

초고층 건물의 배관시스템 설계 및 방진재 역할

강 승 찬

태영 기전부(k6093@taeyoung.com)

개 요

지진발생시 내진구조체에 의하여 건축물의 붕괴는 방지되었더라도 각종 배관·배선·장비류 등 건축물의 설비 시설물에 대한 기능마비와 그에 따른 2차 재해로 막대한 인명 피해 및 재산 피해가 우려되므로 설비분야의 내진설계 및 시공이 절실히 요구된다. 그러나 건축설비 항목별 지진하중 산정과 설비 구조해석방법, 부재단면설계 등에 관한 구체적인 기준이 없으므로 내진설계 및 평가자체가 불가능한 실정으로 국내 실정에 맞는 설비 내진설계 기준의 제정이 요구된다.

과거 일반 건물의 배관설계 시 온도차에 의한 열 응력(thermal)에만 국한되어 고려 되어 왔지만 건물이 점차로 고층화 되어짐에 따라 building movement, 즉 지진에 의해 발생하는 변위(seismic), 바람에 의해 발생하는 변위(sway), 건물 자체의 무게에 의한 비탄성 축소량으로 발생하는 변위(shortening)등을 고려하여 배관 설계가 이루어 져야 한다.

본 글에서는 초고층 건축물의 배관시스템 설계시 고려사항 및 건축물 내진설계에 있어 방진재의 역할에 대해 전반적으로 살펴보기로 한다.

내진 설계

내진설계 대상

우리나라의 내진 설계법은 지난 7월말 건축법 시행

령 개정안에서 지진발생에 따른 인명·재산피해를 줄이기 위해 현재 6층이상,연면적 3,000평 이상으로 규정된 내진설계 의무화 대상을 3층 이상이거나 300평 이상의 건축물로 대폭 확대 하여 시행하고 있다.

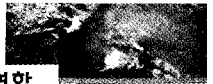
내진설계의 기본원칙

건축구조물에 있어서 내진설계란 앞으로 발생할 가능성이 있는 지진에 대하여 구조물이 안전하도록 설계하는 것으로 일반이 생각하는 것과는 상당한 차이가 있다. 아무리 큰 지진이 발생하더라도 구조물이 전혀 피해를 입지 않도록 하는 설계는 현실적으로 불가능할 뿐만 아니라 경제적인 부담이 지나치게 크기 때문에 내진설계(earthquake resistant design)는 최소의 피해를 대비한 경제성과 안전성을 동시에 고려하는 것이 어찌면 그 절대원칙 이라고 할 수 있다.

건축구조물의 내진시스템으로 인한 배관의 변위발생 시 배관과열로 인한 인명피해 및 배관 파손에 의한 손실 피해를 최소화 하고 향후 복구 시 최소의 복구기간 및 복구비용을 절감하여야 한다. 이는 제진 배관 시스템을 통하여 구축할 수 있으며, 배관의 제진시스템은 배관의 열적 신축+건물 Sway+내진 진도 변위량을 동시에 흡수할 수 있도록 유도한다.

국내 내진적용 규정 및 진도 산출 적용근거

국내 내진 설계는 건축 법으로 규정되어 있고 자연 재해 대책법 지진 방지대책의 제34조에 법정 내진설



계 대상물 설계를 시행 할 것을 규정하고 있다. 진도 양의 산출은 지진하중에 대한 저항능력, 상대변형에 견딜 수 있는 능력 등을 고려하여 지진위험도와 가속도계수(1구역A=0.007, 2구역 A=0.14),지반의 영향(1.0, 1.2, 1.5, 2.0)에 따라 내진등급을 가속계수에 따라 내진등급을 2개 등급으로 구분한다.

지진의 크기를 나타냄에 있어서는 지진의 규모(magnitude)의 한 척도인 리히터 규모와 진도(intensity)로 나타내는데 이들의 가장 큰 차이점은 리히터 규모는 진앙(지진이 발생한 지점)으로부터의 거리가 보정된 값이라는 것이며 진도는 지진 발생 위치에서 지진의 크기를 나타낸 것 이다. 이는 지진의 영향이 가장 큰 진앙에 서있을 때와 진앙으로부터 거리가 떨어진 영향을 좀 덜 받는 곳에서 있을 때에 리히터 규모로 계산된 지진 규모는 동일하며 반면에 진도는 거리가 멀어질수록 약해진다는 것이다. 리히터 규모와 진도사이에는 수식화된 구분보다는 현상에 따른 구분이 가능하다.

내진 설계(Seismic) 규정

건축법 제38조 제2항의 규정에 의하여 다음 각호의 1에 해당하는 건축물을 건축하거나 대수선하는 경우에는 건설교통부령이 정하는 구조기준 및 구조 계산에 따라 그 구조의 안전을 확인하여야 한다.

- 1) 층수가 3층 이상인 건축물
- 2) 연면적이 1천 제곱미터 이상인 건축물
- 3) 높이가 13미터 이상인 건축물
- 4) 처마높이가 9미터 이상인 건축물
- 5) 기둥과 기둥 사이의 거리(기둥이 없는 경우에

는 내력벽과 내력벽사이의 거리를 말한다)가 10미터 이상인 건축물

비구조 부재의 지진하중(국내기준)

내진설계의 기본이 되는 비구조 부재의 수평하중의 국내기준은 다음 식에 의해 산정한다.

$$F_p = A I E C_p W_p \tag{1}$$

- 여기서, F_p : 수평지진하중
- A : 지역계수
- $I E$: 중요도계수
- C_p : 수평하중계수
- W_p : 비구조 부재의 전중량

단, 지반의 하부 또는 지반에 설치된 시설물에 대한 수평지진하중은 다음 식(2)에 의한다

$$F_p = A S_a C_s W_p \tag{2}$$

- 여기서, S_a : 설계용 스펙트럼에 의한 가속도
- C_s : 지반계수
- W_p : 비구조 부재의 전 중량

식 (1)에 의한 지역계수와 중요도 계수는 표 2와 표 3에 명시된 값을 적용하며, C_p 는 강접합으로 이루어진 시설물에 대한 수평하중 계수로서 다음과 같은 값을 사용한다.

- (1) 굴뚝, 트러스, 구조의 탑, 구조물에 지지된 탱크, 간판, 광고탑, 건물 내·외부에 부착되는 장식물, 외장재 및 부속물.....2.0
- (2) 위 항에 명시되지 않은 기타의 비구조 부재.....0.75

〈표 1〉 현상에 따른 MM(수정 메르칼리 진도계급) 진도 및 리히터 규모

MM진도계급	리히터 규모	현 상
진도 1	3.4	지진계에만 기록됨
진도 2-3	3.5-4.2	일부 실내에 있는 사람들만 느낌
진도 4-5	4.3-4.8	많은 사람들이 느낌, 창문이 흔들림
진도 6-7	4.9-5.4	모든 사람들이 느낌, 그릇이 깨짐, 방문이 왔다갔다함
진도 8	5.5-6.1	건물의 경미한 피해, 회벽에 금이 감, 벽돌이 떨어짐
진도 9	6.2-6.9	건물의 심한 피해, 굴뚝이 무너짐, 집들이 토대위에서 움직임
진도 10	7.0-7.3	심한피해, 교량이 뒤틀림, 벽에 금이 감, 많은 석조건물이 무너짐
진도 11	7.4-7.9	엄청난 피해, 대부분의 건물이 붕괴됨
진도 12	8.0-	5-10년마다 1번 완전폐허, 파의 운동이 지표면에서 관찰됨, 물체들이 공중으로 던져짐

<표 2> 지역계수(제14조제2항관련)

지진구역	해 당 행 정 구 역		지역계수
I	시	서울, 부산, 대구, 인천, 광주, 대전, 울산	0.11
	도	경기도, 강원도 남부(영월, 정선, 삼척, 강릉, 동해, 원주, 태백), 충청북도, 충청남도, 경상북도, 경상남도, 전라북도, 전라남도 북동부(장성, 담양, 곡성, 구례, 장흥, 보성, 화순, 광양, 나주, 여수, 순천)	
II	도	강원도 북부(홍천, 철원, 화천, 횡성, 평창, 양구, 인제, 고성, 양양, 춘천, 속초), 전라남도 남서부(무안, 신안, 완도, 영광, 진도, 해남, 영암, 강진, 고흥, 함평, 목포), 제주도	0.07

<표 3> 중요도 계수(제14조 제2항관련)

중요도구분	건축물의 용도 및 규모	중요도계수(IE)	
		도시지역	그 외의지역
특	· 연면적이 1천 m ² 이상인 위험물 저장 및 처리시설, 병원, 방송국, 전신전화국, 소방서, 발전소 국가 또는 지방자치 단체의 청사 · 외국공관, 아동관련 시설, 노인복지시설, 사회복지시설 및 근로복지시설 · 15층 이상 아파트 및 오피스텔	1.5	1.2
1	· 연면적이 5천 m ² 이상인 공연장, 집회장, 관람장, 전시장, 운동시설, 판매 및 영업시설 · 5층 이상인 숙박시설, 오피스텔, 기숙사 및 아파트 · 3층 이상의 학교	1.2	1.0
2	· 중요도 구분 특 및 1에 해당하지 아니하는 건축물	1.0	0.8

초고층 건물의 배관시스템 설계시 고려사항

배관 열신축

배관응력해석 프로그램(CAEARII)을 적용하여 1차적으로는 배관의 탄성력을 이용한 Natural Bend 를 유도하고 2차적으로는 신축변위량이 큰 곳에 조인트를 적용한다.

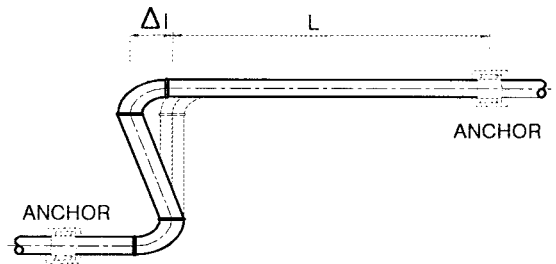
1) 열적 선폽창(Thermal Expansion)

금속의 경우 온도가 올라가면 내부의 열 에너지가 증가하기 때문에 물질을 구성하고 있는 분자의 운동이 활발해지고, 분자의 거리가 약간 커지며 팽창하게 된다. 배관의 열팽창은 배관재질에 따라 즉 배관이 가지고 있는 선폽창율에 따라 다르며 배관의 선폽창은 다음과 같은 식으로 정의 될 수 있다.

$$\Delta l = l \times \alpha \times \Delta t$$

Δl : 배관의 팽창량

α : 배관의 선폽창계수

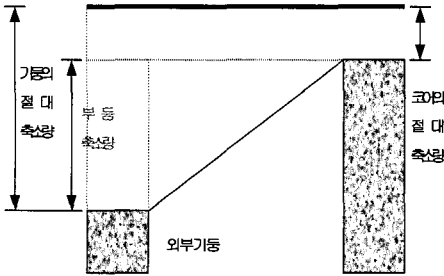
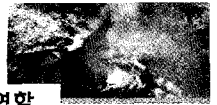


[그림 1]

Δt : 온도 변화

L : 배관길이

열공급 시스템이 지역난방 및 중앙난방일 경우 가장 기본이면서 가장 많은 비중을 차지하는 변위이지만 최근 개별난방 SYSTEM이 많이 적용됨에 따라 약간은 등한 시 되는 변위라고 생각될 수 있으나 일상적인 T(하절기 : 40℃, 동절기 : -20℃, 최대 60℃의 ΔT 가 존재)만으로도 일반 아파트의 가스 배관에 자연적인 신축이음인 LOOP를 사용하는 것을 보면 결코 등한 시 되어서는 안될 변위라고 할 수 있다.



[그림 2] 절대축소량 및 부등축소량 개념

종 류	영 향 인 자
탄성 축소량	하중, 탄성계수
크리프 축소량	특정크리프 계수, 하중, 가력시점, 가력시간, 체적-표면적비, 상대습도, 철근비
건조수축 축소량	극한건조수축 변형도, 경과시간, 체적-표면적비, 상대습도, 철근비

[그림 3] 축소량에 영향을 미치는 요인

<표 4> 국내 풍하중 기본 기준

등급		지역구분	설계 기본 풍속	노풍도
I	내륙	서울, 김포, 대전, 광주, 수원, 진천, 나주, 순천, 오산	35(30) m/sec	B
II	해안	여수, 목포, 완도, 천안, 아산, 홍성, 김해, 마산, 울산	35 m/sec	C
III	해안	속초, 강릉, 부산, 군산, 양양, 제주, 서귀포	40 m/sec	C
IV	섬	울릉도, 포항, 경주(감포읍)	45 m/sec	C

건물 SHORTENING에 의한 배관영향

1) 입상배관 Shortening 산출 근거자료

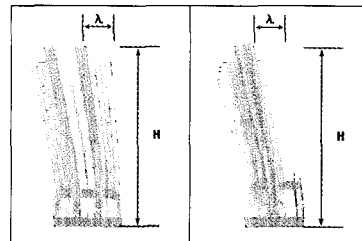
탄성축소 크리프(Creep) 건조수축의 요인에 의해 발생하게 되는 기둥축소(Column Shortening)는 최근 고층 건물이 붐을 이루면서 알려진 용어로, 건물이 고층화 됨에 따라 수직부재에 적용하는 큰 수직 하중은 기둥이나 전단벽 등을 과도하게 축소하게 하고 누적된 연직하중에 의하여 발생하는 기둥의 축소량이 구조체 비구조체에 미치는 영향을 Shortening이라 한다. 기둥의 축소량은 그 기둥의 분담면적에 따라 작용하는 하중, 즉 수직하중에 의한 응력비에 의하여 결정된다. 일반적으로 외부기둥과 내부기둥의 하중은 기둥사이의 스패이 일정하다면 그 분담면적에 따라 1:2 정도의 비가 되므로 이러한 하중의 차이에 의해 두 기둥사이에 수직방향의 부등축소량이 발생할 수 있다. 축소량은 크게 절대축소량 및 부등축소량의 두 가지로 나눌 수 있다. 절대 축소량은 기둥 및 코어 각각에 발생하는 축소량을 의미하고 부등축소량은 인접부재와의 상대적인 축소량을 의미한다.

포틀랜드 시멘트 협회(portland cement association)에 따르면 총 축소량은 탄성축소량 및 비탄성 축소량

(크리프 축소량, 건조수축 축소량)으로 구성되는데 각각에 영향을 미치는 인자는 다음과 같다(그림 2, 3).

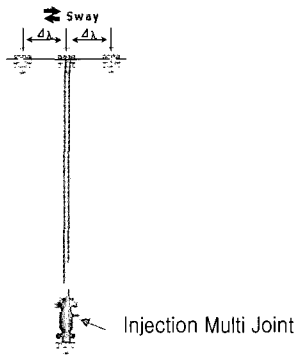
풍속, 지진 강도 8도(MM)의 내진설계에 따른 건축구조물의 운동에 입상배관 영향

건물의 외적 영향 중 풍압에 의한 좌우 Deflection을 말하며 최상층의 변위량은 건물에 따라 다소 차이가 있지만 통상 건물의 높이에 비례하여 건물높이(H)/400(허용변위비)로 산출되며 좌우 변위각은 $\tan^{-1}(H)$ 로 산출된다. 국내 지역에 따른 설계 기본 풍속은 표 4와 같이 KS 구 기준으로 ANSI/ ASCE 7-93의 노풍도를 적용한다.



[X방향 변위 모드 형상] [Y방향 변위 모드 형상]

[그림 4] 풍압에 의한 Building Sway



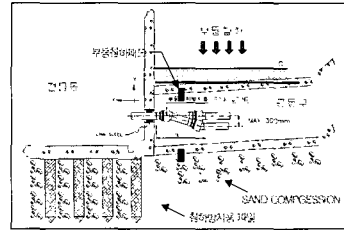
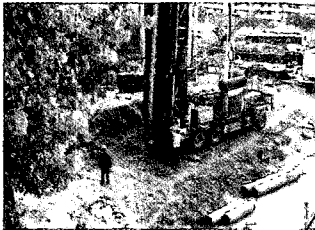
[그림 5]

- 최상층 변위량 = $H (1/400)$
- 변위각 = $\tan (/ H)$
- 최대 풍속 30 m/s (국내 풍속 기준 적용)
- 허용 변위 비는 지역, 현 설계규정, 설계자 안전을 등에 따라 다소 차이가 있음.
(국내 적용 허용비 1/400 ~ 1/600)

건물외부 인입 배관 부등침하

- 1) 건물 외부 인입 배관 Joint 적용 기술적 검토 (그림 6)
- 2) 적용사례(부등침하 관련)(그림 7)

- 부등침하 대책은 구조물과, 각 기초에 작용하는 하중을 균등하게 하고, 기초구조를 보강하여 같은 지지층에 시공하고 또한 지반을 개량하여 침하를 억제 하는것 등이 있다. 하지만 미연에 방지를 못하고 불균등한 침하가 발생하여 배관의 치명적 파괴를 야기시킬 경우 적당한 곳에 부등침하용 조인트를 설치하여 배관의 파열을 방지하는 것이 바람직하다.



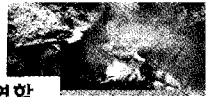
건물의 침하를 방지하기 위하여 지정(말뚝지정)공사를 하고 있는 사진

건물과 공동구 사이의 침하, 또는 매립배관이 건물로 진입하는 배관(시수, 가스, 소화, 스팀, 온수 등)은 건물 및 배관의 침하를 방지하기 위하여 침하방지용 조인트를 설치하여야 한다.

[그림 6] 건물 외부 인입 배관 Joint 적용 기술적 검토

<p>제품 적용 사례</p>		
<p>현장 설치 사진</p>		

[그림 7] 적용사례(부등침하 관련)



3) 부등침하 관련 하자사례(그림 8)

건축물 내진설계에 있어서 방진재 역할

일반적인 개념에서의 방진재

1) 장비에서 발생하는 진동의 전달을 최대한 차단함으로 구조물의 위험 요인들을 제거하며,

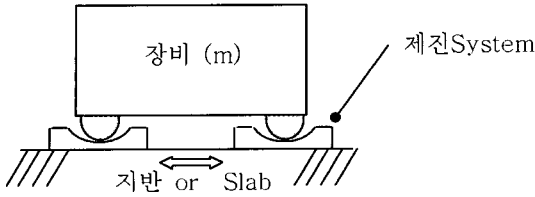
2) 진동으로 인해 야기되는 2차적 소음을 방지한다.
 3) 장비 자체의 불균형을 흡수하여 장비 베어링 등에 가해지는 에너지를 흡수, 장비의 수명을 연장시킨다. 건축물이 내진 설계로 채택 되면 내부 설비들은 표 5와 같이 내진 대책 또는 면진 대책을 세우게 된다. 선진 외국의 경우 고가의 장비들은 면진 대책을 세고 있으나 일반 설비 장비

하자사례	하자원인
	<p>매립 배관의 증온수, 급수 배관으로써 공동구 인입부의 부등침하에 의한 파열발생. 몇 차례의 하자가 발생 하여, 단지 보수 작업만으로 배관을 유지하였으나 잦은 하자로 인한 경제적 손실 발생됨. 추후 부등침하를 흡수할 수 있는 조인트를 선정하여 배관의 안전성을 고려 하여야 한다.</p>
	<p>지반의 매립 배관으로 연약 지반에 배관을 매설 시공 하였으나, 외부 하중, 지반의 건조수축, 지하수 배수에 의한 지반의 부피 변화, 기초파괴, 계절적인 변화 등으로 인하여 파열된 경우이다. 또한, 열팽창에 의한 영향도 미치므로 부등침하 및 열팽창을 흡수할 수 있는 조인트를 선정하여 배관의 안전성을 고려 하여야 한다.</p>

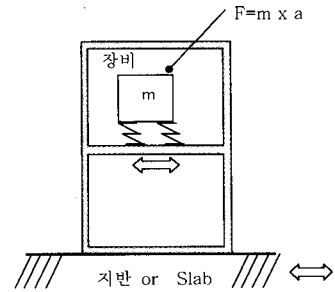
[그림 8] 부등침하 관련 하자사례

<표 5> 내진대책

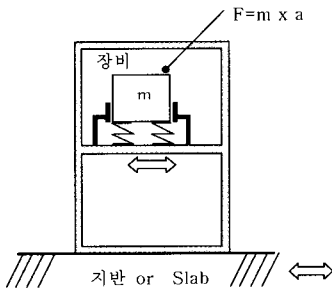
	건축구조물	건축설비	적용장비	대책비용
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-right: 20px;">지진대책</div> <div style="font-size: 2em;">}</div> <div style="margin-left: 20px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">내진대책</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">면진대책</div> </div> </div>		<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="font-size: 2em; margin-right: 10px;">}</div> <div style="margin-left: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">내진대책</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">면진대책</div> </div> </div>	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="font-size: 2em; margin-right: 10px;">}</div> <div style="margin-left: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">일반설비</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">고가의장비</div> </div> </div>	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="font-size: 2em; margin-right: 10px;">}</div> <div style="margin-left: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">저가</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">고가</div> </div> </div>
		<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="font-size: 2em; margin-right: 10px;">—</div> <div style="margin-left: 10px;">내진대책</div> </div>	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="font-size: 2em; margin-right: 10px;">—</div> </div>	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="font-size: 2em; margin-right: 10px;">—</div> </div>



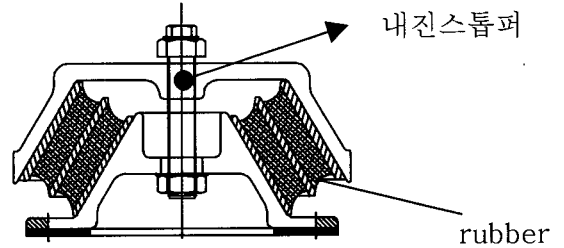
[그림 9] 장비의 면진 설계 SYSTEM



[그림 10] 내진처리가 없는 방진재



[그림 11] 내진스토퍼가 설치된 경우



[그림 12] 내진용 방진재

들은 내진 대책을 세우는 추세이다. 지진 발생시 방진재 자체만으로 지진력을 완화 하는 역할은 하지 못한다. 만약 지진력을 흡수 완화하는 기능을 도입 하고자 한다면 장비에 대해 면진 개념을 도입하여야 한다.

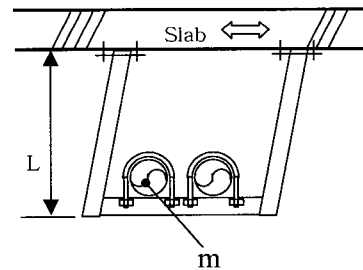
건축 설비의 형태별 내진설계

내진 설계된 건축물의 내부 설비는 지진 발생시 면진 건축물과 비교하여 더욱 세심한 주의를 기울일 필요가 있다.

1) 바닥 고정형

내진 건축물은 장비 기초 변위가 크기 때문에 방진 기초에 가해지는 가진력(F)은 장비의 질량 (m)과 지진의 가속도(a)에 비례하는 힘이 방진재, 양카볼트, 기초 콘크리트에 차례로 가해지게 됨으로 이들중 어떤 취약부가 파괴되어 장비가 전도되는 결과를 초래한다.

그림 11은 내진 스토퍼가 설치된 방진재 설치의



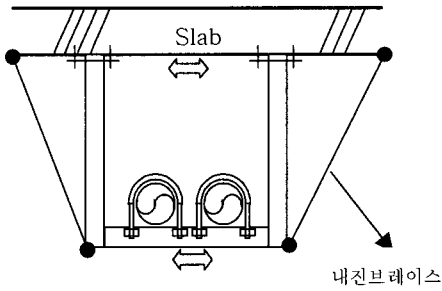
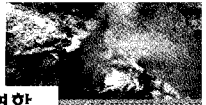
[그림 13] 내진장치가 설치되지 않은 횡주관

경우의 예이다.

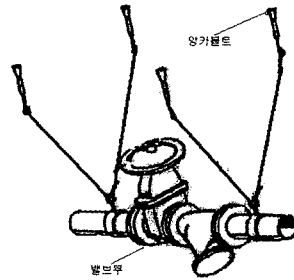
무게 중심이 낮은 경우에는 방진재 자체에 내진 스토퍼 장치를 설치하며, 무게 중심이 높은 장비들은 좌측 그림처럼 별도의 스토퍼를 설치하여 장비의 전복을 막는다.

2) 천정 고정형

천정에 매달리는 설비들은 질량(m)위치와 양카 볼트와의 거리(L)가 길기 때문에 가대나 고정볼트 부위가 뽑혀 파괴 될 수 있다.



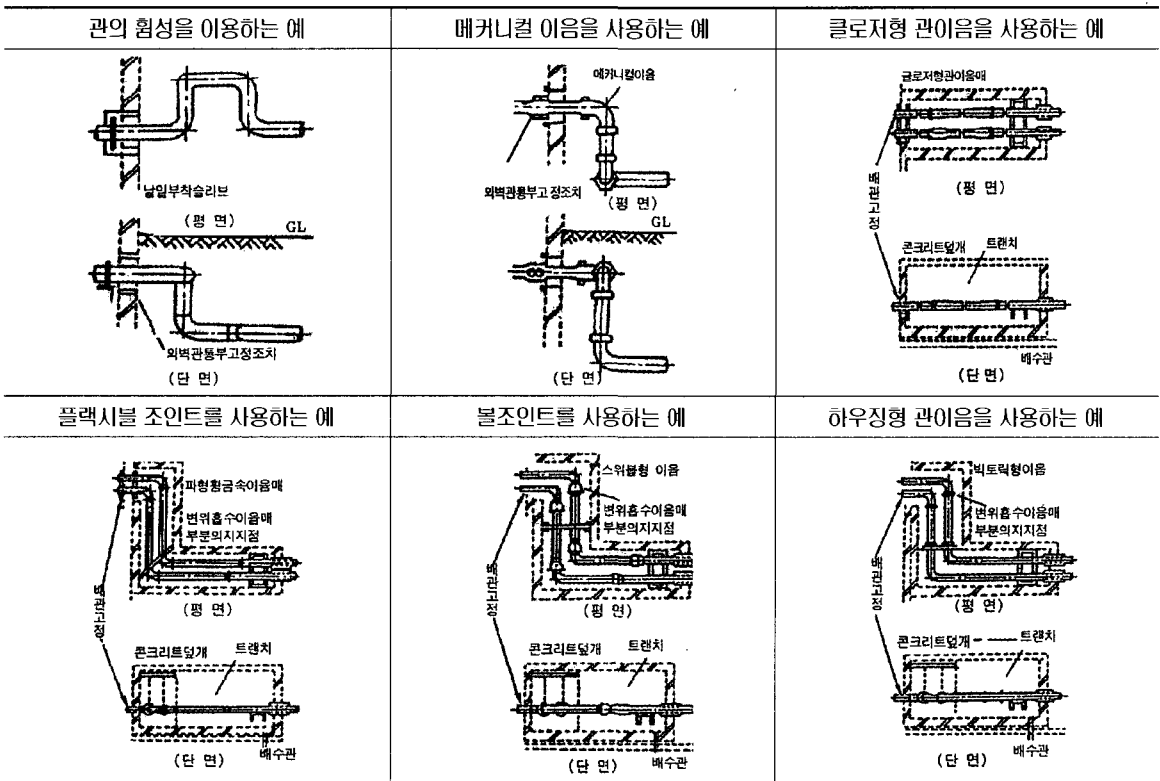
[그림 14] 내진장치 횡주관에



[그림 15] 배관도중에 집중하중이 있을 때 지지 방법의 예

<표 6> 횡주배관의 지지간격

호칭경(A)	15	20	25	32	40	50	65	80	100	125	150	200 이상
일반배관	1.0	1.0	1.5	1.5	1.5	2.0	2.5	2.5	2.5	3.0	3.0	3.0
냉매배관	2.0	2.0	2.0	2.0	2.5	2.5	3.0	-	-	-	-	-



위 그림과 같이 트랜치를 설치할 경우는 건축물과 구조적으로 일체화시키지 말것 예를 들면 삽입근(joint bar)으로 일체화하는 것은 피한다. 따라서 배관은 건축물에서 고정하고 트랜치측 출구는 플렉시블한 되메우기로 한다. 또, 트랜치 내에 배수장치를 설치한다.

[그림 16] 건축물 도입부의 배관에

횡주관의 내진 설계는 Slab와 가대의 고정부 앵카볼트의 크기, 앵카볼트 깊이설계, 배관가대의 강성 설계 또는 내진 보강용 브레이스를 설치하는 방법들을 들 수 있다.

배관 도중에 특히 중량이 큰 설비를 매달아야 할 경우는 중량에 맞는 특별한 조치를 취하여야 한다.

3) 배관의 내진 지지 방법

지진의 영향을 받지 않도록 하기 위한 강관의 지지 간격은 표 6 이상으로 하여야 한다.

4) 건축물 도입부의 배관

지반의 상태가 아주 불안정 하여 건축물과 지반간에 변위가 생길 우려가 있는 경우 건축물 도입부의 배관 등에 설비하는 내진 조치의 예를 나타낸다. 변형량은 일반적인 면진 건축물의 경우 약 300 mm ~ 500 mm 정도이며, 내진구조 건축물의 경우 건축물의 변위가 상대적으로 작으므로 지반 침하에 대한 대책으로 지반조건에 따라 도입부에 신축 이음을 강구 할 수 있다.

5) 입상배관

입상 배관은 지진에 의한 관축 직각방향의 과대한 변형을 억제하고, 동시에 건축물의 층간 변위에 따르도록 내진 지지하며, 기본원칙은 다음과 같다.

- ① 수직 배관의 내진지지 간격 범위의 예는 표 7과 같다. 이표는 구조물의 층간 변위각 1/100을 나타내고 만약, 구조물의 변위각 1/200의 경우 지지간격을 크게 할 수 있지만 실무상 이 표를 이용하여도 무방하다.
- ② 덕트의 경우는 각 층마다 자중 지지함으로써 과대 변형을 억제토록 한다.

건축설비에서의 대표적 피해 요인

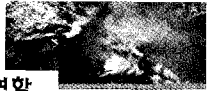
건축설비계의 대표적 지진피해 요인

- 1) 바닥 위 설치 기기의 주요 피해 요인
 - ① 앵커볼트 등이 부착되어 있지 않은 것.
가벼운 것에서 무거운 것까지 중량에 관계없이 이동, 전도 등에 의해 기기가 손상되고 있다.
 - ② 콘크리트 기초의 파손

<표 7> 관경 및 재질별 지지간격

호칭경(A)	SGP 공관(空管)		SGP 만수관(滿水管)		STPG38 SCH40 만수관(滿水管)	동 관(銅管)	
	용접접합	나사접합	용접접합	나사접합	용접접합	공관(空管)	만수관(滿水管)
25	-	-	-	-	-	1~2.4	1~2.4
32	-	-	-	-	-	1~3.0	1~3.0
40	-	-	-	-	-	1~3.5	1~3.5
50	-	-	-	-	-	1.5~4.6	1.5~4.6
65	2~6.4	3~6.4	2~6.5	3~6.5	1.5~6.4	1.5~5.7	1.5~5.7
80	2~7.5	3~7.5	2.5~7.5	4~7.5	2~7.5	2~6.8	2.5~7.5
100	3~9.7	4~9.7	3~9.7	5.5~7.0	2.5~9.6	2.5~9	2.5~8
125	3.5~11.9	5~11.9	3.5~12	-	3~11.9	3~11.2	3.5~8.5
150	4~14.1	6~14.1	4.5~14.2	-	3.5~14.1	3.5~13.4	4~8.5
200	5~18.6	8~17.5	6~12.5	-	4.5~18.5	4.5~17.5	5.5~9.5
250	6~23	10.5~18.5	7.5~14.0	-	5.5~19.5	5.5~19	7.5~9.5
300	7.5~27.5	13~18.5	10.5~12	-	6.5~21.5	6.5~20.5	-
350	-	-	-	-	7.5~21.5	-	-

층간 변위각 R=1/100



콘크리트 기초에 매입된 앵커볼트의 모서리 간격의 치수가 불충분한 것은 콘크리트 기초의 가장자리가 파손되어 앵커볼트가 빠져버리고 기기 등이 이동, 전도되어 손상되고 있다.

③ 앵커볼트의 매입이 불완전한 것.

앵커볼트에서 노출 내면이 너무 편편하고 미끄러워서 충전한 모르타르의 부착이 제대로 안되었거나 충전한 모르타르의 강도가 부족한 것은 앵커 볼트가 빠져나가 기기 등이 이동, 전도되고 있다.

④ 앵커볼트와 고정철물의 강도 부족

앵커볼트와 고정철물의 강도가 부족한 것은 이것들이 파손되어 기기 등이 이동, 전도되고 있다.

⑤ 불안정한 콘크리트 기초

독립 혹은 보 모양의 뒷면 높은 콘크리트 기초를 바닥 슬래브와 단단히 연결하지 않고 기기 등을 설치한 것이, 콘크리트 기초마다 이동, 전도되고 있다.

⑥ 가대 등의 강도 부족

철골가대 위에 설치된 기기가 가대의 부재강도가 부족하거나, 부재의 접합법이 부적절했기 때문에 가대 본체가 손상되어 버리고 전도되고 있다.

2) 천장행거, 벽걸이 기기의 주요 피해요인

① 행거볼트 등에 내진지지재를 설치하지 않은 것.

기기 본체가 진자모양으로 크게 흔들려 행거볼트가 빠져나간 것. 혹은 다른 기기나 배관 등과 충돌하여 파손되거나 떨어지고 있다.

② 매달이 부착철물 등의 강도 부족

매다는 곳이나 기구 접속부가 파손되거나 떨어지고 있다.

③ 매입철물 등의 강도 부족

매입철물이 파손되거나, 구체에서 빠져 떨어지고 있다.

3) 방진기기의 주요 피해 요인

① 내진스토퍼가 설치되어 있지 않은 것

기기 본체가 크게 이동하거나 전도된 것 혹은, 방진스프링 등이 튀어나와 버린 것 등이 있다.

② 내진 스톱퍼가 불완전한 것

수평방향의 변위만을 막는 내진스토퍼, 혹은 이동방지형 스톱퍼이기 때문에 스톱퍼를 뛰어 넘어버리는 것과 스톱퍼 볼트에 너트가 단단히 조여있지 않

아서 볼트에서 빠져나와 버린 것 등이 있다.

③ 증량기기의 상부변위량이 큰 것

변압기 등에서는 이동, 전도방지형 스톱퍼를 사용한 경우라도 상부변위량이 커서 이차도체 및 방진가대가 파손되는 경우가 있다.

4) 배관, 덕트, 전기배선 등의 연속체의 주요 피해 요인

① 기기 등의 이동, 전도 등에 의한 것

기기 등이 이동, 전도했기 때문에 이것과 접촉해 있던 배관, 덕트, 전기배선등이 파손되는 것이다.

② 기기 등과의 접촉부 파손

기기와 배관, 덕트, 전기배선 등은 각각 진동상태가 다르기 때문에 지진시에 기기와 배관, 덕트, 전기배선 등에 큰 상대변위가 생겨 접촉부에서 파손되는 것이다.

③ 배관, 덕트 등의 충돌에 의한 것

행거볼트로 배달려있는 배관, 덕트 등은 지지시에 진자모양으로 크게 흔들려 배관과 덕트, 혹은 기기 등과 충돌하여 파손되는 것이다.

5) 물탱크류의 주요 피해요인

바닥 위 설치기기의 주요 피해요인 항목에 나타냈던 것 이외의 원인으로 다음과 같은 것이 있다.

① 액면요동에 의한 충격압력에 물탱크 천장의 파손과 이에 따르는 측벽의 균열, 파손이 발생하고 있다.

② 물탱크의 접속 배관부에 기인한 피해 사례는 배관의 지지방법과 변위흡수이음의 삽입위치 등이 부적절하여 손상되고 있다.

6) 후시공 앵커의 주요 피해요인

① 매입부족에 의한 것

매입부족이란 마감 모르타르 등으로 매입을 위한 것과 앵커의 매입이 불충분한 것 등, 구조 구체에 소정의 매입 깊이가 확보되어 있지 않은 것.

② 확장부족에 의한 것

확장부족이란 금속 확장앵커로 소정의 확정이 충분히 되어 있지 않은 것과 앵커 타설용 구멍이 앵커 크기보다 너무 큰 것 등.

③ 앵커 본체의 파괴에 의한 것

앵커파괴란 시공이 충분히 이루어지고, 앵커는 최대내력까지 도달해 있지만 작용 외력이 커서 앵커가 파단하거나 빠지고, 원뿔모양으로 파괴된 것.

④ 가장자리 공간 부족에 의한 것

가장자리 공간 부족이란 앵커가 콘크리트 기초 등의 가장자리 공간이 좁은 곳에 설치 되어 있어, 가장자리 부분의 콘크리트가 파 괴된 것.

맺음말

건축물의 지진대책을 검토할 때에는 과거의 지진에 의한 피해상황을 교훈으로 삼음으로써, 종래보다 고도로 정밀한 내진설계가 가능해지고 있다.

건축 설비에 대한 내진설계나 내진대책을 세울 때에도 마찬가지로, 어떤 피해형태인지, 어떤 부분이 약점인지 등에 관해서는, 과거의 지진에 의한 피해 사례를 교훈삼는 것이 중요하다.

특히, 건축설비는 기기류 및 배관, 케이블 같은 연속체 등, 그 형상, 지지방법 등이 여러 갈래로 나누어져 있으며, 각각의 지진에서 어떠한 부위에, 어떠한 피해가 발생하고 있는 지를 확인하는 것이 바람직하다.

현재, 국내에서는 미국, 일본 등 외국의 관련 규정을 검토하고 국내외 전문가의 자문 및 관련 연구를 통하여 건축설비 내진설계 기준이 시급히 마련되어 신규 건축물만이 아니라 기존 건축설비의 보수보강

을 위한 설계지침으로 활용 되어야 할 것이다.

지금까지의 국내 건축설비의 내진 및 진동, 침하에 관한 다양한 시공 방법 및 조건에서 국내의 기준은 지진의 다발지역이 아닌 매우 안전한 지형적 특성을 과신하여 특별 한 경우를 제외하고 기존의 설계 및 시공에 아무런 조치를 얹고 시공해온 것이 사실이다.

이를 개선하기 위해서 먼저 국내 설비관련, 정부의 조속한 법제화에 따른 국회의 여러 사례조사 및 연구를 통한 발전적 계기가 이루어져야 하며, 특히 실무에서 활용할 수 있는 구체적인 지침서의 조기발간으로 보다 안정적이고 쾌적한 환경을 유지할 수 있는 프로세스의 창출로 이루어지기를 바란다.

참고문헌

1. 건축설비 내진설계 기준 사례조사 연구 [설비엔지니어링협회] 2001. 5
2. 日本 建築 センテ-, 建築設備耐震設計・施工指針, 1997
3. 설비 [설비기술협회] 2004. 6
4. SMACNA, Seismic restraint manual Guidelines For Mechanical Systems, 1998. 2
5. MASON 기술자료 ㉔