2011년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2011. 7. 20 - 22

송변전설비의 내진설계 및 보강대책

민병욱*, 김강규*, 한병준*, 박인종*, 김영달**
한국전력공사*, 한밭대학교**

Earthquake Design and Reinforcement Countermeasure for Transmission Line and Substation

Byeong-Wook Min*, Kang-Kyu Kim*, Byung-Jun Han*, In-Joung Park*, Young-Dal Kim**
KEPCO*, Hanbat National University**

Abstract - Even though Korea has very low possibility that a big earthquake occurs like in Japan, China, Taiwan and United States of America, because it is located on the interior of Eurasian Plate, the earthquake which was struck northeast Japan in March 11th, 2011 gave a big shock to Korean. And small-medium earthquakes have been observed 922 times in Korea since 1978 when an earthquake hit Hong-seong and a seismographic station started observation. Moreover, the number of quakes has been on the increase. In case a big earthquake occurs like in northeast Japan, it would be a terrible disaster for Korean power utilities and brings mega effects on Korean society and economy. So it is necessary to apply anti-earthquake design for new power facilities and to reinforce existing facilities. Therefore, this paper would present anti-earthquake design for transmission line and substation and reinforcement measures for existing facilities.

1. 서 론

한반도는 지질학적으로 유라시아판의 내부에 위치해 있어 지진의 안전지대로 인식되어 왔다. 그러나 2011년 3월 11일에 발생한 일본 동북부 지역의 리히터규모 9.0의 대지진은 인접국가인 우리나라에도 큰 충격을 주었다. 우리나라는 일본, 중국, 대만, 미국에서 발생한 규모의 대지진이 발생할 가능성은 매우 낮으나 지진 관측이 본격적으로 시작된 1978년 홍성지진 발생 이후 2010년까지 33년 동안 백령도, 울산, 울진, 오대산 등 전국에서 발생된 중소규모의 지진이 총 922회로 연평균 28회 정도 발생하였으며 최근 들어 지진의 규모와 발생빈도가 증가 추세에 있다. 지진이 발생하게 되면 전력설비에 막대한 피해가 발생하게 되어 장기간의 정전으로 사회적, 경제적으로 미치는 영향이 매우 크기 때문에 지진에 의한 전력설비의 피해를 방지하기 위하여 내진설계는 필수적이며 또한 기존의 전력설비에 대한 내진보강 대책도 강구되어야 한다. 따라서 본 논문에서는 지진에 대비한 송변전설비의 내진설계기준과 기존 송변전설비에 대한 보강대책을 제시하였다.

2. 송변전설비의 내진 설계기준

2.1 지진으로 인한 전력설비 피해

일본의 대지진으로 원자력발전기 10기가 정지되고 후쿠시마 제1원자력 발전소의 1~4호기에서 폭발과 화재가 발생하였으며 화력은 21기(도호쿠 전력 11기, 도쿄전력 10기), 수력 8기, 지열발전기 4기가 정지되었다. 송전선로는 105개 선로에서 철탑 42기가 도괴 및 파손되었으며 43개 변전소에서 변압기 33대, 차단장치 30대가 파손되었고 배전선로에서는 전주파손 3,753기, 변압기 및 개폐기 2,313대가 파손되었다. 이에 따라 아오모리, 미야기, 후쿠시마 등 일본 동북부지역을 공급하는 도후쿠전력에서 479만호가 정전되었으며 수도권을 공급하는 도쿄전력도 297만호가 정전되었을 뿐만 아니라 원자력발전기의 손상으로 전력공급능력 부족으로 1951년 창사 이래 처음으로 제한송전을 실시하였다. 지진에 의한 전력설비의 피해는 세계적으로 많이 발생하고 있으며 1971년 미국 San Fernando, 1987년 뉴질랜드 Edge Cumb에서 발생한 전력설비의 피해사례는 그림1과 같다.

일본 (M=9.0, 2011년) 미국 (M=6.6, 1971년) 뉴질랜드(M=6.3. 1987년)

〈그림 1〉 지진에 의한 전력설비 피해

2.2 송변전설비의 내진 관련규정

우리나라는 1988년 2월에 건축물이 지진에 견딜 수 있도록 건설하는 내진설계 규정을 건축법시행령에 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 대하여 내진설계를 하였다. 1999년 9월 대만에서 리히터 규모 7.3의 지진이 발생되어 대규모 피해가 발생함에 따라 2000년 건축법 시행령의 건축물 내진설계기준을 강화하였다. 송변전설비는 2003년 3월에 내진설계 지침을 제정하여 송전철탑, 변전설비, 전력구, 옹벽 등 모든 송변전설비에 대하여 내진설계를 하였으며. 2005년 자연재해대책법의 개정으로 송변전설비에 내진설계기준을 적용토록 법제화하였고 2005년 5월 건축물시행령의 개정으로 건축물의 연면적이 10만㎡이상에서 1천㎡이상으로, 층수는 6층 이상에서 3층 이상으로 강화되어 내진설계를 적용하도록 함으로써 대부분의 변전소 건축물도 내진설계의 대상이 되었다. 2008년 3월 지진재해대책법이 제정되어 신설뿐만 아니라 기설 변전소의 건축물과 송변전설비에 대해 연차적으로 내진보강을 하도록 법제화되었다.

2.3 송변전설비의 내진설계기준

1992년 6월 이후 건설된 변전소 건축물은 건축법을 적용하여 내진설계를 하였으나 송변전설비는 내진설계 규정이 없어 2003년 3월에 한국전력에서 자체적으로 '송변전설비 내진설계 지침'을 제정하여 적용하였다. 이 지침의 적용설비는 신설되는 154kV 이상의 송전설비와 변전설비 그리고 이를 지지하는 지반시설물을 대상으로 하였다. 송변전설비의 내진설계기준을 결정하기 위하여 설계지진의 수준은 기능수행수준과 붕괴방지수준으로 구분하여 내진등급별 평균재현주기를 적용하였으며 평균재현주기별 최대 유효지반가속도의 비를 의미하는 위험도계수를 적용하여 설계지진력을 결정하였다. 내진등급별 평균재현주기 및 설계지진력은 표1과 같다.[1]

〈표 1〉 내진등급별 재현주기 및 설계지진력

성능수준 / 구 분	기능수행수준		붕괴방지수준		
	Ⅱ등급	Ⅰ등급	Ⅱ등급	Ⅰ등급	특등급
평균재현주기	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

송변전설비의 내진설계기준은 변전소 건축물의 경우 건축법시행령에 따라 내진 특등급을 기준으로 하였으며 송변전설비는 한국지진공학회에서 연구한 결과를 반영하여 345kV 이상의 변전설비와 송전설비, 전력구의 내진기준을 Ⅰ등급으로 분류하고 345kV 미만 변전설비는 내진 Ⅱ등급으로 결정하였다. 그러나 2011년 일본 동북부지역에서 대지진이 발생하여 전력설비에 막대한 피해가 발생함에 따라 345kV 미만의 변전설비도 내진Ⅰ등급으로 강화하여 현재 송변전설비의 내진설계 등급은 전부 Ⅰ등급을 적용토록 하였다. 송변전설비의 설계지진의 수준은 붕괴방지수준을 적용하였으며 설비별 내진설계등급과 설계지진력은 표2와 같다.

〈표 2〉 송변전설비의 내진설계기준

설비별 / 구분	변 전 소		송전철탑	전력구
	건 축 물	변전설비		
내진등급	특등급	Ⅰ등급	Ⅰ등급	Ⅰ등급
리히터규모 (설계지진력)	M=6.4 (0.165g)	M=6.3 (0.154g)	M=6.3 (0.154g)	M=6.3 (0.154g)
적용기준	건축법	KEPCO기준(한국지진공학회 용역)		

3. 송변전설비의 내진설계

3.1 송전철탑의 내진설계

송전철탑의 설계하중은 철탑과 전선 자체의 중량이 작용하는 수직하중, 그리고 바람이 불 때 철탑과 전선에 가해지는 풍하중 및 선로의 각도에 의해 발생되는 수평각하중, 전선의 장력 등 수평하중을 적용하여 설계한다. 송전철탑은 전체 설계하중에서 풍하중이 차지하는 비율이 매우 높다. 직선철탑은 전체 설계하중에서 약 90% 이상이 풍하중이며 각도철탑은 선로의 각도에 비례하여 수평각하중이 발생하기 때문에 각도가 크게 되면 풍하중의 점유율은 낮아지게 된다. 송전철탑의 전체 설계하중에서 풍하중이 차지하는 비율은 표3과 같다.

<표 3> 철탑 설계하중 대비 풍하중의 점유율 (%)

철탑형 / 설계풍압	직선철탑	각도철탑		
	A-Type	B-Type	C-Type	D-Type
Ⅰ지역 (117kgf/㎡)	91.4	48.9	32.0	25.1
Ⅱ지역 (100kgf/㎡)	89.0	40.4	25.3	20.3

철탑의 설계풍하중과 지진하중을 비교하기 위하여 지진하중을 시간이력해석과 응답스펙트럼해석에 의한 단면력을 비교한 결과 설계풍하중을 적용한 주주재의 단면력은 직선철탑의 경우 지진하중의 5~8배이며, 각도철탑의 경우에는 2~6배로 매우 크기 때문에 철탑설계 시에 지진하중은 고려하지 않는다. 철탑형별 설계풍하중과 지진하중은 표4와 같다.[2]

<표 4> 철탑설계 풍하중과 지진하중의 비교

전 압	철탑형	풍하중 (ton)	지진하중 (ton)	배율(배)
765 kV	각도(Ca)	269	46	5.9
	직선(A_2)	327	39	8.4
345 kV	각도(C_2)	84	25	3.4
	직선(A_2)	90	15	6.0
154kV	각도(C_2)	46	17	2.7
	직선(A_2)	41	8	5.1

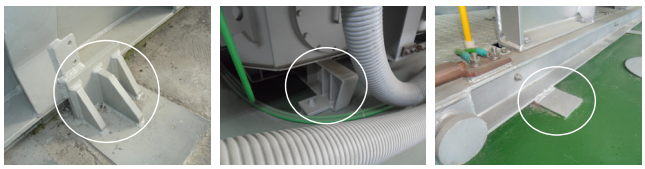
3.2 변전설비의 내진설계

변압기, 차단기, 가스절연개폐장치(GIS) 등 변전설비는 '전력용 변압기 선정기준(설계기준 DS-2501)'에 지진구역, 지반종류 및 내진등급을 고려하여 작성된 표준설계 가속도 응답스펙트럼 하에서 기기 고유의 기본적인 기능을 유지할 수 있도록 규정하였다. 변전설비의 내진설계등급은 345kV 이상 기기의 경우 내진Ⅰ등급을 적용하고 345kV 미만의 기기는 내진Ⅱ등급을 적용하여 왔으나 일본 동북부지역의 대지진으로 전력설비의 피해가 발생함에 따라 2011년 4월 이후 설치하는 154kV 이상의 모든 변전설비는 내진Ⅰ등급(리히터규모 6.3)으로 개정하여 설계기준을 강화하였다. 개정된 변전설비의 내진설계등급은 표5와 같다.[3]

<표 5> 변전설비의 내진설계등급

개정 / 등급	2011년 3월 이전		2011년 4월 이후
	345kV 이상	345kV 미만	154kV 이상
내진등급	Ⅰ 등급 (M=6.3)	Ⅱ 등급 (M=5.6)	Ⅰ 등급 (M=6.3)

변압기의 내진설계는 765kV 변압기의 경우 그림2의 (1)과 같이 콘크리트 기초에 기초판을 설치하고 변압기 본체와 용접하여 콘크리트 기초에 고정토록 하였으며 345kV 및 154kV 변압기는 설계지진력이 변압기 자체 중량에 의한 마찰력보다 1.2~1.7배이므로 그림2의 (2)와 같이 각 상당 4개의 볼트(345kV용 S45C M30, 154kV용 SS400 M20)로 콘크리트 기초에 고정하도록 하였다. 가스절연개폐장치(GIS)는 그림2의 (3)과 같이 콘크리트 바닥에 기초판을 설치하고 GIS 본체와 용접하도록 하였다.



(1) 765kV 변압기 용접 (2) 345kV 변압기 볼트고정 (3) GIS 기초판 용접

<그림 2> 변전설비 내진공법

배전반은 access floor에 설치할 경우 배전반 고정용 프레임(SS400, 125㎜×65㎜×6t)을 설치하고 배전반 base channel을 볼트(SS400, M16×4개/면)로 고정하며 콘크리트 바닥에 설치할 경우에는 배전반 고정용 플레이트(SS400, 120㎜×20㎜)를 배전반 전·후면 2열로 콘크리트에 매입한 후 배전반 base channel 내측 전·후면에 각각 3개소씩 용접하여 고정하며 배전반을 연접하여 설치할 경우에는 배전반 상호간을 1면당 볼트 3개로 결속하도록 하였다.

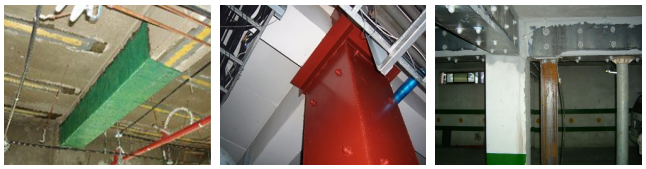
3.3 전력구의 내진설계

전력구는 보통상태의 땅속에 설치되어 지진이 발생할 경우 지반 속에서 자유롭게 진동하지 않고 주변의 지반에 종속되어 거동을 하게 됨으로 내진설계로 인한 철근량은 크게 증가하지 않는다. 그러나 일본 고베지진으로 발생한 관로, 맨홀, 구조물의 피해원인은 지반의 액상화로 인하여 발생하였으므로 전력구 설계 시 지반의 액상화 가능여부를 검토하고 그 결과에 따라 지반 보강공법을 포함하여 내진설계를 하여야 한다.

4. 기설 송변전설비의 내진보강 대책

4.1 변전소 건축물의 내진보강

변전소 건축물은 1992년 6월에 최초로 내진설계를 하였다. 1992년 이후에 건설된 변전소의 건축물은 내진설계를 하여 건설되었으나 1992년 이전에 건설된 224개 변전소의 건축물은 내진설계를 하지 않았다. 2011년 2월 내진설계가 되어 있지 않은 건축물에 대한 내진성능 평가 결과 슬래브, 보, 기둥, 지하외벽 등 일부에서 내진하중이 부족하였다. 이에 대한 보강공법으로 그림3과 같이 슬래브와 보는 섬유시트로 보강하고 기둥은 철판, 형강 또는 섬유시트로 보강하며 전단벽은 철근콘크리트로 단면을 증가하거나 섬유시트로 보강하도록 하였다.

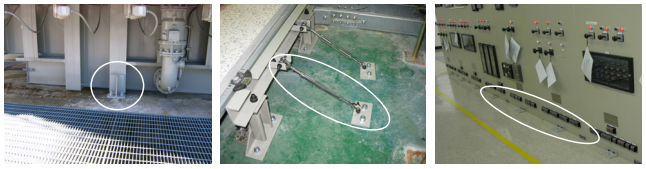


(1) 탄소섬유시트 보강 (2) 기둥 철판보강 (3) 기둥 형강보강

<그림 3> 변전소 건축물 내진 보강공법

4.2 기설 변전설비의 내진보강

기설 변압기의 내진보강 공법으로는 그림4의 (1)과 같이 변압기 본체에 플레이트를 용접하여 콘크리트 기초에 앵커볼트로 고정하는 공법을 적용하여 변압기 1,430대 등 주요 변전기기는 2005년 12월에 내진보강을 완료하였다. 배전반은 access floor 바닥에 설치된 경우 access floor 하부에 배전반 지지용 프레임 기초를 설치한 후 배전반의 전·후면 2개소에 base channel과 연결시키는 브라켓트를 볼트로 고정하고 프레임을 턴버클과 볼트로 콘크리트 바닥에 고정하며 콘크리트 바닥에 설치된 경우에는 배전반의 전·후면 중앙부에 base channel과 연결하는 브라켓트를 설치하고 콘크리트 바닥에 앵커볼트로 고정하도록 하였다. 기존의 변전기기 및 배전반의 내진보강 공법은 그림4와 같다.



(1) 변압기 앵커볼트 시공 (2) Access Floor 보강 (3) 배전반 앵커볼트 보강

<그림 4> 기설 변전설비 내진 보강공법

5. 결 론

2011년 일본에서 대지진(리히터규모M=9.0)이 발생함에 따라 345kV 미만 변전설비의 내진설계등급을 Ⅱ등급(M=5.6)에서 Ⅰ등급(M=6.3)으로 강화하여 송전설비, 변전설비, 전력구는 전압에 관계없이 전부 내진Ⅰ등급을 적용토록 하였으며 변전소 건축물은 건축법에 따라 특등급(M=6.4)을 적용하였다. 기설 변전설비는 내진보강을 완료하였으나 1992년 이전에 건설된 기존 변전소의 건축물은 내진설계가 되어 있지 않아 2013년 까지 내진보강을 완료할 계획이다.

[참 고 문 헌]

[1] 건축구조기준, 국토해양부고시 제2009-1245호., pp.82~86, 2009
[2] 송변전설비 내진설계 실무 지침서, 한국전력, pp129~157, 2003
[3] 변전설계기준(DS-2501 변압기 선정기준), 한국전력, pp,31~34, 2005