변전소에 대한 신속한 피해평가와 사후 즉시 안전조치, 내진안전성 평가·내진설계 등에 필요한 입력지진동 관련 기초 자료를 확보하는데 이용되고 전력시설물의 지진안전성 확보에 초석이 될 것이다.



〈그림 10〉 이벤트 발생시 자동분석에 의한 경보 알림 SMS 및 E-mail 송신