

지진과 공조설비의 내진

최근 지진에 대한 건축물의 안전의식이 고취되고 있으나 건축설비에 대한 내진설계 기준이 정립되어 있지 않아 공조설비를 중심으로 내진에 대해 기술하고자 한다.

이 병 석

대림산업(주) 기전기술부(leebs@dic.co.kr)

머릿말

최근에 점차 증가하는 지진으로 인한 외국에서 대규모의 인명과 구조물의 피해가 발생되고 있고 우리나라에서도 전국에서 지진이 확인되어 더 이상 안전지대가 아니라는 인식의 확산되고 있다.

국내에서 건축물에 대한 내진설계는 관련 학회 등을 중심으로 오랫동안 연구가 진행되어 피해를 줄이기 위해 관련 법규 및 기준인 “건축법”과 “건축물 구조기준 등에 관한 규칙”을 마련하여 내진설계를 의무화하고 있다. 그러나 건축설비 분야는 구체적인 내진설계기준 및 시공지침이 정립되어 있지 않으므로 지진 발생 시 피해를 줄이기 위한 법규 및 기준을 시급히 마련하여 피해를 줄일 수 있도록 해야 한다.

따라서 본고에서는 건축기계설비 특히 공조설비의 내진에 대해 알아보고, 지진으로 인한 설비시스템의 파손으로 2차 재해 유발방지 및 설비기능 유지에 목적을 두고 기술하고자 한다.

지진과 지진하중

지진의 정의

지각 또는 지구내부(맨틀, 지각 ~ 2,900 km의 단단한 암석층)에서 비축된 에너지가 한계에 달해 순간적으로 방출되면서 그 에너지의 일부가 지진파의 형태로 사방으로 전파되는 자연현상을 말하며, 학술적

으로는 “탄성에너지원으로부터 지진파가 전파되면서 일으키는 지구의 진동”으로 정의하고 있다.

지진파

세로파(P파, 속도 5~6 km/s)와 가로파(S파, 속도 3~4 km/s)가 있다. P파는 초기미동, S파는 주요동이라고 불리는 움직임이며 일반적으로 내진대책은 S파를 대상으로 한다.

지진의 규모(Magnitude, M)와 진도(Intensity, I)

1) 규모(Magnitude, M)

발생한 지진에너지의 크기를 나타내는 척도로서 지진계에 기록된 진폭을 진원의 깊이와 진앙까지의 거리를 고려하여 지수로 나타낸 것으로, 표준지진계로 관측된 지진동의 최대기록진폭의 상용로그를 Magnitude(M)으로 정의하고 있다.

$$M = 1.73 \log A + \log B - 0.83$$

여기서, M : 규모으로써 단위가 없으며, 소수 1자리까지 계산한다.

A : 진앙거리(단위 : km)

B : $\sqrt{(MN^2 + ME^2)} \times 1000$ /배율, 수평2성분 진폭의 합성값(단위 : 10^6 m)

(MN : 남북방향 진폭, ME : 동서방향 진폭)

2) 진도(Intensity, I)

지진크기를 나타내는 가장 오래된 척도로서 지진

동의 최대가속도 a의 중력가속도 g에 대한 비로 정의 된다.

$$I = a / g = a(\text{gal}) / 980(\text{cm/s}^2) \approx a/1000$$

(gal은 가속도의 단위로 1gal=1cm/s², 1g=980cm/s² = 980g)

수평지진하중

건축물의 골조에 정착되는 비구조부재 및 건축설비는 지진하중에 대한 조치를 하여야 한다. 비구조부재란 구조체에 영구적으로 부착된 시설물을 말하며 비구조 부재의 수평지진하중은 다음 식에 의하여 산정한다.

$$F_p = A I_e C_p W_p$$

여기서, F_p : 수평지진하중
 A : 지역계수
 I_e : 중요도계수
 C_p : 수평하중계수

W_p : 비구조 부재의 전 중량

위 식에서 보는 바와 같이 비구조 부재에 작용하는 수평지진하중은 지역계수, 중요도계수, 및 비구조 부재의 전체 중량에 따라 등가의 정하중을 산출하도록 한다.

지진의 지역계수와 중요도 계수

우리나라의 지진지역 및 이에 따른 지역계수는 다음과 같이 구분한다(표 1, 2).

구조설비의 내진

내진설계 시 고려사항

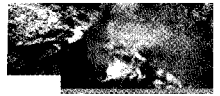
1) 비교적 빈도가 많은 중소지진(8~250 gal)에 대해서는 인명에 대해 안전하며, 기기 배관의 설치부, 지지부에서는 피해가 생기지 않고, 설비기능을 단순히 보존할 수 있게 한다.

<표 1> 지진지역 구분 및 지역계수(A)

지진지역	해당지역		지역계수(A)
I.	시	서울, 인천, 대전, 부산, 대구, 울산, 광주	0.11
	도	경기도, 강원도남부(영월, 정선, 삼척, 강릉, 동해, 원주, 태백), 충청북도, 경상북도, 경상남도, 전라북도, 전라남도북동부(장성, 담양, 곡성, 구례, 장흥, 보성, 여천, 화순, 광양, 나주, 여수, 순천)	
II	도	강원도북부(속초, 춘천, 고성, 양구, 양양, 인제, 철원, 평창, 화천, 홍천, 횡성), 전라남도남서부(목포, 강진, 고흥, 무안, 신안, 영광, 영암, 완도, 진도, 함평, 해남), 제주도	0.07

<표 2> 내진등급과 중요도계수(I_e)

	내진등급	용도 및 규모	중요도계수(I _e)	
			도시계획구역	그 외 지역
(특)	지진 후 피해복구에 필요한 중요시설을 갖추고 있거나 유해물질을 다량 저장하고 있는 구조물	- 연면적이 1천제곱미터 이상인 위험물저장 및 처리시설 인 위험물저장 및 처리시설·소방서·발전소·국가 또는 지방자치단체의 청사·외국공관·아동관련시설·노인복지시설·사회복지시설 및 근로복지시설 - 15층 이상인 아파트 및 오피스텔	1.5	1.2
I	지진으로 인한 피해를 입을 경우 대중에게 큰위험을 초래할 수 있는 구조물	- 연면적이 5천제곱미터 이상인 공연장·집회장·관람장·전시장·운동시설·판매 및 영업시설 - 5층 이상인 숙박시설렛의플랫기숙사 및 아파트 - 3층 이상의 학교	1.2	1.0
II	내진등급 (특)이나 I 어디에도 해당되지 않는 구조물	-내진등급 (특)이나 I 어디에도 해당되지 않는 구조물	1.0	0.8



- 2) 극히 드물게 발생하는 대지진(250~400 gal)에 대해서는 다음과 같다.
- ① 인명안전을 중점으로 건축설비에 따른 2차 피해가 거의 발생하지 않아야 한다. 또 기기 배관의 설치부, 지지부에서는 피해가 생기지 않는지, 만일 생겨도 간편한 보수로 설비기능을 회복할 수 있는 정도로 한다.
 - ② 방재설비는 지진 후도 필요한 기능을 확보한다.
 - 3) 건물종별에 의한 내진설계의 목적 및 조치는 표 3과 같다.
 - 4) 원칙적으로 다음의 사항에 대해 내진설계를 한다.
 - ① 전도, 낙하, 이동 등에 따라 인명 또는 다른 기기에 손상을 줄 염려가 있는 기기 또는 장치
 - ② 큰 2차 피해를 야기 시킬 염려가 있는 기기 또는 장치
 - ③ 지진 시에 발생하는 화재의 검지, 소화 및 사람의 대피를 위해 필요한 방재기기 또는 장치
 - ④ 지진 후도 건물로서 최소한의 기능을 보존하는데 필요한 기기 또는 장치
 - ⑤ 손상된 경우에 복구에 요하는 시간이 길거나 비용이 많이 드는 기기 또는 장치

공조기기의 내진

- 1) 지진력
지진력은 국부진도법, 또는 수정진도법에 의하여

구하나 여기에서는 국부진도법에 의한 지진력을 기술한다. 또는 건축물의 동적 해석결과를 알 수 있는 경우는 그 수치에 의하면 좋다.

설계용 수평지진력 F_H 는 다음 식으로 하고 작용점은 중심으로 한다.

$$F_H = K_H \times W$$

$$K_H = A \times K_S$$

여기서, K_H : 설계용 수평진도

K_S : 설계용 진도(표 5)

A : 지역계수(표 1)

W : 설비기기중량

설계용 수직지진력 F_V 를 고려할 필요가 있는 경우는

$$F_V = K_V \times W$$

$$K_V = 0.5 K_H$$

여기서, K_V : 설계용 수직진도

2) 공조기기의 내진 조치 사항

- ① 건물바닥의 지진력은 상층으로 갈수록 커지므로 중량이 큰 기기 또는 2차 피해를 야기 시킬 염려가 있는 기기는 하층의 점검이 쉬운 장소에 설치한다.
- ② 기기의 방진조치는 내진 상 그 남용을 삼가고, 방진의 필요성을 충분히 검토해서 사용한다. 특히 비상 시 밖에 사용하지 않는 방재기기는 최소 방진 조치를 하고 반드시 내진 스톱퍼를 설치한다.
- ③ 기기의 배치는 가능한 한 바닥 설치로 하고 천

<표 3> 건물종별에 의한 내진설계의 목적 및 조치

건물종별	목적	내진조치	비고
일반적인 건물	1. 인명의 안전확보 2. 재산의 보전 3. 2차재해의 방지	1. 주요기기의 이동 및 전도방지 2. 주요배관의 고정지지 3. 2차 피해방지에 필요한 최소한의 방재기능 확보	용도계수가 1의 건물
방재거점의 기능이 요구되는 건물	1. 인명의 안전 확보 2. 재산의 보전 3. 2차재해의 방지 4. 방재거점의 기능 확보 · 지진 후 응급대책 거점 · 피난장소 기능 확보	1. 주요기기의 이동 및 전도방지 2. 주요배관의 고정지지 3. 2차 피해방지에 필요한 최소한의 방재기능 확보 4. 지진 시의 활동에 필요한 최소한의 물·전원의 확보	1. 중앙관청의 건물 2. 각지방에서의 대규모 건물 3. 용도계수가 1을 넘는 건물

(주) 1. 건물도괴로 주변 환경에 악영향을 미치는 건물(방사선취급연구소 등)은 따로 고려한다.

2. 용도계수란 건물의 규모, 용도에 따라 구조체의 내진설계상 선택되는 활중계수이다.

정설치 및 벽걸이 설치는 극력 피한다.

- ④ 진동상태가 다른 기기와 접속하는 배관은 빅토틱조인트 등을 사용해서 변위흡수 조치를 한다.

3) 기기선정

- ① 내진대책의 대상이 되는 기기는 필요에 따라 입력가속도를 명시하고 이동, 또는 전도방지를 위해 기기에 적합한 내진스토퍼를 설치한다.
- ② 패키지형 기기류는 내장되어 있는 압축기나 송풍기가 개별로 방진조치가 되는 것은 개별기기 및 기기본체에 스토퍼를 설치한다.

- ③ 불을 취급하는 기기(보일러 등)은 2차 피해를 방지하기 위해 지진안전장치(감진장치, 연료공급 정지장치, 소화장치 등)를 갖춘다.

4) 기초

기초에는 주요 구조구체(바닥판, 보)와 분리해서 설치되는 것과 주요 구조구체와 일체되는 것이 있다. 내진설계에서는 구조구체와 일체되는 것으로 해야 한다.

- ① 기초는 그 상부에 설치된 설비기기에 가해지는 하중을 건물의 바닥 또는 보에 확실히 전달하

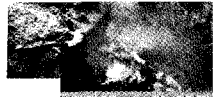
<표 4> 건물별 공조설비의 중요도 분류표

구분	빙송, 통신, 소방, 경찰의 중계건물	병 원		일반건물, 사무실, 백화점, 호텔, 학교
		종합병원	진료소	
공조 설비	냉 동 기	A	C	C
	냉 각 탭	A	C	C
	보 일 러	A	A	C
	열 교 환 기	A	A	C
	수 조 류	A	A	C
	펌 프	A	A	C
	오일기기 및 배관	A	A	B
	증 기 관	A	A	B
	증기관 이외의 관	A	A	C
	굴뚝, 연도	A	A	B
	공조용설비	A	C	C
	난방용설비	A	C	C
환기용설비	A	A	C	
배 연 설 비	A	A	A	

<표 5> 설계용 진도 (K)

중요도	설비기기 등의 설치층	수평진도(KS)	수직진도(KV)
A	지층 및 1층	0.6	0.3
	2층 이상	1.0	0.5
	최상층, 옥상 및 옥탑	1.5	0.75
B	지층 및 1층	0.4	0.2
	2층 이상	0.6	0.3
	최상층, 옥상 및 옥탑	1.0	0.5
C	지층 및 1층	0.25	0.125
	2층 이상	0.4	0.2

(주) 1. 표는 건물높이 45m 미만의 철근콘크리트조, 철골철근콘크리트조, 철골조의 경우에 적용한다.
 2. 기기에 방진스프링을 사용하고 있는 경우는 수치의 1.5배로 한다.



도록 배치한다.

- ② 지진 시에 기기가 이동, 전도하지 않게 기기와 구조체 또는 앵커볼트로 긴결한다. 또 기초는 지진 시에 앵커볼트 고정부의 콘크리트가 파괴되지 않게 충분한 피복두께(10 cm 이상)로 한다. 또한 방진기기에서는 적당한 클리어런스를 설치한 내진스토퍼로 기기의 이동 및 전도를 방지한다.
- ③ 지진 시에 기초가 전도 또는 부상하지 않게 기초의 크기를 정하고, 기초와 바닥슬래브를 접합한다.

5) 앵커보울트

앵커보울트는 기기가 전도되기 쉬운 면에서 검토하고, 앵커보울트를 선정할 때는 인발력은 앵커보울트가 중립축으로 배치되도록 한다.

- ① 원칙적으로 직매립방식으로 하고, 그림 1과 같은 J형앵커, JA형앵커 또는 헤드형보울트로 한다.

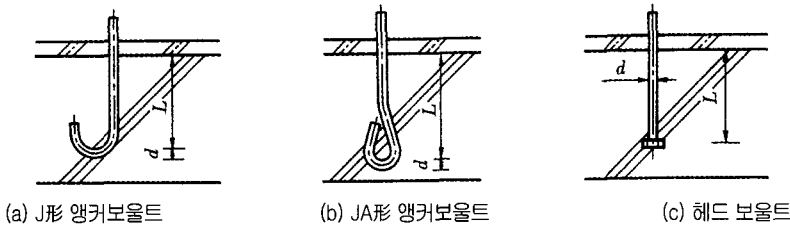
- ② 동일 기기에 대해서는 동일 종류, 동일경의 것을 사용한다.
- ③ 재질은 원칙적으로 KS G 3101의 2종으로 한다.

6) 스톱퍼(Stopper)

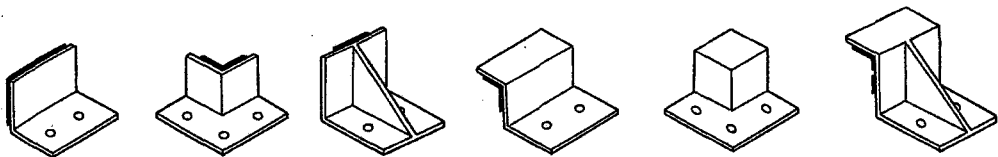
방진장치가 되어 앵커보울트로 지지고정을 할 수 없는 경우에는 내진스토퍼를 사용한다. 스톱퍼와 본체의 간격은 정상운전 중에 닿지 않는 범위에서 최대한 작은 간격이 되도록 내진스토퍼를 설치한다.

① 설치 시 고려 사항

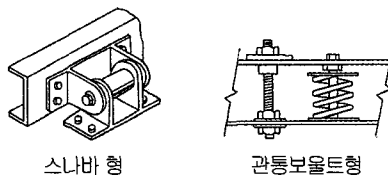
- 가. 방진재를 설치하는 기기에는 기기에 접하지 않게 적합한 간격을 두고, 완충재를 부착시킨 내진 스톱퍼를 고정시킨다.
- 나. 내진스토퍼 형식은 기기가 이동 또는 전도할 가능성을 판단한 다음에 선정한다.
- 다. 내진스토퍼는 지진 시에 기기가 이동 또는 전도되지 않게 보울트로 기초 또는 건축구조체에 견고하게 고정시킨다.



[그림 1] 앵커보울트의 종류



L형플레이트형 L형플레이트형(코너) 보강L형플레이트형 크랭크플레이트형 크랭크플레이트형(코너) 보강크랭크플레이트형



[그림 2] 내진스토퍼의 형상

② 스토퍼의 종류

주로 형강이나 강판 등으로 제작하고, 기기의 수평 방향 이동 및 전도를 방지하는데 사용하며 다음과 같이 여러 종류가 있다.

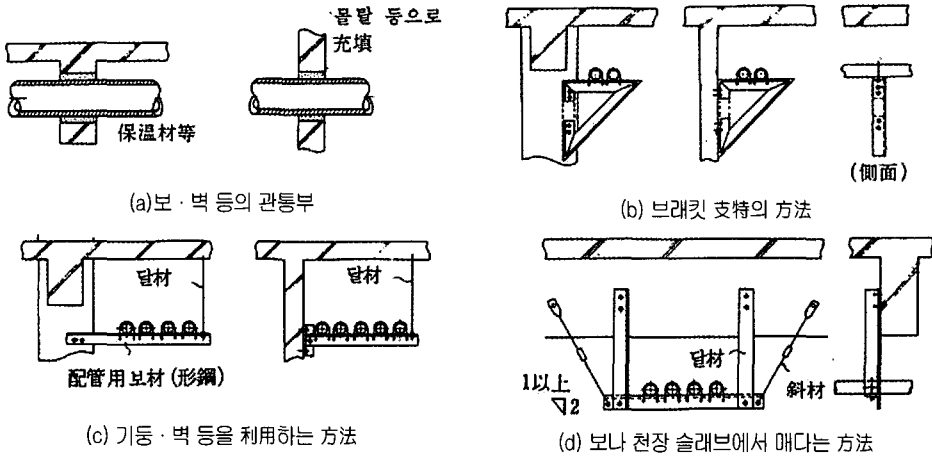
공조배관 및 덕트의 내진

1) 내진지지

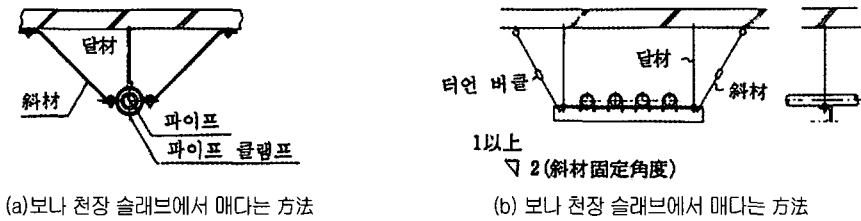
황인배관은 내진지지재, 자중지지재, 연결재 등을 사용하여 지지하고, 지진 시에 작용하는 지지재종류는 다음과 같다.

가. A종 내진지지재

지진 시에 지지대에 작용하는 인장력, 압축력, 구부림 모멘트에 각각 대응된 부재를 선정하여 구성되어 있다.



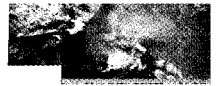
[그림 3] A종 배관지지재



[그림 4] B종 내진지지재

<표 6> 내진지지재의 적용

설치장소	배관		덕트 (공조, 환기용)	전기배선
	설치간격	지지재 종류		
최상층, 옥상, 옥탑	배관의 표준지간격의 3개소에 대해 1개소를 내진지지재를 한다.	A종	지지간격 12m 이내에 1개소 A종 또는 B종	지지간격 12m 이내에 1개소 A종 또는 B종
2층 이상		50m 이내에 1개소는 A종, 그 외는 A종 또는 B종 지지재를 한다.	기계설비공사 표준시방서의 시공법에 의한다.	전기설비공사 표준시방서의 시공법에 의한다.
지하층 1층		B종으로도 가능		



나. B종 내진지주재

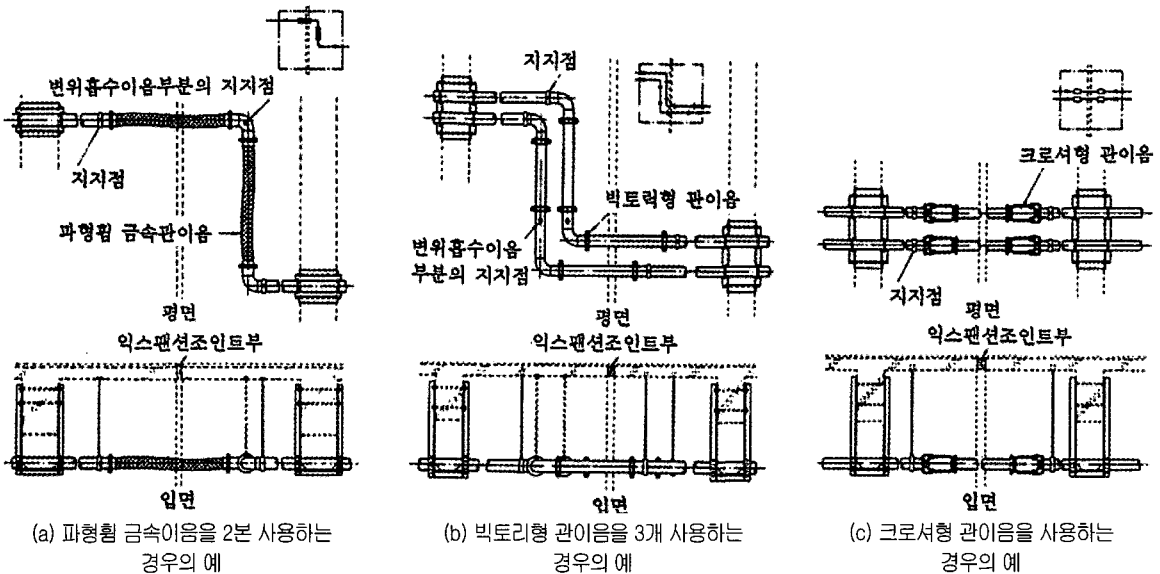
지진력에 따라 지지대에 작용하는 압축력을 자중에 따라 인장력과 상쇄하는 것으로 행거재, 진지사재가 인장재만으로 구성되어 있다.

2) 배관 내진의 조치 사항

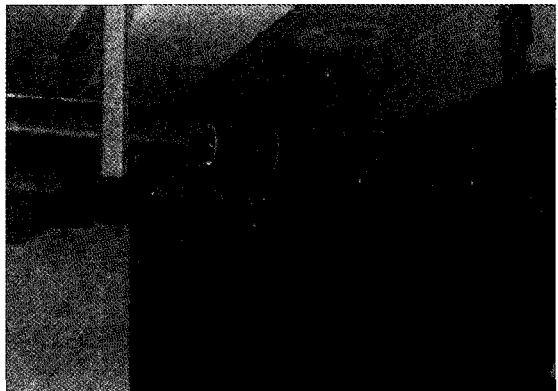
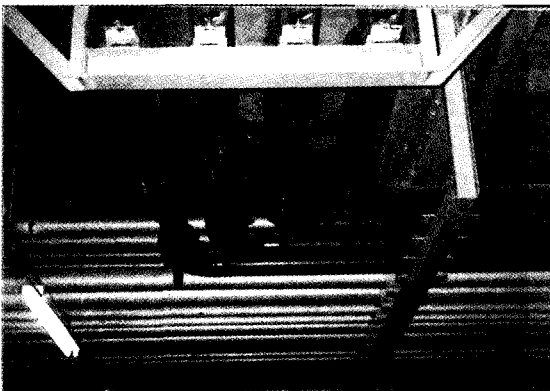
배관의 내진조치를 할 때는 지진 시에 배관 및 지지재의 각 부에 발생하는 응력이나 변형 등이 운용상 지장이 없도록 해야 한다. 또한 배관 등은 지진에

의한 건물의 변위 및 배관본체 등의 과도한 진동으로 손상이 생기지 않게 다음과 같은 조치를 한다.

- ① 건물의 신축 이음부를 통과하는 배관은 변위흡수 이음으로 관축방향 및 관축직각방향의 2방향에 대해 변위흡수 조치를 한다.
- ② 건물도입부의 배관에서 지반의 성상이 현저하게 불안정하며 건물과 지반사이에 변위가 생길 염려가 있을 경우는 변위흡수 이음을 사용한다.



[그림 5] 건물 신축 이음부를 통과하는 배관 예



[그림 6] 회주배관의 변위흡수이음 사진

- ③ 공조기기 접속배관의 내진 조치로는 기기는 고정하고 배관은 과대한 변위가 생기지 않도록 지지함으로써 접속부에 손상이 가지 않도록 설비기와 배관의 접속부는 변위흡수 이음을 사용한다. 이 경우 배관의 지지는 변위흡입이 유효하게 시공한다.
- ④ 가로설치 배관은 지진에 의한 관축수직방향의 과대한 변위량을 억제하기 위해 내진지지를 한다.

단, 다음 사항은 원칙적으로 내진지지를 하지 않는다.

- 가. 관경 50 mm 이하의 배관
- 나. 주장 1.0 m 이하의 덕트
- 다. 관경 82 mm 이하의 단독전선관
- 라. 주장 80 cm 이하의 금속덕트 집합전기배선
- ⑤ 수직배관은 지진에 의한 관축방향의 과대한 변형을 억압하고, 건물층간변위(보통 1/200)에

<표 7> 가로배관 표준지지 간격의 범위

단위 : m

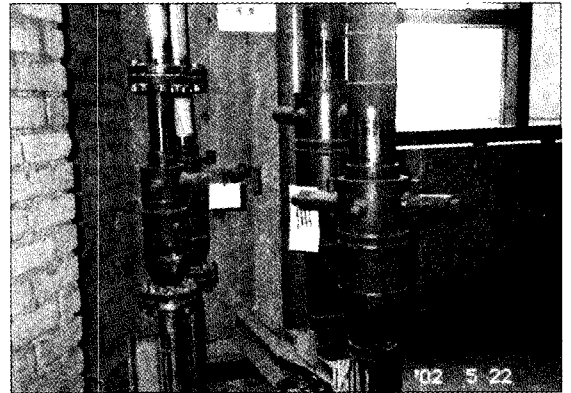
호칭경(A)	15	20	25	32	40	50	65	80	100	125	150	2000이상
강관	1.8	1.8	2.0	2.0	2.0	3.0	3.0	3.0	4.0	4.0	4.0	5.0
동관	1.0	1.0	1.5	1.5	1.5	2.0	2.5	2.5	2.5	3.0	3.0	3.0
스테인레스관	1.0	1.0	1.5	1.5	1.5	2.0	2.5	2.5	2.5	3.0	3.0	3.0

주) 스테인리스강관의 호칭경은 Su로 한다.

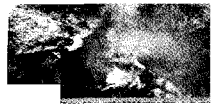
<표 8> 수직배관의 내진지지 간격의 범위 예 h

단위 : m

호칭경(A)	SGP공관		SGP만수관		STPG38 Sch40 만수관
	용접접합	나사접합	용접접합	나사접합	용접접합
65	2.0~6.4	3.0~6.4	2.0~6.5	3.0~6.5	1.5~6.4
80	2.0~7.5	3.0~7.5	2.5~7.5	4.0~7.5	2.0~7.5
100	3.0~9.7	4.0~9.7	3.0~9.7	5.5~7.0	2.5~9.6
125	3.5~11.9	5.0~11.9	3.5~12.0	-	3.0~11.9
150	4.0~14.1	6.0~14.1	4.5~14.2	-	3.5~14.1
200	5.0~18.6	8.0~17.5	6.0~12.5	-	4.5~18.5
250	6.0~23.0	10.5~18.5	7.5~14.0	-	5.5~19.5
300	7.5~27.5	13.0~18.5	10.5~12.0	-	6.5~20.5



[그림 7] 수직배관의 내진지지 및 변위흡수이음 사진



추종하도록 지지간격을 한다. 또한 초고층건물의 수직배관에서는 열신축(Thermal) 및 바람에 의한 변위(Sway), 부등침하로 인한 변위(Shortening), 내진(Siesmic)등 모든 변위를 흡수할 수 있도록 변위흡수이음을 한다. 공조, 환기용 덕트는 각 층마다 자중으로 내진 지지함으로써 과대변형을 억제토록 한다.

맺음말

지금까지 지진과 건축설비에 대한 내진설계 시 고려사항과 공조설비의 내진조치에 대해 알아보았다. 그러나 지진재해에 대해 국민적 관심이 높아짐에도 건축설비의 내진에 대한 기준은 거의 전무하다고 할 수 있다. 초보적인 연구가 시작되는 우리나라의 경우 건축설비에 대한 독립적인 내진설계기준이 마련하지 못한 것은 당연한 결과라 할 수 있다. 따라서 지진의 피해를 최소화 할 수 있도록 정부차원에서의 내진설계 시 고려사항, 내진해석 기법 및 프로그램의 개발, 내진설계기준을 조속히 마련 할 수 있도록 해야 한다.

참고문헌

1. 건축설비 내진설계기준 사례조사 연구, 설비엔지니어링협의회, 2001.
2. 건축물의 구조 기준 등에 관한 규칙, 2005. 4. 6.
3. 건축설비공사 설계요령, 설비기술연구회, 도서출판 한미.
4. 건축설비설계매뉴얼, 사단법인 일본건축설비기술자협회, 김봉한 외 공역, 기문당.
5. 공조 위생 기술 데이터북, 설비기술연구회, 도서출판 한미.
6. 建築設備施工要領圖集, 社團法人 建築設備技術者協會, 技術書院, 2002.
7. 建築設備工事 データブック, 清水 亨 외 공저, Ohmsha. 