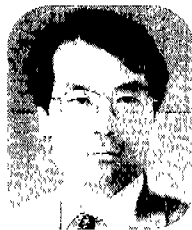


전력시설물의 내진설계



글/기술사 이 순 형

(주)선강엔지니어링 대표이사
건축설비기술사, 전기안전기술사

우리나라도 지진에 대한 안전지역이라고 할 수 없다. 최근 2~3년 사이에 지진의 빈도가 급격히 늘어나고 있으며 과거지진 기록을 토대로 조사한 바에의하면 규모 7.0이상의 지진이 발생한 경우도 있다. 최근 50년 동안에도 지리산 지진, 속리산 지진, 평양 앞바다의 황해 지진, 1978년 10월 7일에 발생한 홍성 지진의 경우 규모 5.0이상의 강도가 큰 지진이었고 최근에 들어와 국내 지진 횟수가 크게 늘어나고 또한 이와 같은 지진이 향후 대도시와 주요시설이 밀집된 지역에서 발생될 경우 우리나라와 같이 내진대책이 특별히 없는 경우는 그 피해가 막대할 것이다. 따라서 앞으로 시설될 건축물은 물론이고 전력시설물에 대해서도 내진설계(耐震設計)를 필요로 하여야 하고 특히 원자력발전소를 비롯한 주요댐과 발전소, 변전소, 전기철도, 공항, 지하시설물등과 같이 지진발생시에 재산피해와 인명피해는 물론 사회혼란이 클 것으로 예상되는 전력시설물에도 내진설계를 해야 한다. 그동안 국내외 자료를 기준으로 관심있게 연구한 부분을 이번 기회에 몇가지 소개하고 구체적인 전력시설물 설계기법에 대해서는 다음 기회에 소개하기로 한다.

3. 전력시설물의 내진설계 기법

(1) 내진대책

건축전기설비의 설계·시공에서 전력시설물의 내진은 중요시해야 하며 다음과 같은 부분에 중점을 두어야 한다.

- ① 중·소지진에 대하여는 변형전도를 강성범위내에 억제하여 지진피해를 최소로 억제해야 한다.
- ② 대지진에 대해 작은 피해는 허용하지만 건축전체 붕괴로 인하여 인명손실과 전력시설물의 정지로 인한 피해를 최소화 방지한다.

(2) 설계시 주의사항

1) 설비의 내진 중요도

전력시설물의 내진성은 건물의 사회적 중요도나 용도를 고려해서 등급을 설정한다. 중요도 등급의 구분은 2~5 단계 정도로 구분할 수 있지만 일반적으로 3단계(중요도 A, B, C)로 분류하면 다음과 같다.

① 중요도A

건물사용 목적에 따라, 건물의 기능유지상 중요한 설비나 재해시의 인명안전 확보상 중요한 설비에 대해 기능유지의 확보를 해야하는 전기설비

② 중요도B

손상 등으로 인해, 인명이나 중요설비 기능에 관한 2차 재해가 발생할 염려가 있는 설비에 대해,

전 력 시 설 물 의 내 진 설 계

손상방지나 안전을 고려해서 정지나 긴급차단의 지진 관계운전을 해야할 사항

③ 중요도C

그밖에, 설비기능에 관해 다소의 피해가 있어도, 비교적 간단히 보수, 복구가 가능한 것. 설계를 할 경우, 이러한 등급에 따라 각 설비별로 중요도를 결정하고, 전력시설물의 내진계산을 하여 적용한다.

2) 건물 및 설비계의 지진반응 예측

건물의 지진반응, 건물입지장소의 지반조건, 건물형상 구조종별 건물강성에 따라 다르며, 동일건물이라도 층에 따라 가속도, 변위가 다르다. 또한 건물내에 설치된 설비들은 지진입력을 받음으로써 반응치가 변화한다.

그러나, 이러한 지진입력을 설계·시공시점에서 정확히 예측하는 것은 곤란하므로, 일반적으로 다음과 같은 개략법으로 설계용수평지진산출을 위한 1계수(건물바닥 반응배율을 고려한 계수)로 사용한다.

즉 설계용수평지진력(F_H) 및 설계용수평진도(K)는 다음식의 수치로 된다.

$$F_H = K \cdot W$$

$$K = Z \cdot I \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_0$$

단, W : 기기의 중량(kg f)

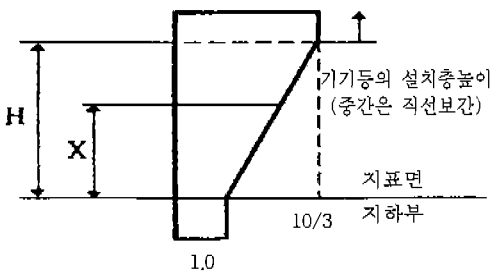
K : 설계용수평진도

Z : 지역계수 (0.7, 0.8, 0.9, 1.0)

K_1 : 건물의 지진반응배율을 고려한 계수

K_2 : 설비기기, 배관반응배율을 고려한 계수 (1.0~1.5~2.0)

K_0 : 기준진도 = 0.3



<그림 1> K_1 의 수치

$$K_1 = 1.0 + \frac{7}{3} \cdot \frac{X}{H} = 1.0 \text{ (1층 및 지하층)}$$

여기에 H : 건축물의 지상높이 (m)

X : 설비기기, 배관 등이 설치되어 있는 바닥의 지상높이 (m)

또한 옥상 부분은 $K_1 = \frac{10}{3}$ 으로 한다.

연직지진력 F_v 를 고려해야할 경우 $F_v = 1/2 F_H$ 한편, 변위에 대해서는 내진설계용층간변위로, 철골조, 철근콘크리트조 및 철골철근콘크리트조의 경우는 1/200 이하로 되어 있으며, 배관, 모선덕트, 케이블랙의 장착물로 중치부설이 될 경우는 그 변형 추종성을 확인해야한다.

3) 설비계의 적정배치

고압 및 특고압기기 및 배선의 배치에 따라서는, 지진입력의 영향정도에 따라 손상 또는 전도로 기능정지, 2차 재해발생으로 이어질 수도 있어, 고압용기기 및 배선설비는 적정배선로로 기획해야 한다.

구체적인 설계기법은 다음과 같이 들 수 있다.

- ① 중요도가 높은 전력용기기는, 작용하는 지진력이 비교적 적은 건물저층부에 배치한다.
- ② 지진입력으로 오동작할 염려가 있는 설비는, 작용지진력이 비교적 적은 아래쪽에 배치한다.
- ③ 공조, 위생설비의 다른 설비들에서 지진시 접촉으로 손상을 받지 않는 경로에 배치한다.
- ④ 점검, 확인 및 보수하기 쉬운 장소에 기획한다.

4) 사용자재의 강도확보

전기설비의 내진성검사항목으로 자재강도를 들 수 있다. 즉 지진입력으로 건물이 반응하고, 동시에 건물내 설치된 설비계도 반응한다.

이 때 생기는 분성력 및 변위는, 설비계각부위의 강도를 검토하는데 중요한 요소가 된다. 분성력에 대해서는 수평지진력으로 자재고정부에 가해지는 전단력(수평지진력에 의한 것), 인·장력(지

진입력으로 생기는 분성모멘트에 의한 것) 및 이러한 복합된 힘을 계산하고, 이 수치를 넘는 허용반응력도(단기)가 있는 자재를 사용한다. 변위에 대해서는, 층간변위 1/200에 대해 강도적탄성범위내에 있으며, 전기적문제가 없는 설계·시공을 한다.

5) 공진방지

전기설비의 기기 및 배선들은 건물의 지진반응에 대해, 공진이 없는 설계·시공으로 해야한다. 건물설계용 1차주기는, 정적으로 다음 식으로 구한다.

$$T1 = 0.028H \text{ (秒) (철골조)}$$

$$T2 = 0.020H \text{ (秒) 기타, 철근콘크리트조, 철골철근콘크리트조}$$

단, H : 건물의 지상높이 (m)

또 설비에 대해서는 자유진동성결에서 고유주기를 구하고, 건물과의 공진이 되지 않는 설계·시공을 해야한다.

6) 기능보전

지진중의 전력시설물의 운전에 대해서는, 다음과 같은 조건이 있다.

- ① 지진중에도 운전한다.
- ② 지진측정기로 감지하고, 지진정도에 따라 기기운전이 자동적으로 잠시 정지되거나 보수원이 수동으로 잠시 정지시켜, 지진후에 운전재개와 같은 두 가지의 큰 방식이 있으며, 또 지진후의 운전재개에 대해서도,
- ③ 자동적으로 재운전 개시 가능한 것
- ④ 점검, 확인후 재운전 개시 가능한 것

이상 두 가지 방식이 있는데, 무정전이 요구되는 특수한 용도의 부하를 제외하고는 상기 ②·④의 운전조건이 일반적으로 적용되고 있다.

그러나 지진중의 전원공급에 대해서 적극적으로자가발전설비를 운전하고, 신속하게 공급을 재개하는지의 여부는 여러가지 검토할 사항이 있으며 설계시 건축물의 중요도에 따라 적용한다.

(3) 내진설계에

1) 기초의 설계

수변전설비의 주요기기에는 변압기, 차단기, 피뢰기, 변성기, 콘덴서 등이 있고 대개는 콘크리트 기초로 되어 있다. 이것들은 모두 정지기기이므로 동하중이 가해지는 일은 없지만 설계 하중으로서 는 기기나 기초자체의 중량에 따르는 수직하중과 풍압과 지진에 의한 수평하중에 관해 안전율 2이상을 가지도록 설계하지 않으면 안 될 것이다.

또 설계상의 문제점으로는

- ① 될 수 있는대로 콘크리트의 소요량이 적을 것
- ② 출수, 설해 등에 대해서 충전부의 이격거리를 충분히 취할 수가 있을 것
- ③ 지하수 등에 의한 지반의 변화도 충분히 예측해 둘 것
- ④ 기기의 보수·점검작업에 편리하고, 안전함 배치나 형상일 것
- ⑤ 케이블피트 등이나 다른 구조물과의 관련에 대해서도 충분한 고려를 해야 하며 형상, 미관 등도 고려할 필요가 있다.

2) 기초의 강도계산

①수직하중

변압기, 차단기 등의 기기기초가 지반에 미치는 하중분포는 수직분포하중으로 기초저면에 작용하는 전하중 W (kg)는

$$W = W_1 + W_2$$

여기서 W_1 은 기기중량(kg), W_2 는 기초 콘크리트 중량(kg)이다.

즉, 지반의 허용지지력을 P (kg)라고 하면

$$W = P \cdot a \cdot b \text{ (} a \cdot b \text{ : 저면적(m}^2\text{))}$$

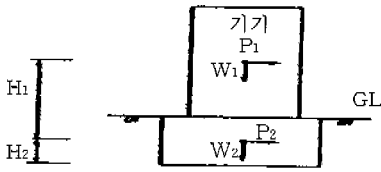
$$P = \frac{\text{내압한도}}{\text{안전율(2)}}$$

②전도 모멘트

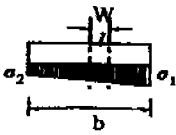
지진시의 수평력에 의한 하중은

$$P_1 = KW_1, \quad P_2 = KW_2$$

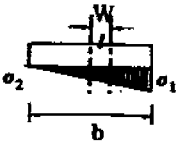
전력시설물의 내진설계



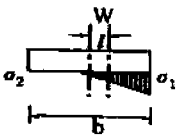
<그림 2> 기기의 기초



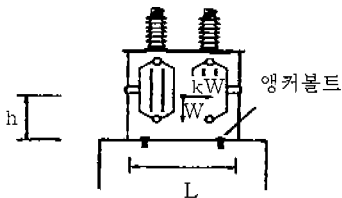
<그림 3-a>



<그림 3-b>



<그림 3-c>



<그림 4>

그런데, P_1 은 기기에 가해지는 수평하중 [kg], P_2 는 기초에 가해지는 수평하중 [kg]이다.

전도 모멘트 M_0 는

$$M_0 = P_1 H_1 + P_2 H_2$$

그런데, H_1 은 기기에 중심(重心) 높이 [m], H_2 는 기초의 중심높이 [m]이다.

합성작용점의 편심거리 l [m]은

$$l = \frac{M_0}{W} \text{ [m]}$$

에 의하여 l 의 안전검사를 한다.

(1) $l < \frac{1}{6} b$ 일때 (그림 3-a)

$$\sigma_1 = \frac{W}{ab} \left(1 + \frac{6l}{b}\right) \leq P$$

$$\sigma_2 = \frac{W}{ab} \left(1 - \frac{6l}{b}\right) \leq P$$

(2) $l = \frac{1}{6} b$ 일때 (그림 3-b)

$$\sigma_1 = \frac{2W}{ab} \leq P$$

(3) $\frac{1}{6} b < l < \frac{1}{3} b$ 일때 (그림 3-c)

$$\sigma_1 = \frac{W}{ab} \left\{ \frac{2}{3\left(\frac{1}{2} - \frac{l}{b}\right)} \right\} \leq P$$

계산치가 허용지내력도 P 보다 작으면 그 기초는 안정하다. 기초 두께는 기초저면에 균일하게 최대압축응력 σ 가 가해지고 저면적 $a \times b$ 의 1/2을 곱한 것이 기초 중심으로 구부러진 모멘트를 가하는 것으로 하고 이것에 견디는 두께 D 를 결정한다. 기초 중심의 구부러진 모멘트 M 은

$$M = P \cdot \frac{b}{4}$$

$$P = \sigma \cdot \frac{a \cdot b}{2}$$

$$\text{단면계수 } Z \text{는 } Z = \frac{aD^2}{6}$$

때문에 콘크리트의 허용곡 강도 σ_c 는

$$\sigma_c = \frac{M}{Z} = \frac{6ab^2\sigma}{8aD^2}$$

$$= \frac{3}{4} \times \frac{b^2}{D^2} \times \sigma < \sigma_{cmax}$$

그런데, σ_{max} 는 45~80 [t/m²]이다.

$$\sigma_{max} = 45 \geq \sigma_c = \frac{3}{4} \times \frac{b^2}{D^2} \times \sigma$$

$$\frac{D^2}{b^2} \geq \frac{3\sigma}{4 \times 45}$$

σ 를 5[t/m²]로 한다면 $D \geq 0.29b$ 가 되며, 이 식을 만족 할 수가 있다.

③ 앵커볼트의 강도계산

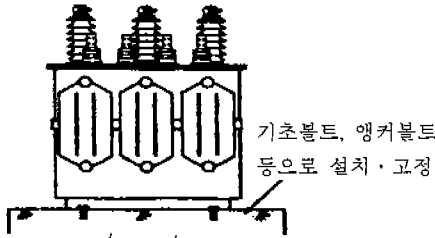
기기를 지지하는 앵커볼트에는 지진의 수평하중에 따른 인장응력과 전단응력이 가해져 온다. 앵커볼트 1개마다의 인장응력 P_i (kg)은

$$P_i = \left\{ \frac{2hK - L}{nL} \right\} W$$

그런데, K 는 진도, h 는 기기의 중심높이(m), L

3) 설계예

① 바닥설치의 경우



<그림 5> 변압기의 예

은 앵커볼트의 간격(m). n 은 앵커볼트의 개수, W 는 기기의 중량(kg)이다.

$$P_s = KW - \mu W$$

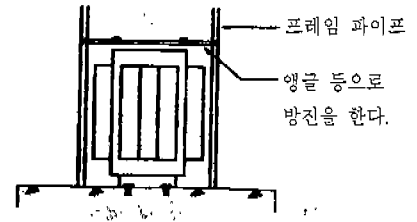
앵커볼트의 굵기 A 는 :

$$A = \frac{P_t}{\sigma} + \frac{n}{r}$$

앵커볼트의 길이 l 은 :

$$l = \frac{P_t}{\gamma \pi D}$$

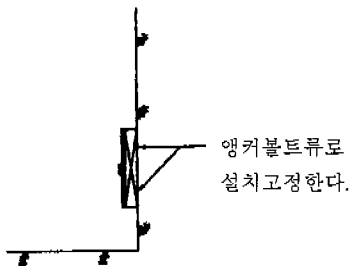
여기서 μ 는 기기와 기초의 마찰계수 0.3~0.4, σ 는 인장응력 1200(kg/cm²), r 은 전단응력 800 (kg/cm²), γ 는 콘크리트의 부착력 7~9 (kg/cm²), D 는 볼트의 직경이다.



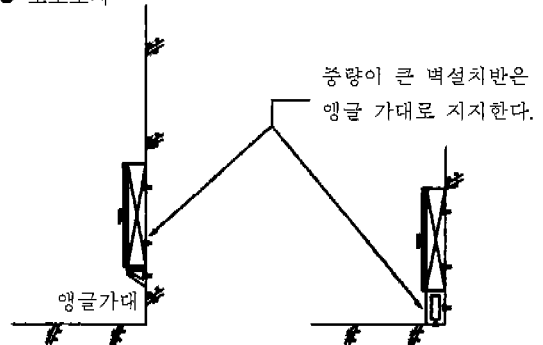
<그림 6> 입면도

② 벽면설치의 경우

● 기본조치



● 보조조치

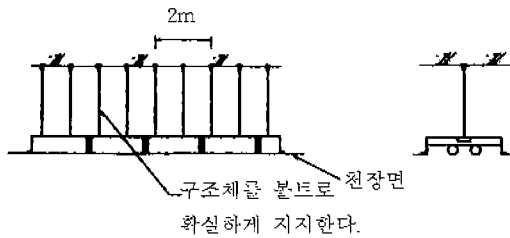


<그림 7> 중량물 예

전 력 시 설 물 의 내 진 설 계

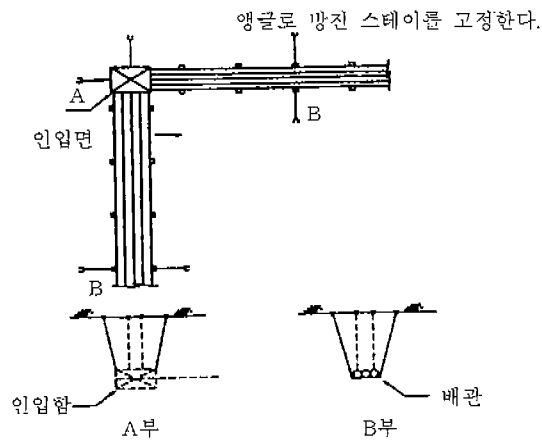
③ 천정설치의 경우

- 기본조치



<그림 8> 매립형 연결식 조명기구의 예

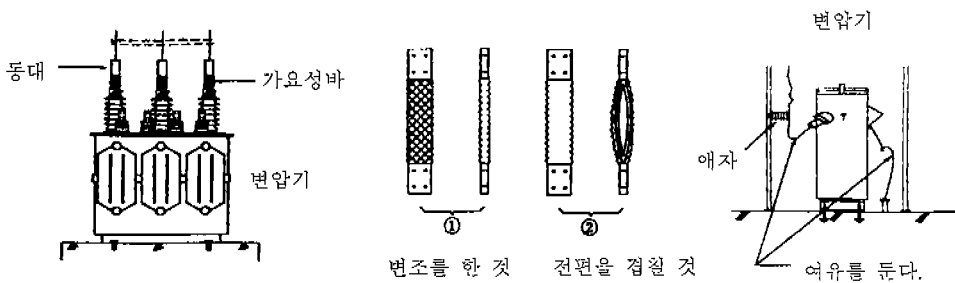
- 보조조치



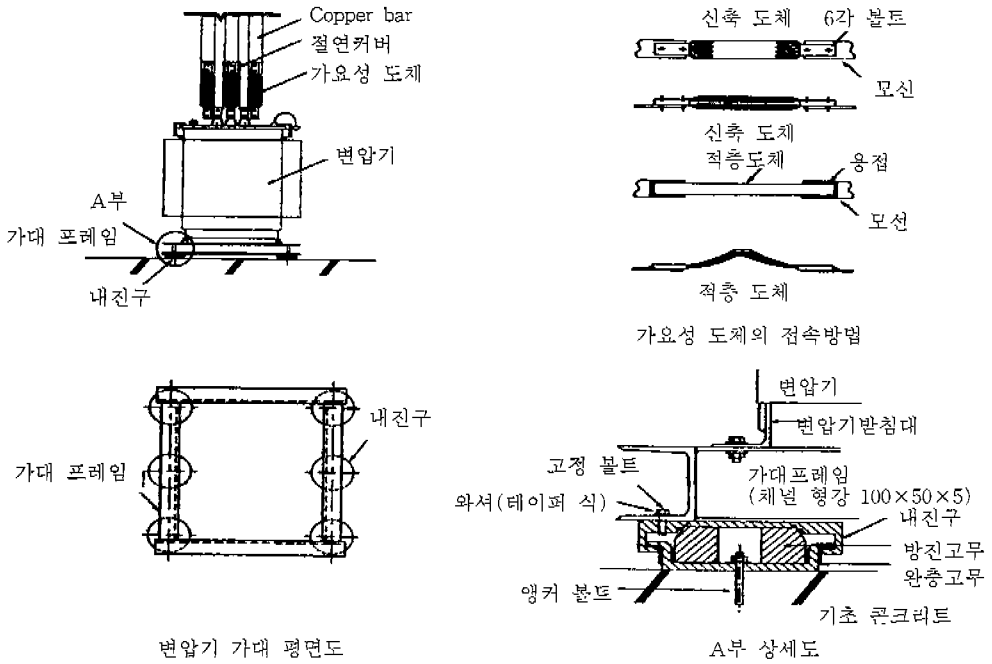
<그림 9> 노출배관의 예

④ 접속부의 경우

- 가요성이 있는 자재를 사용한다.
- 접속부의 배선에 여유를 둔다.



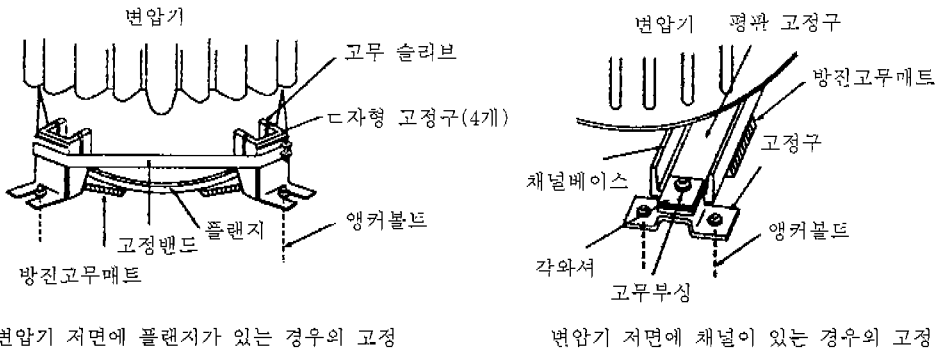
<그림 10> 가요성 설치의 예



<그림 11> 변압기 방진과 내진 (단위 : mm)

유의사항

1. 저압측을 Copper bar로 접속하는 경우 가요성 도체를 필히 사용한다.
2. 가요성 도체는 절연커버를 설치한다.
3. 변압기 받침대를 직접 내진구에 고정시킬 수 없는 경우 가대 프레임을 설치하고 고정시킨다.
4. 변압기 중량에 의해 내진구의 배치·개수·크기를 고려한다.

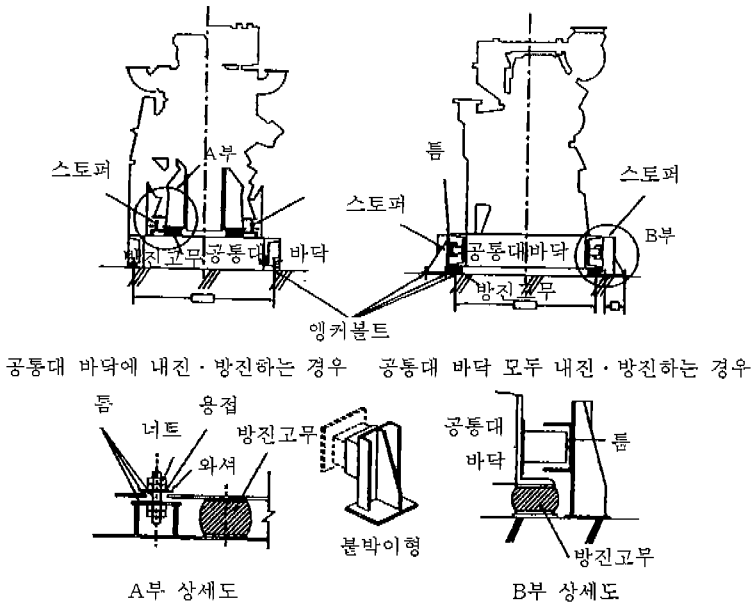


<그림 12> 소형변압기 방진과 내진 (단위 : mm)

유의사항

1. 변압기 용량·중량에 의해 적정 고무 매트를 선택한다.
2. 변압기에 대한 접속 전선은 여유가 있게 시설한다.

전 력 시 설 들 의 내 진 설 계

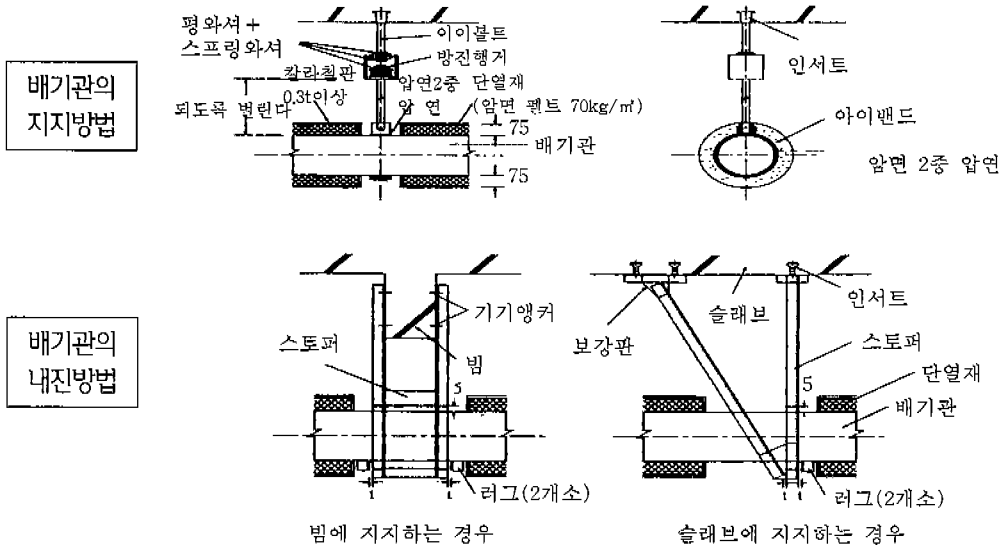


공통대 바닥에 내진·방진하는 경우 공통대 바닥 모두 내진·방진하는 경우

<그림 13> 발전기의 방진과 내진 (단위 : mm)

유의사항

1. 스토퍼와 본체와의 틈은 정상 운전 중에 접촉되지 않는 범위로 하고, 스토퍼와 본체와의 접촉면에는 완충용 고무관 등을 설치한다.



<그림 14> 배기관의 지지와 내진 (단위 : mm)

유의사항

1. 지지재는 2m이하마다 1개 설치한다. 단 신축 어음이나 행거 소음기 전후는 반드시 지지재로 보강 지지한다.
2. 스토퍼와 배기관 상하, 좌우 틈은 5mm로 한다. 또 러그와의 틈은 열팽창과 신축 이음, 위치를 고려한 후 결정한다.
3. 기계 앵커의 직경, 깊이를 기입한다.
4. 지지 강재의 치수 또는 직경을 기입한다.

<표 3> 설계진도의 적용사례

적 용 장 소	설 계 진 도 (g)
소양강댐	0.10
영산강 1단계 4개댐	0.05
금강 하구둑	0.12
영산강 2단계 하구둑	0.10
세만금 방조제 (계획)	0.12

주) 원자력 발전소는 설계진도 0.20이상을 적용한 사례도 있다.

4. 우리나라 건축물의 내진설계 기준

지금까지 관례적으로 적용되어 온 주요구조물의 설계진도의 적용사례는 표 3과 같다.

우리나라의 경우 1986년 12월 31일 개정된 건축법에 의하면 건축물은 지진에 대하여 안전한 구조를 가져야 한다고 규정하고 있으며 1992년 6월 1일 확정된 건축법시행령 및 시행규칙에 의하면 필요한 경우 지진에 대한 안전여부를 구조계산하도록 기초를 마련 했으며 1996년 1월1일 다음과 같이 강화했다.

① 연면적 1000㎡ 이상 3층이상 건축물, 경간 10m 이상인 건축물은 구조계산에 의하여 구조의 안전을 확인하여야 하며 층수가 5층 이상인 APT, 연면적 5000㎡인 판매시설 등

② 지진구역 2의 지역내에 건축하는 것으로써 당해용도에 사용하는 바닥면적의 합계가 1000㎡ 이상인 종합병원, 병원, 통신촬영 시설로써 방송국 및 전신전화국과 발전소, 공공업무시설, 바닥면적의 합계가 5000㎡ 이상인 관람집회실, 바닥면적의 합계가 5000㎡ 이상인 판매시설은 지진에 대한 안정성 여부를 검토하여야 한다. 우리나라의 내진설계 기준에서는 지진 위험도에 따라 전국을 지진구역 1,2,3의 3구역으로 각각의 구역에 대하여 지역

계수 0.04, 0.08, 0.12로 잠정 규정하고 있다.

※전력시설물에 대한 내진기준은 없음.

5. 결론

1997. 6. 26 발생했던 지진의 진앙지가 원자력 발전소가 몰려있는 양산단층대 부근이었으나 당국이 이를 2번이나 수정 발표하여 은폐했다는 의혹이 뒤늦게 제기되어 원자력 발전의 안전성에 대한 국민의 불안감을 고조 시키고 있다.

물론 한국전력공사 등은 규모 7이상의 강진에 견디도록 설계됐다고 하지만 이 단층대가 활성층일 경우 이 정도 이상의 큰지진이 발생할 위험이 충분히 있다.

앞으로 원자력 발전소 뿐만아니라 건축물의 전력시설물에 대한 내진설계도 새롭게 논의되어야 하고 건축물의 설계강화에 부응하여 우리 전기계에도 보다 구체적이고 실용가능한 내진설계 기준을 시급히 마련해야 한다.

특히 올해는 지진 2백년 주기설에 해당하는 해이니만큼 지진에 대한 대책을 더욱 더 강화하여 전력시설물 정지로 인한 제2차 재해 등 막대한 사회혼란과 인명피해를 막는데 우리전력기술인 모두가 노력을 기울여야 하겠다.

‘편안함’ 그것은 경계해야 할 대상이기는 마찬가지입니다. 편안함은 흐르지 않는 강물이기 때문입니다.

‘불편함’은 흐르는 강물입니다.

흐르는 강물은 수많은 소리와 풍경을 그 속에 담고 있는 추억의 물이며 어딘가를 희망하는 잠들지 않는 물입니다.

♡ 나무야, 나무야, 신영복