



전력설비 내진설계 강화 대책



박인종
KEPCO 송변전개발처 전력구개발팀 차장

1. 개황

한반도는 지질학적으로 유라시아판 내부에 위치해 있어 지진의 안전지대로 인식되어 왔다. 그러나 2011년 3월 11일에 발생한 일본 동북부 지역의 리히터규모 9.0의 대지진은 인접 국가인 우리나라에도 큰 충격을 주었다.

우리나라는 일본, 중국, 대만, 미국 등에서 발생했던 규모의 대지진이 발생할 가능성은 매우 낮다. 하지만 지진 관측이 본격적으로 시작된 1978년 홍성 지진발생 이후 2010년까지 백령도, 울산, 울진, 오대산 등 전국에서 발생된 중소규모의 지진이 총 922회로 연평균 28회 정도 발생하였으며, 최근 들어 지진의 규모와 발생빈도가

증가 추세에 있다.

또한 역사문헌에서 확인된 바와 같이 조선시대에 지진 활동이 활발하였으며, 인명피해가 발생할 정도의 강지진이 발생한 것으로 알려져 있다. 이러한 지진 발생은 전력 설비에 막대한 피해를 줄 뿐만 아니라 장기간 정전으로 사회적·경제적으로 미치는 영향이 매우 크기 때문에 지진 대비와 기존 전력설비에 대한 내진 보강 대책이 마련되어야 한다.

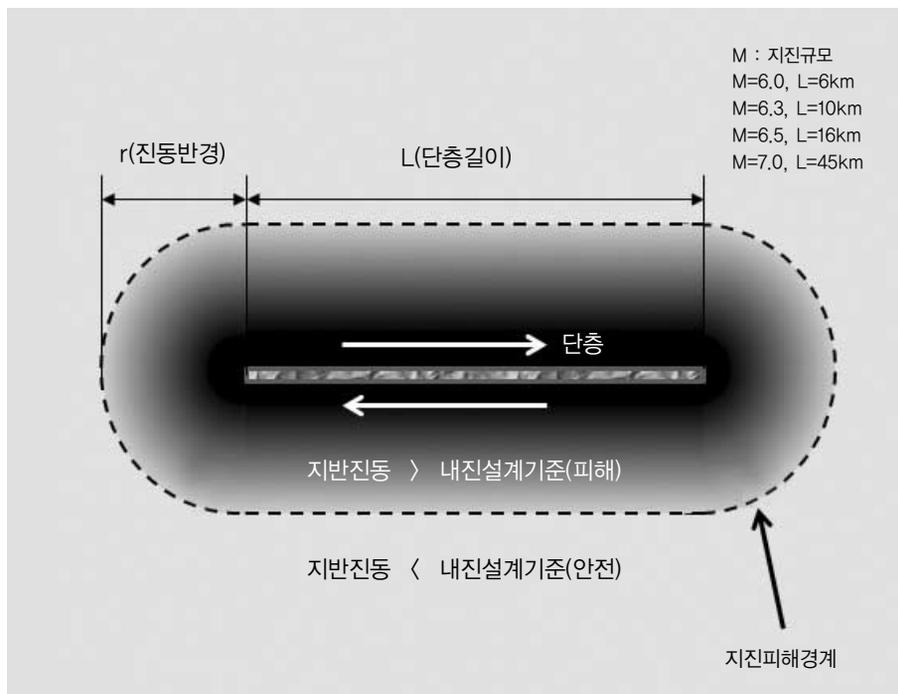
2. 현황

가. 송변전설비 내진설계 기준

■ 지진으로 인한 전력설비 피해

국내 지진연구에 따르면 지진은 임의의 위치에서 발생할 수 있으며, 송변전설비는 전국적으로 분포하고 있기

때문에 지진이 발생하는 위치와 상관없이 피해를 예상할 수 있다. 특히 송변전설비는 수도권에 집중되어 있어, 수도권 인근에서 지진이 발생할 경우 피해 규모는 더욱 커질 수 있다. 지진 발생 시 송변전설비의 피해는 단층을 중심으로 하여 강하게 흔들리는 지반진동에 의해 발생하며, 지진피해의 종류로는 송변전설비의 활동, 전도 및 기기 고장에 의한 정전 등이 있다. 송변전설비의 내진설계는 지진발생에 의해 예상되는 지반진동의 크기, 즉 내진설계 기준 이하에서는 송변전설비의 활동 및 전도가 발생하지 않도록 하는 사전 예방조치의 하나이다. 송변전설비의 지진피해는 지반진동의 크기가 내진설계 기준을 초과할 때 발생하는데, 지반진동의 크기는 단층에서 단층으로부터의 거리가 멀어지면서 감소하게 되는 특성이 있어 그림 1과 같이 송변전설비의 지진피해는 단층 인근에 집중된다. 한편 단층의 길이(그림 1의 L)는 지진규모(M)에 비례하여 증가하기 때문에 지진규모가 커질 경우 지진피해 영역이 증가하게 된다. 또한 단층



[그림 1] 지진발생에 의한 지진피해영역(피해면적 = $L \cdot 2r + \pi \cdot r^2$)

인근에서의 지반진동 크기보다도 내진설계 기준을 강화하면 지진피해 영역을 최소화 할 수 있다.

■ 내진 관련 규정

우리나라는 1988년 2월에 건축물이 지진에 견딜 수 있도록 건설하는 내진설계 규정을 건축법 시행령에 최초로 법제화하여 연면적 10만㎡이상이거나 6층 이상, 높이가 13m 이상의 건축물에 내진설계를 하도록 하였다.

변전소 건축물은 내진설계 대상에서 제외되었으나 1992년 6월 154kV 변전소 건축물에 대하여 최초로 내진설계를 하였으며, 1997년 5월부터 모든 변전소 건축물에 내진설계를 하였다. 1999년 9월 대만에서 리히터 규모 7.3의 지진으로 대규모 피해가 발생함에 따라 2000년 건축법 시행령의 건축물 내진설계 기준을 강화하였다. 2003년 3월 내진설계 지침을 제정하여 송전철탑, 변전설비, 전력구, 옹벽 등 모든 송변전설비에 대하여 내진설계를 하였으며, 2005년 자연재해 대책법의 개정으로 송변전설비에 내진설계 기준을 적용하도록 법제화하였다.

2005년 5월에는 건축물 시행령의 개정으로 건축물의 연면적이 10만㎡이상에서 1천㎡이상으로 층수는 6층 이상에서 3층 이상으로 강화되어 내진설계를 적용하도록 함으로써 대부분의 변전소 건축물도 내진설계의 대상이 되었다.

2008년 3월에는 지진재해대책법이 제정되어 신설뿐만 아니라 기설 변전소의 건축물과 송변전설비에 대해 연차적으로 내진보강을 하도록 법제화되었다.

■ 내진설계 기준

1992년 6월 이후 건설된 변전소 건축물은 건축법을 적용하여 내진설계를 하였으나 송변전설비는 내진설계 규정이 없어 2003년 3월에 한국전력에서 자체적으로 ‘송변전설비 내진설계 지침’을 제정, 적용하였다.

이 지침의 적용설비는 신설되는 154kV 이상의 송전설비와 변전설비 그리고 이를 지지하는 지반시설물을 대상으로 하였다. 송변전설비의 내진설계 기준을 결정하기 위하여 설계지진의 수준은 기능 수행수준과 붕괴

[표 1] 내진등급별 재현주기 및 설계지진력

구 분	기능 수행수준		붕괴 방지수준		
	II등급	I 등급	II등급	I 등급	특등급
평균 재현주기	50년	100년	500년	1,000년	1,600년
위험도계수	0.4	0.57	1.0	1.4	1.5
설계지진력	0.044g	0.0627g	0.11g	0.154g	0.165g

[표 2] 송변전설비의 내진설계 등급 강화

등 급	2011년 3월 이전		2011년 4월 이후
	345kV 이상	345kV 미만	154kV 이상
내진등급	I 등급 (0.154g)	II등급 (0.11g)	I 등급 (0.154g)

[표 3] 내진설계 등급 강화에 따른 송변전설비 피해감소 효과

구 분	II등급 (0.11g)			I 등급 (0.154g)		
	M(규모)	6.0	6.3	6.5	6.0	6.3
r(km)	29.8	38.3	44.7	22.8	30.2	35.8
L(km)	6.2	11.3	16.8	6.2	11.3	16.8
피해면적(km ²)	3,161	5,480	7,784	1,914	3,555	5,236
송변전설비 피해수량*	17.6	30.5	43.3	10.6 (-39%)	19.8 (-35%)	29.1 (-33%)

* 가정된 단위면적당 송변전설비 수량 = 681개/350km×350km
(681개 = 154kV 이상 변전소, 350km×350km = 남한 면적)

[표 4] 송변전설비의 내진설계 기준

구 분	변전소건물	154kV이상 송변전설비	전 력 구
내진등급	특등급	I 등급	I 등급
리히터규모	6.4(0.165g)	6.3(0.154g)	6.3(0.154g)
적용기준	건축법	KEPCO 기준(한국지진공학회 용역)	

방지수준으로 구분하여 내진등급별 평균 재현주기를 적용하였으며, 평균 재현주기별 최대 유효지반 가속도의 비를 의미하는 위험도 계수를 적용하여 설계지진력을 결정하였다. 내진등급별 평균 재현주기 및 설계지진력은 표 1과 같다.

송변전설비의 내진설계 기준은 변전소 건축물의 경우 건축법 시행령에 따라 내진 특등급을 기준으로 하였으며, 송변전설비는 한국지진공학회에서 연구한 결과를 반영하여 345kV 이상의 변전설비와 송전설비, 전력구의 내진 기준을 I 등급으로 분류하고 345kV 미만 변전설비는 내진 II 등급으로 결정하였다. 그러나 2011년 일본 동북 부지역에서 대지진이 발생하여 전력설비에 막대한 피해가 발생함에 따라 345kV 미만의 변전설비도 내진 I 등급

으로 강화하여 현재 송변전설비의 내진설계 등급은 전부 I 등급을 적용토록 하였다(표 2).

표 2의 내진설계 등급 강화는 앞서 언급한 바와 같이 지진발생 시 송변전설비의 피해 영역이 축소됨을 의미한다. 표 3은 내진설계 기준 강화에 따른 송변전설비의 피해감소 효과를 개략적으로 정리한 것으로 내진설계 기준을 II 등급에서 I 등급으로 상향 조정할 경우 지진 피해가 예상되는 송변전설비의 수량이 최대 40%까지 감소함을 알 수 있다.

현재 신설되고 있는 송변전설비에 대한 내진설계 기준의 설계지진 수준은 표 1의 붕괴 방지수준을 적용하고 있으며, 설비별 내진설계 등급과 설계지진력은 표 3과 같다.



[그림 2] 변전소 건축물 내진 보강 공법

나. 기설 송변전설비의 내진 성능평가 및 보강 대책

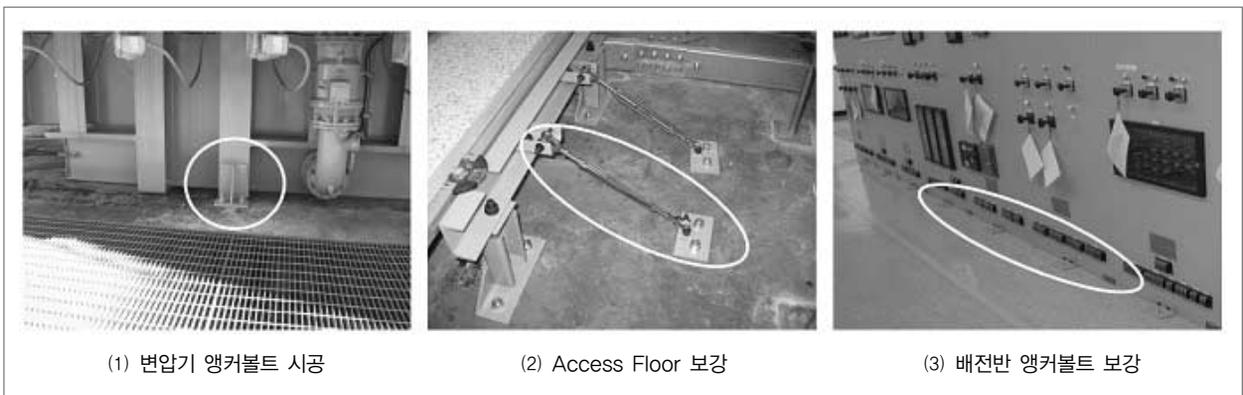
■ 변전소 건축물의 내진 보강

변전소 건축물은 1992년 6월 최초로 내진설계를 하였으며, 1992년 이전에 건설된 224개 변전소의 건축물은 내진설계를 하지 않았다. 2011년 2월 내진설계가 되어 있지 않은 건축물에 대한 내진 성능평가 결과 슬래브, 보, 기둥, 지하외벽 등 일부에서 내진하중이 부족한 것으로 나타났다. 이에 대한 보강공법으로 그림 2와 같이 슬래브와 보는 섬유시트로 보강하고, 기둥은 철판, 형강 또는 섬유시트로 보강하며 전단벽은 철근콘크리트로 단면을 증가시키거나 섬유시트로 보강하도록 하였다.

■ 기설 변전설비의 내진 보강

기설 변압기의 내진보강 공법으로는 그림 3과 같이 변압기 본체에 플레이트를 용접하여 콘크리트 기초에 앵커볼트로 고정하는 공법을 적용하였으며, 변압기 1,430대 등 주요 변전기기는 2005년 12월에 내진보강을 완료하였다.

배전반은 Access Floor 바닥에 설치된 경우 하부에 배전반 지지용 프레임 기초를 설치한 후 배전반의 전·후면 2개소에 Base Channel과 연결시키는 브라켓트를 볼트로 고정하고 프레임을 턴버클과 볼트로 콘크리트 바닥에 고정하였다. 콘크리트 바닥에 설치된 경우에는



[그림 3] 기설 변전설비 내진 보강 공법

배전반의 전·후면 중앙부에 Base Channel과 연결하는 브라켓트를 설치하고 콘크리트 바닥에 앵커볼트로 고정하도록 하였다.

다. 지진 감시

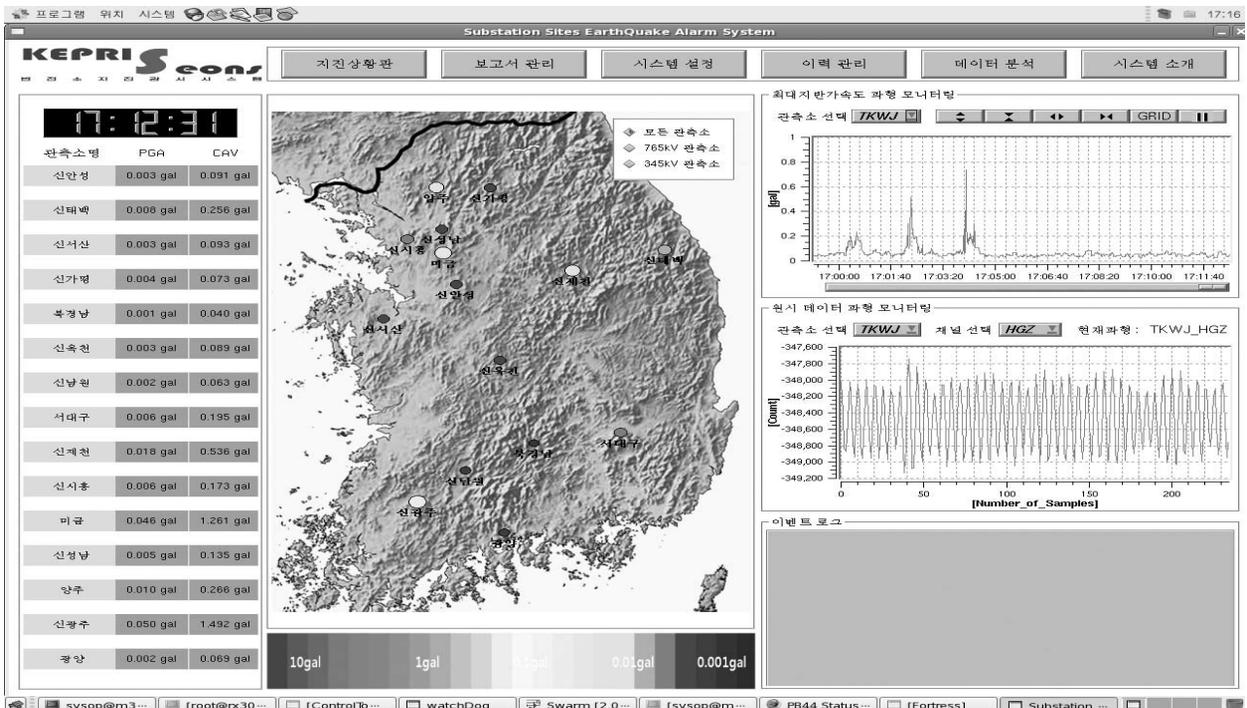
중국의 쓰촨성 대지진(2008년), 일본의 후쿠오카 지진(2005년) 및 니가카 지진(2007년)에서 알 수 있듯이, 우리나라와 같이 상대적으로 지진활동성이 낮은 지역에서도 큰 규모(M > 6.5)의 지진이 발생할 수 있다.

또한 큰 규모의 지진이 아니더라도 지반조건 및 지진 발생 지점까지의 거리에 따라 지진단층 인근지역에서는 송변전설비의 내진설계 기준 초과 상황을 과학적으로 예상할 수 있다. 이 경우 부지 내에서 지진 계측시스템이 운영되고 있다면 지진 계측시스템의 지진관측 자료를 이용하여 정밀한 구조물 피해분석이 가능하며, 송변전설비의 신속한 지속 가동 여부를 파악할 수 있다.

한편에서는 765kV 변전설비에 대한 계통상의 중요도를 고려하여 지진발생시 765kV 변전소에 대한 신속한 피해 평가와 사후 안전조치, 내진안전성 평가 및 내진설계 등에 필요한 입력지진동 관련 기초자료를 확보하기 위해 765kV 변전소 지진관측망을 구축(2006년), 운영 중에 있다.

2008년 발효된 지진재해 대책법에서는 전력설비의 중요성을 감안하여 345kV 변전소 중 전력계통에 중대한 영향을 줄 수 있는 변전소에 대해서도 지진계측기 설치를 추가로 요구하였다. 이에 따라 약 80여개의 345kV 변전소 중 원자력, 화력 발전소 부지와 중복된 위치를 제외하고 송전선 분기수가 5개 이상이며 내륙에 위치한 변전소 10개소에 대해 지진계측기 설치가 결정되었으며, 지난 8월 당 변전소의 지진계측기 설치를 완료하였다.

765kV 변전소(5개소)와 345kV 변전소(10개소)에



[그림 4] 변전소 지진 감시시스템 실시간 감시 화면

설치한 지진관측소에서 기록된 지진동 자료는 한국전력 공사 위성통신망을 통해 전력연구원내에 위치한 지진 감시센터까지 실시간으로 전송되어 지진감시 서버에서 분석되고 있다. 만약 시간영역 상에서의 가속도 값이 특정 수준 이상이 되면 1차적으로 '이벤트 발생' 경보를 관계자 핸드폰으로 송신하는 동시에(SMS 서비스) 자동 분석 결과(최대지반 가속도 값, 응답스펙트럼, 파형자료) 까지 e-mail로 송신하게 된다. 시간영역 상의 가속도 값 지진경보 설정치는 765kV/345kV 변전소의 내진성능 평가 결과를 기반으로 하여 결정된다. '이벤트 발생' 으로 분류된 자료는 2차적으로 연구원에 의해 수동 분석되어 지진에 의한 신호인지, 발파 등의 인공적인 진동유발 요인에 의한 신호인지를 판별하게 되며 지진 고유의 특성과 부지에서의 응답 등을 정밀하게 분석하게 된다.

3. 향후 계획

2011년 일본에서 대지진(리히터규모 M=9.0)이 발생함에 따라 345kV 미만 변전설비의 내진설계 등급을 II 등급(M=5.6)에서 I 등급(M=6.3)으로 강화하여 송전설비, 변전설비, 전력구는 전압에 관계없이 내진 I 등급을 적용하였고, 변전소 건축물은 건축법에 따라 특등급(M=6.4)을 적용하였다. 이와같이 345kV 미만 변전설비의 내진 설계 등급을 상향 조정함에 따라 지진발생시 송변전설비의 피해 수량이 최대 40%까지 절감할 수 있을 것으로 예상된다. 기설 변전설비는 내진보강을 완료하였으나 1992년 이전에 건설된 기존 변전소의 건축물은 내진설계가

되어 있지 않아 2013년까지 내진보강을 완료할 계획이다. 아울러 송변전설비 내진설계 실무지침서의 이해 부족과 현장시공 및 품질관리의 불확실성으로 인한 신설 송변전설비의 내진성능 저하를 방지하기 위하여 표준 설계(안)를 수립할 예정이다.

또한 '송변전설비 내진설계 실무지침서'를 국내 상위 내진설계 기준 및 국외 참조 내진설계 기준에 보다 부합되고 변전설비의 현실적인 특성을 반영하는 방향으로 개정시킬 예정이다.

현재 송변전설비는 내진성능 평가·보강 및 내진설계를 통한 지진에 따른 설비 피해를 최소화하였다. 이에 반해 배전설비는 내진설계 및 내진성능 평가를 수행하지 않아 지진 발생 시 전력공급 중단과 복구비용 발생 가능성이 상존하고 있어 배전설비에 대해서도 내진성능을 향상시키기 위한 관련 연구를 수행 중이다.

한편, 내진 I 등급으로 설계되는 154kV급 이상의 변전소는 지진발생시 내진설계 기준과 부지에서의 지진 관측 값 비교를 통한 즉각적인 후속 대응이 필요하다. 하지만 법에 따라 관측이 개시된 15개소를 제외한 600여 개에 달하는 수많은 변전소에는 지진관측 장비가 설치되어 있지 않다. 이에 따라 전국적으로 산재해 있는 지진계가 미설치된 변전소 부지의 지진동 크기를 추정하는 기술을 개발 중에 있으며, 피해지진이 발생할 경우 후속 대응에 필요한 다양한 지진분석과 분석결과에 대한 전사적 차원의 신속한 정보공유 및 지진 예측정보의 체계적 관리를 위해 전력설비 지진정보 웹서비스 또한 시행해 나갈 계획이다. KEA

[참고문헌]

-
- [1] 건축구조기준, 국토해양부고시 제2009-1245호(2009)
 - [2] 송변전설비 내진설계 실무 지침서, 한국전력(2003)
 - [3] 변전설계기준(DS-2501 변압기 선정기준), 한국전력(2005)
 - [4] 송변전설비의 내진설계 및 보강대책, 민병욱, 김강규, 한병준, 박인중, 김영달, 2011년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집(2011)